Fundação CARGILL

MANEJO, USO E TRATAMENTO DE SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA

SÉRIE: CULTURAS DE TUBEROSAS AMILÁCEAS LATINOAMERICANAS - Volume IV

MARNEY CEREDA e outros

CULTURAS DE TUBEROSAS AMILÁCEAS LATINOAMERICANAS

Volume 4

Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca

CULTURAS DE TUBEROSAS AMILÁCEAS LATINO AMERICANAS

Volume 4

Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca

Coordenador:
Prof.ª Dr.ª Marney Pascoli Cereda

Autores:

Ada Marina C. Fioretto
Ana Cláudia Barana
Ana Dóris de Castro
Antonio Carlos Maringoni
Antonio Joaquim de Oliveira
Armando de Andrade Rodrigues
Armin Feiden
Ary Fernandes Júnior
Cláudia Isabel Ortega Flores
Roberto Antunes Fioretto
Cláudio Cabello
Edvaldo Sagrilo
Fabricio Rimoldi
Gilvan Wosiack
Gláucia Maria Pastore
Gustavo de Faria Theodoro
Joaquim Gilberto Oliveira
José Hamilton Ferreira Bueno
José Júlio da Ponte
Lauro Marques Canoilas
Magali Leonel
Manoel Genildo Pequeno
Marco Tulio Ospina Patino
Mareci Mendes de Almeida
Marilene De Vuono Camargo Penteado
Marney Pascoli Cereda
Oriel Fajardo de Campos
Pedro Soares Vidigal Filho
Simone Damasceno
Solange G. Canniatti-Brazaca
Suzan Pantaroto
Tobias José Barreto de Menezes
Valmir Eduardo Alcarde

Primeira tiragem de 1000 exemplares
nº 224, junho de 2001

Editora: FUNDAÇÃO CARGILL
Gráfica: BOOK RJ GRÁFICA E EDITORA LTDA.
Editoração: WTS Publish
Capa: Carolina Cereda

FUNDAÇÃO CARGILL
Rua Olavo Bilac, 157 - Sto. Amaro
04671-900 - São Paulo, SP
Tel: (11) 5694-3257
Fax: (11) 5694-3258

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO. DIRETORIA DE SERVIÇO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO. FCA/UNESP/LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M274

Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca / Coordenador Marney Pascoli Cereda; autores Ada Marina C. Fioretto ... [et al.].
— São Paulo : Fundação Cargill, 2001
v. 4, 320 p...il.; 21 cm. — (Série Culturas de tuberosas amiláceas Latino Americanas ; v. 4)

Diversos autores
Inclui referências bibliográficas e notas de rodapé

1. Mandioca – Indústria – Subprodutos I. Cereda, Marney Pascoli, 1945- II. Fioretto, Ada Marina C. (Ada Marina Cagliari), 1957- III. Fundação Cargill

CDD(21) 338.173682

Apresentação da Série

Série
CULTURAS DE TUBEROSAS AMILÁCEAS LATINO AMERICANAS

Volume 1: **Propriedades gerais do amido**
Volume 2: **Cultura de tuberosas amiláceas Latino Americanas**
Volume 3: **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**
Volume 4: **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**

A cultura das tuberosas, entre as quais se destaca a mandioca, é feita em nível mundial nos países que se situam entre 30° de latitude Norte e Sul, em relação à linha do equador. Essa faixa engloba toda a América Latina, Caribe, África e Ásia. Destes países o Brasil tem posição destacada, não só pela expressiva produção agrícola, mas principalmente pela extensa área territorial coberta pelas culturas. Pela ampla área abrangida pelos cultivos, seu uso se desdobra em formas muito diversas de tecnologia, processos e, por conseguinte, de produtos, adaptada à realidade regional e ao consumidor final. A importância destas culturas é socialmente inquestionável, mas na área de valorização econômica muitas vezes são marginalizadas, condenadas por suas virtudes de serem rústicas, pouco dependentes de insumos e resistentes a fatores climáticos adversos. Os antigos historiadores europeus que percorreram o Brasil colonial já chamavam a atenção para esses cultivos valorizados, segundo eles, porque sua conservação poderia ser feita no próprio solo, reduzindo as perdas pós colheita por ataque de insetos, pássaros e roedores. Com a interferência da agricultura temperada, especializada em cultivos de cereais, essa vantagem foi sendo reduzida, vencidas pelo domínio de tecnologias de armazenamento de grãos. Entretanto as tuberosas permaneceram em cultivo e muitas delas logra-

ram alcançar destaque como cultivos comerciais, como a mandioca e a batata doce. A pesquisa brasileira é muito vasta na área agrícola, mais restrita no setor de pós-colheita, incluindo processamento industrial e praticamente inexistente na área de mercado. Apesar destas limitações, o Brasil lidera a América Latina no que diz respeito a diversas dessas culturas, sendo que algumas originárias do altiplano andino, tiveram no Brasil uma adaptação adequada para transformá-las em cultivos comerciais. Citam-se especificamente as culturas de mandioquinha-salsa (Arracacia xanthorrhiza) e yacon (Polymnia sonchifolia). A divulgação desta rica experiência científica e técnica não condiz com a importância econômica e social destes cultivos. As poucas publicações existentes estão esgotadas, são desatualizadas, ou abordam apenas o aspecto agronômico, com enfoques regionais. Da experiência do CERAT-Centro de Raízes e Amidos Tropicais da UNESP, na coordenação das atividades de pesquisadores, técnicos e empresários do setor de amiláceos tropicais, surgiu a necessidade de canalizar esse acervo na forma de quatro livros. Contando com a colaboração de especialistas brasileiros e da América Latina, espera-se que a reunião e organização dos temas em quatro volumes permita perpetuar a memória das culturas amiláceas e incentivar, pela facilidade de consulta, sua implementação pelos agricultores da América Latina, nosso público alvo. Com o apoio da Fundação Cargill, apresentamos os quatro volumes da Série, que contém informações técnicas, revisões e resultados de pesquisa dos autores, expressos em linguagem adequada para divulgar as informações no Brasil, América Latina, Caribe e países lusófonos da África e Ásia.

Coordenadora :
Marney Pascoli Cereda
cereda@terra.com.br

Apresentação do volume 4

Série
CULTURAS DE TUBEROSAS AMILÁCEAS LATINO AMERICANAS

Volume 4:
Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca

A questão da proteção do meio ambiente tornou-se um tópico globalisado que não admite mais condescendências ou atrasos. O Brasil e América Latina não se furtam a esse enfoque. Para que se possa proteger o meio ambiente do despejo indiscriminado de resíduos, há necessidade de valorizar esses despejos, aplicando-se tecnologias de manejo, de tratamento, mas sobretudo, de estabelecer múltiplos e novos usos. Essas tecnologias, para terem êxito devem ser apropriadas, apresentando custos compatíveis com o nível social e econômico dos empresários agrícolas e industriais. Essas soluções exigem um bom conhecimento dos subprodutos para que as metas propostas sejam alcançadas. Na área do cultivo e processamento de mandioca, há muitos anos foi identificada uma forte demanda para transformação dos resíduos em subprodutos ou coprodutos, capazes de ao mesmo tempo reduzir impactos no meio ambiente e gerar recursos, reduzindo custos. O Volume 4 da Série CULTURAS DE TUBEROSAS AMILÁCEAS LATINO AMERICANAS apresenta ***Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca****, para divulgar entre os agricultores, empresários e interessados em geral, informações obtidas em ações de pesquisa e da literatura nacional e internacional, adaptadas a uma linguagem técnica. Especialistas foram chamados a colaborar. Os capítulos são organizados de forma didática, abrangendo os subprodutos sólidos e líquidos nas diversas origens, da cultura de campo aos gerados em industriali-*

zação de farinha, amido e polvilho azedo. São apresentados informações sobre a caracterização dos subprodutos, a discutida questão da toxicidez da mandioca pela presença da linamarina, a detoxificação através da ação microbiana e folha da mandioca como fonte de nutrientes. A manipueira, água de constituição da raiz de mandioca, pode ser manejada em fertirrigação e defensivo agrícola, tratamento aeróbio e anaeróbio, processos biossintéticos para gerar produtos de maior valor agregado e alguns estudos de economicidade já estão disponibilizados. A possibilidade de difusão de doenças pelo despejo de águas residuárias é original, assim como o cultivo microbiano para produção de aromas, surfactantes, proteínas, gorduras e ácidos orgânicos, transformando resíduos em co-produtos e substratos valorizados. A elaboração de álcool ou glicose são escolhas possíveis. A avaliação de alguns sistemas tradicionais de tratamento é comparada com digestão anaeróbia, que tem a vantagem de permitir a geração de energia concomitante ao tratamento. Outro enfoque atraente é o uso de farelo como desagregante de comprimidos e da fibra do farelo como base para produtos dietéticos. A alimentação animal não é esquecida já que propicia alimentos alternativos em locais ou épocas de falta de pasto, e inclui o processamento da amireia a partir de subprodutos de baixo custo. Espera-se com essas informações levar aos agricultores e indústrias as potencialidades que representam esses subprodutos.

Agradecimentos:

A Coordenação e os autores agradecem a todos que colaboraram para a confecção deste volume, mas especialmente a:

- *Yara Pinto Chaves e Alessandra Regina Batista que prepararam com carinho os textos e ajudaram a dar forma à publicação;*
- *Aos técnicos do CERAT/UNESP, Luiz Henrique e Fábio Urbano, Maria do Carmo Rigatto e Aura Cristina Bruder Pereira, pelos resultados de análises de laboratório que enriqueceram a publicação;*
- *Aos alunos de graduação e estagiários, que colaboraram ao acrescentar informações as já disponibilizadas;*
- *A FEPAF – Fundação de Estudos e Agrícolas e Florestais pela cessão dos direitos autorais à Editora Paulicéia e a esta, pela compreensão em libera-los para compor o presente volume.*
- *A Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos pelo apoio na elaboração da Ficha Catalográfica e correção das citações bibliográficas.*

Coordenadora :
Marney Pascoli Cereda
cereda@terra.com.br

ÍNDICE

CAPITULO 01 - CARACTERIZAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA 13

CAPÍTULO 2 - LINAMARINA E SUA DECOMPOSIÇÃO NO AMBIENTE 38

CAPÍTULO 3 - FOLHAS DE MANDIOCA COMO FONTE DE NUTRIENTES 48

CAPÍTULO 4 - USO DIRETO DA MANIPUEIRA EM FERTIRRIGAÇÃO 67

CAPÍTULO 5 - USO DA MANIPUEIRA COMO INSUMO AGRÍCOLA: DEFENSIVO E FERTILIZANTE 80

CAPÍTULO 6 - COMPOSTOS DE AROMA POR GEOTRICHUM FRAGRANS CULTIVADO EM MANIPUEIRA 96

CAPÍTULO 7 - SOBREVIVÊNCIA DE *XANTHOMONAS AXONOPODIS* PV. *MANIHOTIS* EM MANIPUEIRA 107

CAPÍTULO 8 - PRODUÇÃO DE BIOMASSA PROTEÍCA A PARTIR DA MANIPUEIRA 118

CAPÍTULO 9 - PRODUÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DO RESÍDUO LÍQUIDO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA (MANIPUEIRA) 131

CAPÍTULO 10 - TRATAMENTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DA MANIPUEIRA 138

CAPÍTULO 11 - DIGESTÃO ANAERÓBIA DE MANIPUEIRA 151

CAPÍTULO 12 - UTILIZAÇÃO DA MANIPUEIRA PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA 170

CAPÍTULO 13 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS 186

CAPÍTULO 14 - VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DA MANIPUEIRA 202

CAPÍTULO 15 - O FARELO, SUBPRODUTO DA EXTRAÇÃO DE FÉCULA DE MANDIOCA 211

CAPÍTULO 16 - APLICAÇÃO DO FARELO DE MANDIOCA COMO DESINTEGRANTE EM COMPRIMIDOS 217

CAPÍTULO 17 - CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA E USO DO FARELO DE MANDIOCA COMO BASE PARA PRODUTOS DIETÉTICOS 221

CAPÍTULO 18 - USO DOS SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL 229

CAPÍTULO 19 - RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA RAIZ DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS 240

CAPÍTULO 20 - VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE AMIRÉIA A PARTIR DE FARELO DE MANDIOCA 259

CAPITULO 21 - CULTIVO DE MICRORGANISMOS EM SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO 269

CAPÍTULO 22 - HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO FARELO DE MANDIOCA: GLICOSE E ÁLCOOL 280

CAPÍTULO 23 - DIMENSIONAMENTO DOS SUBPRODUTOS AGRÍCOLAS DA MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA*, CRANTZ) NO ESTADO DO PARANÁ 291

CAPITULO 24 - VALORIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS COMO FORMA DE REDUZIR CUSTOS DE PRODUÇÃO 305

CAPITULO 01

Caracterização dos Subprodutos da Industrialização da Mandioca

Eng^a.Agr^a.Marney Pascoli Cereda[1]

1.1. INTRODUÇÃO

Os sub produtos do processamento da mandioca tem sido relatados como responsáveis por graves problemas de contaminação do meio ambiente. Essa divulgação em imprensa escrita e falada tem sido feita de forma descontinuada, superficial e sensacionalista. O mesmo enfoque tem sido dado pelos órgãos responsáveis pelo controle do meio ambiente, quando a intervalos de tempo indústrias são fechadas ou ameaçadas disso.

Não se discute a necessidade de controle dos poluentes gerados por indústrias, seja qual for o seu porte. É discutível porém o fato de que industrias de pequeno e médio porte, a maioria das quais de tecnologia artesanal, tenham que absorver os custos do desenvolvimento de processos de tratamento, quando na maioria das vezes, mesmo processos já desenvolvidos representam gastos mais elevados do que os da própria industria instalada. Soluções para empresas de grande porte existem, embora onerosas.

Também não se deve acreditar que os industriais, por pequenos que sejam, estejam insensíveis ao problema da poluição ambiental pelos resíduos gerados. Em visitas feitas a regiões produtoras encontra-se com frequência essa preocupação, somada à que a fábrica possa vir a ser fechada. Encontra-se também um interesse verdadeiro em utilizar qualquer processo de tratamento existente, desde que compatível com os custos e nível de conhecimentos tecnológicos de seus operadores. As empresas de maior porte também podem encontrar problemas

[1] Professora Titular – Pesquisadora do CERAT - Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Unesp - Universidade Estadual Paulista "Campus de Botucatu"- São Paulo - CP 237 - CEP 19 607 170 - seccerat@fca.unesp.br - cereda@terra.com.br

para tratamento de seus resíduos, pois muitas vezes as soluções disponíveis, mesmo caras, foram desenvolvidas para outras matérias primas, processadas em situações diferentes das regiões tropicais e sub tropicais, e não conseguem a mesma eficiência.

Outra dificuldade ao tratar do assunto vem de se identificar exatamente que tipo de alteração os sub-produtos da industrialização da mandioca poderão causar no meio ambiente, uma vez que as informações disponíveis na literatura não são suficientes. A maioria dessas avalia o grau de poluição que poderia ser ocasionado, comparando-se a carga orgânica dos sub produtos da mandioca com outros conhecidos, como a vinhaça e os sub produtos de curtume. Desconhece-se trabalhos que tenham medido "in loco" as alterações causadas pelos despejos.As próprias entidades responsáveis pelo controle do meio ambiente também parecem desconhecer, ou pelo menos desconsiderar, que além da elevada carga orgânica, alguns sub produtos do processamento da mandioca apresentam elevados teores de glicosídeo passível de ser hidrolisado, liberando HCN.

Finalmente, a ser considerada a maior parte das queixas relatadas nas regiões onde concentram-se as indústrias de processamento de mandioca, o principal problema gerado pelo despejo dos sub produtos no meio ambiente é o mau odor que exala das lagoas mal dimencionadas, onde são lançados os sub produtos líquidos à guisa de tratamento.

Em razão da falta de dados, consideramos da máxima importância a caracterização dos sub produtos, como forma de avaliar o grau de alteração que possam vir a causar no meio ambiente e possibilitar novos estudos de manejo, tratamento e aplicações destes resíduos.

1. 2. CARACTERIZAÇÃO DOS SUB PRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA

A mandioca é cultura amplamente difundida por todo o território nacional. Sua utilização é feita em duas opções, o consumo culinário doméstico ou industrial (de "mesa") e o uso industrial, pelo qual processa-se a farinha de mandioca e procede-se a extração da fécula e sua transformação em polvilho azedo. A dimensão da cultura é também variada, indo das plantações de fundo de quintal até as extensivas, mais comuns no suldeste do país. As utilizações culinárias caseiras não geram resíduo significativo, pela pequena quantidade processada. A mandioca de uso culinário está sendo plantada no sudeste, principalmente

nos Estados de São Paulo e Paraná, para comercialização na forma crua, embalada e conservada pelo frio (refrigerada ou congelada), com cortes de diferentes formatos, toletes, mini toletes, palitos, rodelas. Quando o processamento é maior, os sub produtos podem vir a apresentar problemas de disposição e soluções deverão ser encontradas. Já a utilização industrial causa sérios problemas ambientais pois mesmo as pequenas unidades fabris, como as casas de farinha, podem gerar quantidades significativas de resíduo, pelo costume de reunirem-se em um dado local ou município. Exemplos são as indústrias de polvilho azedo quando que se concentravam às centenas em dois municípios de Minas Gerais (Divinópolis e Pouso Alegre). É também assim o caso de Paranavai, município paranaense que reunia 150 indústrias de farinha de porte diverso e diversas fecularias.

Além do aspecto da agressão ao meio ambiente, deve ser também considerado que o despejo indevido dos sub produtos de mandioca constitui em desperdicio de rendimentos para o produtor, quando consideram-se as quantidades geradas e a composição dos sub produtos.

1.3. ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DA MANDIOCA

Como os sub produtos são constituídos por partes da planta de mandioca, mais ou menos modificadas, é importante conhecer sua estrutura e composição química. Os resultados apresentados na literatura são em geral bastante variáveis devido a diversos fatores, entre os quais a metodologia de análise. Conforme é possível observar na Tabela 1.1, a raiz da mandioca é eminentemente calórica, gerando cerca de 1500 cal/Kg, a partir dos carboidratos (350 g/Kg). Os demais componentes somados considerados pelos valores médios, não ultrapassam as 50 g/Kg. Quanto aos minerais, são mais altos os teores de fósforo e cálcio, ocorrendo ferro em quantidade muito baixa, que pode aumentar consideravelmente nos sub produtos e produtos quando os equipamentos em que a mandioca é processada são feitos desse metal. Hegarty & Wadsworth (1968) relatam que a mandioca crua apresenta teores de ferro entre 1 a 2 mg/100g de peso seco, mas que se o processamento se faz em equipamento de ferro esse teor pode chegar a 3,2 mg/100g. De especial, nota-se na Tabela 1.1, a diferença em composição quando considera-se as folhas da mandioca, que concentram teores expressivos de proteína na matéria seca, enquanto apresentam baixos teores de carboidratos. Outra característica das raízes de mandioca

que chama a atenção é o teor de umidade, correspondendo a mais de 65% do peso total.

Tabela 1.1.
Composição de raízes e folhas de mandioca de cultivares da América Central

Componentes	Raízes			Folhas
(g/100g)	Longas e finas	Médias	Curtas e grossas	
Agua	62,10	62,10	62,10	77,20
Fibra	1,60	1,25	1,14	2,54
Lipídios	0,65	0,20	0,24	1,31
Nitrogênio	0,32	0,17	0,11	1,10
Carboidrato	32,95	34,18	34,70	10,33
Cinzas	1,20	1,20	0,86	1,77
(mg/Kg)				
Cálcio	46,00	27,00	27,00	206,00
Fósforo	78,00	66,00	43,00	95,00
Ferro	1,60	0,50	0,50	3,50
Caroteno	0,01	0,01	0,01	4,53
Tiamina	0,09	0,06	0,05	0,15
Riboflavina	0,04	0,04	0,03	0,30
Niocina	0,82	0,72	0,60	2,02
Ac. Ascórbico	32,00	40,75	41,40	211,00

Fonte: Adaptados de Martelli (1951)

Oke (1968) detalha a composição das raízes de mandioca na Tabela 1.2, principalmente em seus minerais. Observa-se que o teor de potássio é ainda maior que Ca, P e Fe citados anteriormente, residindo provavelmente aí a idéia de que a cultura da mandioca empobrece o solo desse elemento.

Ocorrem na raiz da mandioca, principalmente vitaminas do grupo A, principalmente nas variedades de polpa amarela, empregadas para extração do tucupi (água de constituição da mandioca) nos Estados do Norte e em uso culinário, principalmente em São Paulo e Paraná. O teor de vitamina C poderia ser considerado, não fosse o fato de que essa vitamina é destruída no processamento industrial ou uso culinário.

A fração nitrogenada das raízes da mandioca apresenta na literatura valores muito variados. A metodologia clássica empregada para avaliação de proteína,

na qual multiplica-se o nitrogênio bruto por um fator, não é suficientemente acurado (Oke, 1968), uma vez que não foi ainda estabelecido um fator com valor correspondente aos aminoácidos da mandioca, utilizando-se nos cálculos valor correspondente a cereais ou outros vegetais. Segundo Oke (1968), no extrato aquoso obtem-se até 5,3% como valor médio de proteína. O suco da mandioca apresenta-se leitoso, com cheiro a cianeto. Consiste de 91% de água, 0,13% de óleos essenciais contendo enxofre, 2,3% de gomas, 1,14% de saponinas, 1,66% de glicosídeos e 3,8% de outros componentes não especificados.

A fração nitrogenada da raiz compreende não apenas a fração proteica, mas também a não proteica, da qual participa o nitrogênio correspondente ao radical CN da Linamarina, de modo que as avaliações da proteína da mandioca fresca ou de suas frações que ainda contém o glicosídeo, poderão, embora baixas, superestimar as proteínas existentes. Os dados de Sreeramamurthy (1945) revelam que parte do nitrogênio bruto não é extraído com os solventes tradicionalmente empregados na metodologia da determinação de proteína e que, embora uma porção desse nitrogênio não extraído seja de natureza proteica, a presença de outros nitrogenados também é provável. A precipitação da fração N bruto com hidróxido de cobre, separa a proteína verdadeira, que corresponde a 10% do total.

Tabela 1.2.
Composição da raiz da mandioca

Componentes da raiz	**(%)**		
Umidade	71,50	**de matéria sêca**	**mg/kg**
Matéria Seca		Manganes	12,00
Proteína bruta	0,43	Ferro	18,00
Carboidrato	94,10	Cobre	8,40
Cinzas	2,40	Boro	3,30
Minerais das Cinzas g/Kg		Zinco	24,00
Nitrogênio	0,84	Molibdenio	0,90
Fósforo	0,15	Aluminio	19,00
Potássio	1,38	**Outros**	
Cálcio	0,13	Oxalato	0,32
Magnésio	0,04	HCN (mg/100g)	38,00
Sódio	56,00	Ácido fitico	76,00

Fonte: Oke (1968).

Analisando-se a fração proteica em relação ao nitrogênio bruto, observa-se que a proteína da mandioca contém arginina, tirosina, triptofano e cistina. Esse perfil mostra que a proteína da raiz da mandioca contém baixa quantidade de aminoácidos importantes. Comparando-se à caseína, albumina de ovo, proteínas da couve e batata doce, nota-se que o defeito está mais na baixa quantidade do que na qualidade. Rogers (1963) cita (Tab.1.3) que os teores são baixos para histidina, prolina e glicina e que ocorre deficiência em aminoácidos que contém enxofre, como a metionina, cisteina, treonina, iso-leucina e triptofano.

Quanto à fração lipídica, Oke (1968) relata que representa de 0,1 a 1,0%, composta por 35% de ácido palmítico, 3,1% de esteárico, 39,0% de oleíco, 18% de linoleico e 5,6% de linolênico.

A fração da raiz correspondente as fibras é pouco mencionada, e com certeza substimada pela metodologia tradicional, pois embora visivelmente fibrosa, os valores encontrados na literatura encontram-se próximos a 2,0% de fibras (Vitti, 1966), enquanto que pelo método do detergente neutro obtem-se quase dez vezes mais.

Tabela 1.3.
Teores de aminoácidos em mandioca (g/100g de proteína)

Aminoácidos	(%)	Aminoácidos	(%)
Alanina	6,18	Lisina	5,71
Arginina	6,13	Metionina	2,05
Ac. Aspartico	9,61	Fenilalanina	5,54
Cistina	1,04	Prolina	5,26
Ac. Glutamico	9,37	Serina	4,69
Glicinia	5,87	Treonnina	4,45
Histidina	2,55	Triptofano	2,16
Isoleucina	5,19	Trirosina	3,88
Leucina	8,79	Valina	5,60

Fonte: Rogers (1963).

A fração mais importante é, portanto, a dos carboidratos, dos quais a maior parte é constituída de amido. A fração não amilácea, segundo Oke (1968) é de 3,10%, dos quais 1,97% são de açúcares redutores (0,93% de glicose, 0,43% de frutose e maltose) e 1,71% de não redutores (1,7 de sacarose e 0,01% de rafinose). O teor de amido, embora variável, é considerado pelo autor como alcançando até 35% da matéria fresca, mas os carboidratos totais, se calculados por dife-

rença chegariam a valores mais altos. O amido da mandioca, é digerido por amilase em 48% na forma nativa ou crua e em 78% quando previamente cozido (gomificado). O teor de açúcares originários do amido pode aumentar caso ocorra fermentação.

Resumindo, Sreeramamurthy (1945) afirma que as raízes de mandioca são acima de tudo amiláceas, contendo menos de 1% de proteína, teores nigligenciáveis de lipídeos, sendo pobre fonte de minerais e vitaminas do grupo B, embora a raiz fresca apresente teores apreciáveis de vitamina C.

1.3. GLICOSÍDEO POTENCIALMENTE TÓXICO DA MANDIOCA

A característica que difere a planta da mandioca de outras tuberosas amiloceas é a presença de glicosídeos potencialmente hidrolisáveis a cianeto. A Fig.1.1 representa a linamarina, o glicocídeo mais representativo e a lautoaustralina, o menos frequente. Cooke (1979) descreve os dois glicosídeos tóxicos presentes na mandioca, ambos capazes de gerar ácido cianídrico.

Embora a toxicidez do radical livre esteja bem estabelecida, a dos glicocianetos é ainda pouco conhecida. Pesquisas estão sendo conduzidas com linamarina extraída da mandioca para estabelecer a Dose Letal 50 por ingestão.

Oke (1969) esclarece que a linamarina e a lotaustralina são ß-glicosídeos de acetonacianidrina e etil-metil-cetona-cianidrina, respectivamente. Para o autor os glicosídeos na forma ligada não são tóxicos às plantas que os possuem. Face à essa constatação, é difícil explicar a razão de sua ocorrência. O mesmo autor propõe que os glicosídeos provavelmente são compostos intermediários na síntese das proteínas à partir de aminoácidos, que por sua vez são formados à partir do nitrato absorvido pelas raízes. Os glicosídeos cianogênicos seriam portanto intermediários estáveis não acumulando-se caso as condições para síntese das proteínas sejam favoráveis. Parece que a síntese do glicosídeo dá-se a partir da glicina.

Por outro lado, sua ação tóxica nos animais superiores explica-se pela afinidade com o ferro, combinando-se com a hemoglobina para formar a cianohemoglobina. Nas plantas superiores e nos microrganismos (Cereda, Brasil & Fioretto,1981), o cianeto interfere na fosforilação oxidativa combinando-se com o citocromo oxidase e inibindo o transporte eletrônico, e consequentemente, a formação de ATP.

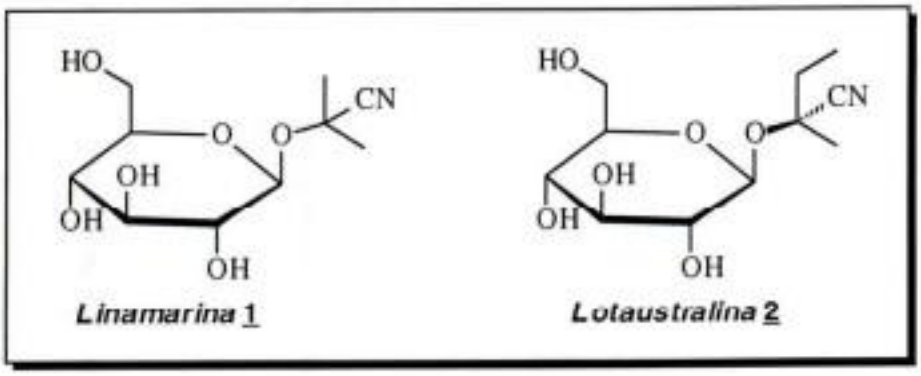


Figura 1.1. - Formulas estruturais da **linamarina** e **lotaustralina**

Em relação a animais superiores, o cálculo da quantidade suficiente para causar morte, ou dose letal, é obtida experimentalmente e expressa em mg por quilo de peso vivo. Oke (1969) cita que o limite considerado é de 1 mg/Kg de peso vivo. Esse limite deu origem a classificação das raízes de mandioca em bravas e mansas, de acordo com a quantidade de raiz, que por seu teor de cianeto, atingisse e ultrapassasse esse limite.

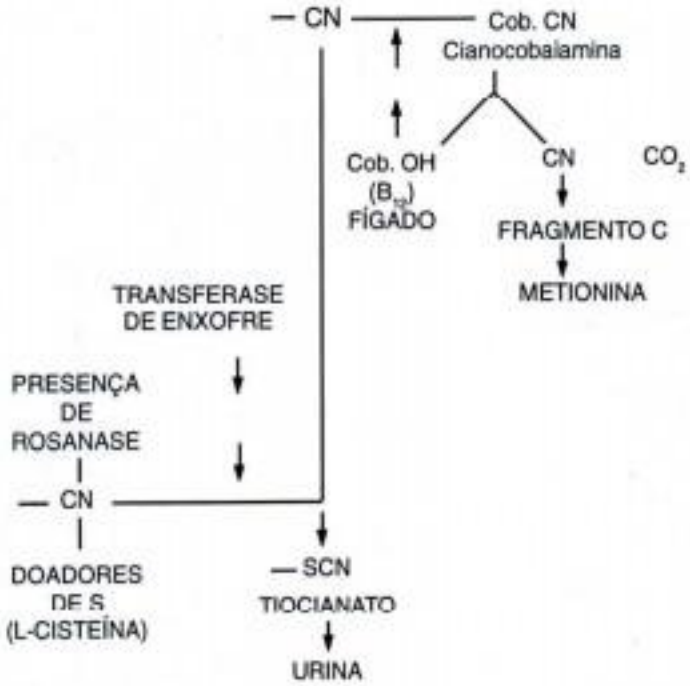
O limite fixado pela Organização Mundial da Saúde para os produtos elaborados com mandioca é da ordem de 5 mg/Kg de peso vivo, baseado nos limites existentes nos compêndios médicos, estabelecidos de morte por inalação de HCN. Embora se saiba no mundo científico que esse limite pode ser muito diferente da Dose Letal estabelecida para ingestão de Linamarina, nada foi feito para contestar esses números com dados científicos confiáveis. Recentemente está sendo realizada pesquisa para estabelecer a real dose letal para a Linamarina da mandioca. O estabelecimento deste novo limite poderá romper com o paradigma de que a mandioca é uma planta perigosa e abrirá novos horizontes da pesquisa de uso de seus derivados.

A literatura cita valores 15 a 400 ppm (mg CN /Kg de peso fresco) de ácido cianidrico nas raízes de mandioca, embora valores mais frequentes encontrem-se na faixa de 30 a 150 ppm (Carvalho & Carvalho, 1979).

Segundo Oke (1969), nos produtos processados a partir de mandioca, a enzima hidrolítica da própria planta (linamarase) permanece ativa e cataliza a reação que libera uma molécula de glicose, de acetona e de ácido cianídrico. A linamarase tem pH ótimo entre 5,5 e 6,0. Segundo o mesmo autor a glicose também pode atuar como antídoto, com a justificativa de que inverteria o sentido da reação, favorecendo a síntese do glicosídeo. Os microrganismos possui-

dores de enzimas celulolíticas (beta-hidrolíticas) também ocasionam hidrólise do glicosídeo, que é inibida pela ocorrência de glicose livre. Nesse caso uma explicação melhor seria de que os microrganismos consumiriam preferencialmente a glicose livre ao glicosídeo, o que foi comprovado por Coop & Blakey (1948) citados por Oke (1969), onde extrato de mandioca em solução contendo 1 a 3 ppm de HCl a pH 6,5, isoladamente ou em presença de glicose (2%), não ocasionava diferença no teor de cianeto liberado, mas por outro lado, não apresentavam efeito tóxico quando incubados com líquido de rúmen.

O valor do pH, entre outros fatores, é muito importante para que ocorra ou não intoxicação, uma vez que interfere com a velocidade da reação. Os animais em geral possuem um mecanismo de detoxificação (Fig. 1.2.), que pode evitar a morte quando a reação é lenta, como ocorre no estômago de suínos (monogástricos, com pH 3,0), mas não evitam a morte nos bovinos (poligástricos,com pH 7,0).



FONTE: OKE (1969)

Figura 1.2 - Mecanismo de detoxificação da linamarina

Segundo Oke (1969), o processo de detoxificação da linamarina no metabolismo humano, passa pela existência de aminoácidos com enxofre, como a cisteína, e de células dotadas da enzima Rodanase, capaz de destoxificar a linamarina em tiocianato, que é excretado pela urina. Sob esse mecanismo, desde que a nutrição seja adequada, não há razão para que ocorra intoxicação. A intoxicação aguda pelo cianeto causa parada respiratória, mas caso essa dose letal não seja alcançada, o cianeto é eliminado, pois não é cumulativo.

Por outro lado, microrganismos podem desenvolver-se em substratos contendo cianeto, por possuirem metabolismo anaeróbio,mecanismo alternativo à cadeia respiratória (Cereda, Brasil & Fioretto, 1981) ou serem capazes de destoxicar o cianeto pela cisão do radical em carbono e nitrogênio (Jensen & Abdel-Ghaffar, 1969) o que explicaria em parte o efeito de adubo dos despejos de água residual de processamento de mandioca.

O glicosídeo cianogênico está presente por toda a planta da mandioca, distribuído de forma desuniforme (Tab. 1.4).

Tabela 1.4.
Teor de glicosido cianogênico total em tecidos de cultivares doces e amargos de mandioca

Doces	**Glicosido Cianogênico (*) g/100g**	
	mg/100	**%**
Sementes	0,00	0,00
Plantulas c/ 10 Dias	28,50	0,03
Folhas maduras	46,80	0,05
Raízes	12,50	0,01
Tubérculos	46,20	0,05
Amargas		
Sementes	0,75	0,00
Plantulas c/ 10 Dias	24,50	0,02
Folhas maduras	31,00	0,03
Raízes	18,50	0,02
Tubérculos	39,50	0,04

(*) Média de 3 Cultivares

Fonte: Nartey (1977)

1.4. SUB PRODUTOS DA MANDIOCA

Os sub produtos da mandioca são partes constituintes da própria planta, gerados em função do processo tecnológico adotado. Por esse conceito seriam considerados sub produtos, inclusive, os restos de cultura. Tanto a qualidade como a quantidade dos sub produtos variam bastante, em função de uma série de fatores tais como cultivar, idade da planta, tempo após a colheita, tipo e regulagem do equipamento industrial, etc.

Considerando-se os principais tipos de processamento das raízes de mandioca no Brasil, como a fabricação de farinha de mandioca e a extração de fécula, os sub produtos gerados podem ser sólidos ou líquidos.

Alguns dos sub produtos sólidos são a casca marrom,entrecasca, descarte, crucira, fibra, bagaço e varredura. Entre os sub produtos líquidos cita-se a manipueira, que Gravatá (1946) define pelo próprio significado da palavra, que em tupi-guarani quer dizer "o que brota da mandioca". A palavra manipueira consta de dicionários e caracteriza a água deconstituição da raiz, extraída na prensagem da massa ralada, na confecção da farinha. Por outro lado, na extração da fécula, a água usada dilui a manipueira, diminuindo sua carga orgânica e teor de cianeto, mas aumentando enormemente o volume. É também considerado resíduo líquido a água da lavagem das raízes. A Tab. 1.5 apresenta um resumo da composição média de diversos sub produtos derivados da mandioca.

Tabela 1.5.
Resumo da composição média dos diversos sub produtos sólidos de mandioca

	Caule	Cepa	Farinhão	Farelo	Casca Marrom	Entre Casca	Folhas
Umidade %	65,00	53,28	11,70	85,00	48,28	65,60	77,20
% Matéria seca							
Proteína (6,25)	6,25	-	0,52	1,98	0,64	1,29	30,68
Carboidrato	31,91	-	-	0,94	-	-	42,00
Amido	-	71,40	68,48	73,78	0,00	58,00	0,00
Matéria graxa	1,78	-	1,74	0,83	3,00	2,00	7,15
Cinzas (500ºC)	6,15	2,28	1,06	1,65	4,00	3,00	7,22
Fibras	52,55	-	-	16,08	41,00	6,00	43,15
Calorias cal/ grama	4.216	2.035	3.800	3.775	-	-	4.782
pH	-	7,02	5,39	5,70	-	-	5,50
Acidez (1)	-	-	3,70	5,16	-	-	-
HCN (2)	-	102,40	0,00	0,00	0,00	320,00	0,00

(1) mL NaOH/ 100g ou ml de produto, (2) Potencial , - Dados não disponíveis
Fonte: Dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000.

Folhas:

As folhas de mandioca no Brasil são consideradas resíduos, pois apenas na região norte são consumidas como hortaliça. Na região sul-sudoeste as folhas caem durante a estação seca e fria, com grande desperdício. A proteína das folhas, assim como da planta toda, é deficiente em aminoácidos sulfurados mas apresentam teores consideráveis de carotenos e vitamina C. Enquanto a vitamina A se conserva em parte, a vitamina C é perdida no processo de secagem. Na matéria seca dessas folhas, pode-se obter até 30% de proteína bruta, segundo Carvalho et al (1987), além de vitaminas do grupo A. O processamento além de afetar grandemente as perdas de vitaminas, intervém sobre a eliminação do cianeto. Sabe-se que as folhas contém elevados teores de minerais (cálcio, potássio, ferro). Contém elevado teor de cianeto, um beta-glicosídeo capaz de gerar ácido cianídrico em processo de hidrólise enzimática levada a efeito por enzimas autóctones ou exógenas. Contém também elevados teores de enzimas que podem liberar o cianeto, tornando-as seguras para alimentação humana. O cianeto da mandioca não é cumulativo e pode ser destoxificado no organismo humano as custas de aminoácido metionina.

Pequeno et al (1994) obtiveram em média 2.42 t/ha de folhas desidratadas (10 a 12 % umidade) com 1.13 mg/Kg em cianeto total, 27.30% de proteína e 103.87 mg/Kg de Beta Caroteno. As análises não detectaram a presença de ácido ascórbico (Vit. C) na "farinha" de folhas das variedades estudadas.

Folhas de mandioca podem também sofrer desidratação osmótica, em soluções de NaCl e sacarose. Os melhores resultados mostram material com 23-25 % de umidade contra 65-70% quando elas estavam frescas, representando uma redução de mais de 50%. Após desidratação de 5 horas a 55°C em salmoura saturada em sal e açúcar (respectivamente 350g e 1900g por litro de água), a atividade de água da folha foi de 0,77. O produto da desidratação apresentou a seguinte composição, em g/100 g matéria seca: nitrogênio 4,21, fósforo 0,29, potássio 1,55, cálcio 1,41, magnésio 0,44, enxofre 0,27. Em mg/ 100g de matéria seca os resultados foram: ferro 242, zinco 48, cobre 11, manganês 237 e boro 56. Os resultados prévios obtidos foram de 0,99% em fenólicos totais, avaliados por método de oxi-redução com reativo de Folin-Crocalteau e 0,09% de taninos, expressos em matéria seca e avaliados pelo método da vanilina-HCl. Esses resultados mostram que os teores de tanino são desprezíveis nesse material. Esses teores de fenólicos totais são muito menores que os encontrados por Rickard (1986) em raízes desidratadas e moídas (farinha de raspas de mandioca). Nas folhas frescas, os teores de cianeto dependem da idade da folha. Variaram

de 500 ppm (folhas velhas) a 1000 ppm (folhas mais novas) para o cianeto total e de 40 ppm (folhas velhas) a 100 ppm (folhas mais novas) para o livre, expressos em base seca. Quando se emprega desidratação osmótica de 1 hora e 5 minutos / 66°C, em salmoura saturada em sal e açúcar, uma amostra mista apresentou 25 mg/Kg ppm para o cianeto total e 15 Mg/Kg ppm para o livre. Com o processo não ocorrem perda da vitamina A e as perdas dos componentes minerais, quando existem, são bastante baixas. Os fenólicos foram dosados em 1,0 mg por 100g.

Caule, maniva ou rama: segundo a literatura, apresenta 15,25% de proteína bruta nas ramas, com teor considerável de carboidratos.

Na Tab. 1.6, são apresentados a composição média de tres amostras de componentes das mesmas quatro cultivares de mandioca, cultivadas e colhidas no mesmo local, Santa Helena, PR. As partes da planta toda, raiz, cepa, ramas foram caracterizados. Ë possivel visualizar que entre raiz, rama e cepa, a principal diferença de composição se da pelo teor cada vez mais alto de fibra e menor de amido.

Tabela 1.6.
Valores médios de tres determinações das raízes, rama e cepas das cultivares de mandioca IAC 14, IAC 12, Mico e Fécula Branca de Santa Helena, cultivadas em Santa Helena, PR (expressos em matéria seca)

Raiz	Amido	Proteína	Matéria Graxa	Fibra	Cinzas
IAC – 14	84,47	3,08	0,97	1,87	2,29
IAC - 12	85,54	2,80	1,01	1,81	2,52
Mico	84,81	3,07	1,03	1,84	2,32
Branca Sta Helena	84,67	3,40	1,02	1,81	2,56
Rama					
IAC – 14	61,38	7,24	1,10	9,18	7,87
IAC - 12	63,19	8,55	0,78	8,88	8,12
Mico	61,78	7,43	1,00	9,68	7,08
Branca Sta Helena	64,61	4,85	1,15	11,02	5,67
Cepa					
IAC – 14	21,15	11,18	1,12	54,21	8,56
IAC - 12	24,88	7,90	1,08	54,11	7,80
Mico	22,33	9,34	1,12	55,51	8,81
Branca Sta Helena	23,84	8,83	1,10	53,95	7,24

Fonte : Dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000.

Casca: a casca marrom, em termos técnicos corresponde a periderme, que varia entre 2 e 5% do peso total das raízes. Constitui-se em fina camada celulósica, de cor marrom clara ou escura. Tem composição média, obtida de diversas partidas, conforme a Tab. 1.7. Com a casca em geral pode sair certa quantidade de entre-casca, ou parênquima cortical, o que acarreta perda de amido nas fecularias, mas é desejável em farinheiras, caso apresente-se excessivamente fibrosa. Para adequar-se à realidade da indústria, a composição dos sub produtos denominados "cascas" é melhor expressa pela mistura de ambas as frações. As cascas, embora passíveis de tratamento por digestão anaeróbia (Motta, 1985), poderão ser empregadas em fins mais nobres, como adubo ou alimentação animal.

Tabela 1.7.
Valores médios de diversas determinações da fração "casca", expressas em matéria seca

Umidade	Marron	Entre-casca	Mistura
Umidade	48,28	65,60	72,32
g/% de matéria seca			
Sólidos Voláteis	-	-	26,23
Cinzas	4,00	3,00	1,45
Carboidratos Solúveis	-	-	7,86
Amido	0,00	58,00	32,00
Lipídeos	3,00	2,00	0,63
Nitrogênio	0,64	1,29	2,10
Fibra	41,00	6,00	-
Lignina mg % de sólidos volateis	-	-	6,46
mg % de matéria seca			
CN Livre	-	-	23,90
CN Total	0,00	320,00	120,00
Fósforo	60,00	-	60,00
Potássio	430,00	-	430,00
Cálcio	280,00	-	280,00
Magnésio	80,00	-	80,00
Ferro	5.538,00	-	26,00
Cobre	9,00	-	9,00
Zinco	21,00	-	21,00
Maganês	104,00	-	103,00
Enxofre	110,00	-	320,00

(continuação)

Umidade	Marron	Entre-casca	Mistura
Boro	18,00	-	18,00
Acidez Volátil (mg. Ac. Acético/L)	-	-	5.548,00
Alcalinidade (mg/L ou Kg)	-	-	2.191,00
Relação C/N	-	-	6,40
Relação C/P	-	-	0,35
DQO mg/L ou Kg	-	-	19.100,00

n.d. Não determinado; - sem informação

Fonte: Motta (1985) e dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000.

Cepa: O descarte é produzido durante a operação de seleção, com a finalidade de não forçar o ralador, e tem composição semelhante à raiz de mandioca, sendo apenas mais fibroso por conter o pedunculo. É por isso também chamado de descarte ou "calcanhar". Na Tab.1.6 é apresentada a composição de cepas de cultivares do Estado do Paraná. Sua qualidade depende da cultivar e da idade da raiz, apresentando-se em média com 55-60% de umidade. O descarte, juntamente com a massa ou farelo poderão ser usados "in natura", para compor ração animal, podendo constituir receita para a indústria. Pelo teor de amido, cerca de 20%, poderia ser melhor aproveitado. Caso seja ralado junto com a raiz, além de evitar uma operação custosa no campo, a "repinicagem", poderia gerar uma quantidade complementar de fécula. Por outro lado, por ser muito lenhoso, poderia desgastar rapidamente as serras do ralador.

Massa, Farelo ou Bagaço: Esse resíduo sólido é composto pelo material fibroso de raiz, contendo parte do amido que não foi possível extrair no processamento. É gerado na etapa de separação da fécula e por embeber-se de água, apresenta em volume, maior quantidade que a própria matéria-prima, contendo cerca de 75% de umidade. Esse resíduo sólido, após parcialmente seco, tem, em média, a composição que consta da Tab. 1.8 a 1.10. Verifica-se nessa tabela a diferença ocasionada pela tecnologia adotada. A composição de bagaços secos ao sol, provenientes de indústrias de fabricação de fécula fermentada localizada em Minas Gerais, encontram-se na Tab. 1.10.

Tabela 1.8.
Valores médios de diversas determinações de farelo expressas em matéria seca

	Farelo		
	Fécula Royal Flaishman	**Polvilho azedo Minas**	**Farinha Fiapos**
Umidade %	9,42	14,82	9,52
Matéria seca g/100g			
Cinzas	0,83	3,77	0,66
Carboidratos Solúveis	0,01	-	-
Amido	69,76	74,99	63,85
Lipídeos	0,65	0,28	0,83
Nitrogênio	0,24	1,86	0,32
Fibra	11,08	7,81	14,88
mg/Kg			
Fósforo	-	30,00	-
Potássio	-	280,00	-
Cálcio	-	90,00	-
Cianeto Livre	-	-	-
Cianeto Total	0,00	0,00	-
pH	4,00	-	-

Fonte: Fioretto (1987), - sem informação e dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000

A característica principal do farelo é de conter elevado teor de amido residual. O aumento de teor de amido na raiz não corresponde a aumento correspondente na fibra, mostrando que mais que um amido residual, trata-se de uma característica desse resíduo reter parte do amido total. O farelo apresenta mais de 70% de amido residual e ao redor de 16% de fibras. Os teores de acidez assim como os valores de pH são bastante variáveis, provavelmente porque ocorrem fermentações naturais, uma vez que o farelo apresenta elevado teor de umidade. O amido residual não é acessível por métodos físicos, mas pode ser mobilizado por enzimas.

A Legislação brasileira não inclui o farelo como alimento, embora permita o uso do farelo de trigo. Usando as limitações estabelecidas como base na legislação brasileira para a farinha de mandioca, o farelo apresenta-se bastante semelhante à farinha, apenas menos calórico. O elevado teor de amido no farelo sugere uma aparente ineficiência no processo de extração. Na verdade, a raiz de mandioca apresenta cerca de 2% de fibra, em geral expressa como celulose e 30%

de amido. Na extração, cerca de 3% do amido residual fica retido em menos de 3 % de fibra, que absorve grandes quantidades de água, o que explica porque praticamente cada tonelada de raiz eqüivale uma tonelada de farelo úmido.

Em amostras de farelo coletas em indústrias, as contagens apresentaram médias de 23 375x10^2/g para contagem total em placa, assim como 100/g para bolores e leveduras. Não se obteve contagens para microrganismos passíveis de causarem doenças, tais como bactérias coliformes fecais, *Clostridium* sulfito redutores (44°C), *Staphylococcus aureus* e Salmonelas. Em relação às exigências da Legislação brasileira para farinha de mandioca, essas amostras poderiam ser consumidas "in natura". Embora exaustivamente lavado, o farelo apresenta minerais. A composição mineral do farelo úmido industrial, com 47% de matéria orgânica mostra em mg/ Kg seco: 270,0 carbono, 0,35 nitrogênio, 0,02 fósforo, 0,19 potássio, 0,18 de cálcio, 0,08 de magnésio, 0,02 de enxofre, 44,0 de ferro, 12,0 de cobre, 17,0 de manganês, 7,0 de boro. O farelo é uma fonte de fibra de boa qualidade, apresentando em média 29% de fibra, determinada por método de detergente neutro, 14% por detergente ácido e 7% de fibra dietética, sendo 6% insolúvel e 1% solúvel. A recomendação para consumo humano é de 12 a 20 gramas de fibra/dia.

Tabela 1.9.
Composição química média de bagaço seco ao sol de 20 industriais de produção de polvilho azedo de Pouso Alegre e Divinópolis, MG

	Média (%)	S
Amido	63,60	2,780
Açúcares solúveis - glicose	0,24	0,096
Proteína	2,31	0,340
Fósforo	0,03	0,008
Cálcio	0,09	0,031
Potássio	0,28	0,058
Extrato etéreo	0,65	0,347
Fibra	8,33	2,063

Fonte: Análises realizadas na ESAL - Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG.

Outros sub produtos sólidos poderiam ser aqui lembrados como o **farinhão** ou **crueira**, constituído de pedaços de raízes e entre casca, separados por peneiras antes do forno, no processamento de farinha de mandioca, quando emprega-se equipamento marca Zaccharias (São Paulo). A composição desse resíduo

encontra-se na Tab.1.8. Caso o equipamento empregado no processamento da farinha seja procedente da indústria Mádia (Paraná), esse resíduo não existirá, substituído pelo fiapo, constituído pelas fibras da raiz de mandioca. Outro resíduo sólido é a **varredura**, correspondente em composição à farinha de mandioca e massa ralada, depositada no piso da indústria ao longo do dia de trabalho.

O **lodo das lagoas** de sedimentação dos sub produtos líquidos, cuja composição consta da Tab.1.10, é algumas vezes seco ao sol e usado como adubo, o que não é muito comum. Também não é comum o aproveitamento da fécula extremamente fina, retida nos filtros de pano acoplados às classificadoras de farinha.

Tabela 1.10.
Valores médios de diversas determinações expressas em matéria seca.

	Lodo de Farinhão	Varredura	Lagoas
Umidade	11,70	-	4,95
Cinzas	1,06	-	61,41
Amido	68,48	-	1,80
Lipideos	1,74	-	0,06
Nitrogênio	0,52	0,55	1,84
Fibra	-	-	9,69
Cianeto Livre CN (ppm)	-	-	0,00
Cianeto Livre CN (ppm)	-	-	0,00
Fósforo (ppm)	70,00	70,00	540,00
Potássio (ppm)	700,00	640,00	240,00
Cálcio (ppm)	130,00	90,00	140,00
Magnésio (ppm)	60,00	50,00	60,00
Ferro (ppm)	41,00	32,00	23.800,00
Cobre (ppm)	2,00	3,00	63,00
Zinco (ppm)	8,00	8,00	75,00
Manganês (ppm)	20,00	18,00	105,00
Enxofre (ppm)	30,00	30,00	46,00
Boro (ppm)	20,00	7,00	14,00
pH	5,39	-	5,42
Acidez Titulável (mL NaOH N/%)	3,70	-	3,90

Fonte : Dados não publicados do CERAT/UNESP (2000)

Caracterização dos subprodutos líquidos: São considerados despejos líquidos industriais, a manipueira diluída, nas industrias de extração de fécula de mandioca e fabricação de fécula fermentada: água de lavagem das raízes e água residual da prensagem da massa ralada na fabricação de farinha. Os volumes gerados, em média, são aproximadamente de 2,62 m^3/t de raízes para agua de lavagem das raízes e 3,68 m^3/t de raízes agua de extração da fécula.

A água de lavagem das raízes é originária dos lavadores/descascadores, carrega em suspensão a terra e as cascas, que podem ser separados por decantação e peneiragens. Uma vez separados os sólidos suspensos, constitui-se basicamente da água captada pela indústria, contendo ainda em supensão ou dissolução, baixo teor de matéria orgânica originária das raízes e carreada pela água devido a maceração ou quebra. A composição média da água de lavagem de raízes, obtida de dados experimentais e em indústria de fabricação de farinha de mandioca, encontra-se na Tab. 1.12.

Tabela 1.11.
Composição da água de lavagem das raízes da farinheira Plaza, Santa Maria da Serra, SP, com 99,46 % de umidade

Componentes	Água de lavagem das raízes (%)
Sólidos totais	0,54
Sólidos voláteis	0,51
pH	5,50
DQO (ppm)	500,00
Cianeto total (ppm)	20,00

Fonte: dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000.

Manipueira e água de extração da fécula de mandioca: o sub produto líquido constituído pela água de extração de fécula de mandioca, é composto pela mistura da água captada pela indústria com o líquido de constituição da raiz de mandioca. Constitui pois, uma diluição da água de constituição da raiz, denominada tecnicamente de manipueira.

Tabela 1.12.
Características físico-químicas de manipueira de indústrias de processamento de mandioca no Estado de São Paulo (média de diversas amostragens)

Componentes	**(%)**	**matéria seca**	**mg %**
Umidade	93,71	Magnésio	405,00
matéria seca	**g %**	**matéria seca**	**mg %**
Sólidos Totais	6,28	Magnésio	405,00
Sólidos Voláteis	5,23	Ferro	15,35
Amido	0,00	Cobre	1,15
Carboidratos solúveis	0,51	Zinco	4,20
Lipídeos	0,50	Maganês	3,70
Cinzas	1,06	Enxofre	19,50
Nitrogênio bruto	0,49	Boro	5,00
Fibra	0,30	Relação C/N	7,57
Lignina % de sólido volatil	5,98	Relação C/P	34,43
mg % de matéria seca		DQO (ppm)	6.365,50
Cianeto Livre	43,75	Acidez Volátil	2.703,70
Cianeto Total	444,00	Alcalinidade	1.628,00
Fósforo	160,84	Acidez titulável	3,27
Potássio	1.863,50	pH	4,10
Cálcio	227,50	Magnésio	405,00

Fonte: dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000.

Segue na Tab.1.13 e 1.14 a composição média de algumas amostras de manipueira de fábricas de farinha, analisadas nos laboratórios do CERAT - Centro de Raízes e Amidos Tropicais da UNESP, Botucatu, SP, com elevado teor de cianeto total, em relação ao cianeto livre, assim como o alto teor de potássio.

Agua de prensa ou água vegetal: carrega a maioria dos solúveis, incluindo a linamarina, responsável pela liberação do cianeto da mandioca. O teor de cianeto potencial total fica ao redor de 364 mg/ litro, com 50% de cianeto livre. A mandioca apresenta cerca de 70% de umidade. A manipueira tem carga orgânica (Lamo & Menezes, 1979), dependendo também do processamento industrial. Todo o amido residual deve ser retirado da manipueira antes de seu despejo ou tratamento. Sendo equivalente a água de constituição da raiz, a manipueira caracteriza-se por conter a maioria das substâncias solúveis, e algumas insolúveis em suspensão. Além do potencial poluente devido a grande quantidade de material de origem orgânica esgotado, existe o problema da presença de glicosí-

deos potencialmente hidrolisáveis à cianeto. A linamarina e latoaustralina, encontram-se presentes em todas as partes do vegetal (Carvalho & Carvalho, 1979). No processamento da mandioca a quantidade de água usada carreia grandes concentrações deste glicosídeo, fazendo com que o líquido residual deste processamento contenha grande quantidade deste produto (Sobrinho, 1975). Em presença de ácidos ou enzimas hidrolizam-se, dando formação a radicais-livres de cianeto (CN) e a seguir ácido cianídrico (HCN) (Williams, 1979). Praticamente a totalidade do glicosídeo cianogênico existente na massa de raiz desintegrada, e carreada por esse resíduo. Segundo Arguedas & Cooke (1982), os seguintes dados foram obtidos de indústrias colombianas de extração de fécula de mandioca. Expressando-se como 100% o teor de cianeto (HCN) da raiz, na massa ralada para extração da fécula restaria 76 %, no farelo ou bagaço, 12,5%, na água de extração, restariam 74%, na fécula úmida 2 % e na fécula seca menos de 1%.

Tabela 1.13.
Valores médios para caracterização de resíduos líquidos da industrialização da mandioca

	Manipueira de farinheira	Manipueira de fecularia
Umidade %	92,77	91,53
% M. Seca		
Proteína (6,25)	1,22	0,97
Amido (%)	9,42	6,12
M. Graxa	0,50	0,11
Cinzas (500°C)	0,54	0,08
Fibras	0,30	0,10
pH	4,10	4,10
Acidez*	3,27	2,70
HCN[P]	463,76	80,00

mL NaOH/ 100g ou mL de produto

Fonte: dados não publicados do CERAT/UNESP, 2000.

O esgotamento desta água residual, segundo SOBRINHO (1975), pode trazer sérios problemas de poluição ambiental; a este respeito a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo (CETESB) considera as in-

dústrias de amido como altamente poluidoras. Levando-se em conta o índice de equivalente populacional em DBO (5 dias, 20°C) de 24 g/hab/dia, equivale a poluição ocasionada por 150 a 250 hab/dia. Segundo ARAIN (1983), em Santa Catarina, a poluição causado por indústrias de processamento de mandioca com fins de obtenção de fécula produzia efluentes com DQO ao redor de 25.000 mg O^2 /L, o que correspondia, segundo a autora, a poluição causada por 460 hab/dia.

Tabela 1.14.
Composição química de manipueira de diferentes partidas da farinheira Plaza de Santa Maria da Serra, S.P.

Componente	mg/% matéria seca Fernandes Jr. (1989)	Cereda & Fioreto (1982)
Nitrogênio	681,0	150,0
Fosfóro	300,0	219,0
Potássio	2052,0	1675,0
Cálcio	230,0	225,0
Magnésio	444,0	366,0
Enxofre	195,0	-
Ferro	22,0	8,7
Zinco	4,2	-
Cobre	1,3	1,0
Manganês	5,9	1,5
Boro	5,0	-

- Sem informação.

Resultados obtidos no CERAT/UNESP mostram que cerca de 60 % da carga orgânica é composta de partículas de material oxidável, capazes de passar por poros de 0,05 a 0,005 mm, o que dificulta seu tratamento por processos físicos. Esse resultado foi obtido por ultrafiltração de manipueira de farinheira, em filtro de cerâmica e resultou em líquido límpido, mas a remoção de DQO foi de apenas 57% para ultrafiltração e de 62% para microfiltração. O DQO desse resíduo situa-se em torno de 20 000 para a manipueira de farinheiras e de 6 000 para a de fecularias. A micro e ultrafiltração reduzem muito pouco esses teores de sólidos suspensos, mostrando que 42,68% desses sólidos era menor que 0,2 µm e que 38,30% era menor que 0,005 µm. A análise dos carboidratos solúveis da manipueira apontaram presença de glicose e maltose e muitas vezes apenas

glicose, entre 40 e 45 g/L, o que explica em parte a dificuldade de reter carga biodegradável por processo físico. O pH apresenta-se mais baixo que o das raízes, em média de 4,0 a 4,6, enquanto que o da raiz fica entre 6,0 e 5,5, devido a ocorrência de fermentação. O teor de minerais é elevado, predominando potássio e fósforo. A condutibilidade elétrica média, comparada a de solução de cloreto de potássio (0,7455 g/L, 1 412) é de 6 780 m ohlms.

Tabela 1.15.
Composição da agua residual da fecularia Fleishmann-Royal de Conchal , SP

Análise	Mínima	Máxima
pH	3.8	5.2
mg/L	-	-
DQO	6.280	51.200
BDO	1.400	34.300
Sólidos Totais	5.800	56.460
Sólidos Solúveis	4.900	20.460
Sólidos Suspensão	950	16.000
Sólidos Fixos	1.800	20.460
Matéria Orgânica	1.500	30.000
Açúcares Redutores totais	2.800	8.200
Fosfatos totais	155	598
Nitrogênio total	140	1.150
Cinzas	350	800
Sólidos sedimentavies (1h)	11	33
Teor CN	22.0	27.1

Fonte: Lamo & Menezes (1979).

Água de extração da fécula:

Mais diluída, apresenta maior volume em relação ao mesmo resíduo originário de farinheiras, porém cargas orgânicas mais baixas. A umidade é muito alta, em torno de 95 % e a demanda química de oxigênio fica ao redor de 6000 mg O^2/litro. A condutibilidade elétrica média, comparada a de solução de cloreto de potássio (0,7455 g/L, 1.412) é de 1.604 µ ohlms.

BIBLIOGRAFIA

ANRAIN, E. Tratamento de efluentes de fecularia em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 12., 1983, Balneário de Camburiu. Anais...Fundação de Amparo Tecnologia e ao Meio Ambiente, Florianópolis, 1983. p.1-21.

ARGUEDAS, P.; COOKE, R.D. Concentraciones de cianuro residual durante a 1a extraccion de amidon de yuca. Yuca Bol. Inf. CIAT, v.10, p.7-9, 1982.

BENDALL, D.S.; BONNER Jr, W.D. Cyanide insensitive respiration in plant mitochondria. Plant Physiol., v. 47 , p.236-245, 1971.

BRANCO, S.M. Investigations on biological stabilizations of toxic wastes from manioc processing. Prog. Wast. Tech ., v.11, f.6 , p.51-54, 1979.

BRASIL, O.G.; CEREDA, M.P.; CAGLIARI, A.M. Respiração resistente ao cianeto em microrganismos. CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOQUÍMICA, 7; 1980, Caxambu. Anais...Caxambu, 1980.

CARVALHO, V.; CARVALHO, J.G. Princípios tóxicos da mandioca. Inf. Agropecu ., v.5, p.82-8, 1979.

CEREDA, M. P. ; BRASIL, O G. ; FIORETTO, A M. C, Potencial de utilização de água em microrganismos isolados de líquido residual de fecularias. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 11. Florianópolis, 1981.

CEREDA, M. P. Resíduos da industrialização mandioca no Brasil. São Paulo, Ed. Paulicéia., 1994. 174 p.

CEREDA, M.P. A água residual das fecularias. O Estado de São Paulo , São Paulo, Jun. 1972. Suplemento Agrícola, p.5.

CEREDA, M.P.; FIORETTO, A.M.C. Potencial de utilização de água de fecularias. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 2., 1983, Cruz das Almas. Anais...Cruz das Almas, 1983.

CEREDA, M.P.; BRASIL, O.G.; FIORETTO, A.M.C. Atividade respiratória em microrganismos isolados de liquido residual de fecularias. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 11. 1981, Florianópolis.

COOKE, R. D. Enzymatic assay for determining the cyanide content of cassava and cassava products. Cali : Cassava Information Center, CIAT, 1979. 14p.

FIORETTO, A.M.C.; CEREDA, M.P. Fermentação natural de liquido residual de fecularias. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE MICROBIOLOGIA, 9. E CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 12., 1985, São Paulo. Anais...São Paulo, 1985.

GRAVATÁ, A G. Aproveitamento industrial da manipueira (resíduo da fábrica de farinha de mandioca). Chac. Quint. São Paulo, v.74, p.82-4, 1946a

HEGARTY, J. V.; WADSWORTH, G. R. The amount of iron in processed cassava (Manihot utilíssima) J.Trop.Med.Hyg., v.71, f.2, p.51-2, 1968.

HESS, M.L. Tratamento de despejos de fecularias de mandioca por oxidação biológica. Rev. DAE , São Paulo, v.23, f.46, p.29-35, 1962.

JENSEN, H.L.; ABDEL-GHAFFAR, A.S. Cyanuric acid as nitrogen souces for microorganisms. Arch. Mikrobiol., v.67 , p.1-5, 1969.

KAMMM, R.; MEACHAM, K.; HARROW, L.S.; MONROE, F. Evaluating new business opportunities from food wastes. Food. Technol ., London, v.31 , p.31-40, 1977.

KOK, E.A. O farelo de raspas de mandioca na alimentação dos animais. Bol. Ind. Anim ., São Paulo, v.5, f.4, p.195-205, 1942.

LAMO, P.R.; MENEZES, T.J.B. Bioconversão das águas residuais do processamento de mandioca para produção de biomassa. Col. ITAL , v.10 , p.1-14, 1979.

MENOTTI, L. Contribuição para o estudo da composição química e valor nutritivo dos resíduos da industrialização da mandioca, *Manihot utilissima* , Pohl, no Estado de São Paulo. Bol. Industr. Anim., São Paulo, v. 29, f.2 , p.339-74, 1972.

MOTTA, L.C. Utilização de resíduos de industrialização de farinha de mandioca em digestão anaeróbia. 1985. 119p. Tese (Mestrado). Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

MOTTA, L.C.; CEREDA, M.P.; TAKAHASHI, M. Utilização da casca de mandioca (*Manihot esculenta* , Crantz) em digestão anaeróbia. Energ. na Agric. , Botucatu, v. 2, f.1, p. 25-33, 1987.

NARTEY, F. Cyanogenesis in tropical feeds and feedstuffs. IN : VENNESLAND, B. ; CONN. E. E. ; KNOWLES, CJ. WESTLEY, J. ; WISSING, F. Cejanid in Biology. London : Academic Press, 1981. p.115-132.

OKE, O L. Cassava as food en Nigéria. World Rev. Nutr. Dietetics, v.96, p.227 50, 1968.

OKE, O L. The role ofhydrocyanic acid in nutrition. World Rev. Nutr. Dietetics, v.11, p.170-98, 1969.

ROGERS, D. J. Studies of *Manihot esculenta* Crantz and related species. Bull. Torrey Bot. Club, v.90, f.1, p.43-54, 1963.

SOBRINHO, P.A. Autodepuração dos corpos d'água. In: CURSO POLUIÇÃO DAS ÁGUAS, 1975, São Paulo. Apostila... São Paulo, CETESB/ABES/BNH, 1975. Cap.8, p.6-9.

SREERAMAMURTHY, V. V. Investigations on the nutritive value of tapioca *(Manihot esculenta)*. Ind. J. Med. Res., v.33, f.2, p.229-238, 1945.

SUNDHADUL, M. Feasibility study on tapioca waste recovery In: WORKSHOP STUDY ON RECOVERY BY MICROORGANISMS. 1973, Kuala Lumpur.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. Inf. Agropec. , Belo Horizonte, v.13, f.145 , p.83-7, 1987.

VITTI, P. Industrialização da mandioca. Produção de amido, raspa e farinha de mandioca. Bol. CTPTA, v.6, P.26-33, 1966.

WILLIAMS, H.J. Estimation of hidogen cyanide from cassava at organic solvents. Expl. Agric., v.15, p.393-9, 1979.

CAPÍTULO 2

LINAMARINA E SUA DECOMPOSIÇÃO NO AMBIENTE

Suzan Pantaroto[1]
Marney Pascoli Cereda[2]

2.1. INTRODUÇÃO

Linamarina é um β-glicosídeo de acetona cianidrina e etil-metil-cetona-cianidrina. As células da planta da mandioca, como um todo, contêm glicosídeos cianogênicos potencialmente tóxicos, linamarina e lotaustralina, presentes na proporção, de 96% e 4%, respectivamente (OKE, 1969). Quando o tecido é dilacerado a linamarina é hidrolisada enzimaticamente por β-glicosidases, das quais destaca-se a linamarase, enzima autóctone da mandioca que se encontra separada dos glicosídeos quando o tecido está intacto (compartimentalização).

A clivagem dos glicosídeos dá início à cianogênese, havendo a produção de glicose e α-hidroxinitrilas que se dissociam espontaneamente em pHs maiores que 5,0, ou por ação da hidroxinitrila liase (HNL), formando ácido cianídrico (HCN) e as cetonas correspondentes. (Fig. 2.1).

Todas as espécies de mandioca são conhecidas por conter cianeto. A toxicidade causada por cianeto livre tem sido sempre reportada, enquanto a toxicidade causada pelo glicosídeo não é relatada com grande ênfase. (CEREDA, 1994)

[1] Mestranda - Faculdade de Ciências Agronômas - UNESP - Botucatu - SP.
[2] Professora Doutora, Pesquisadora CERAT/UNESP – Botucatu – SP e-mail: cereda@laser.com.br

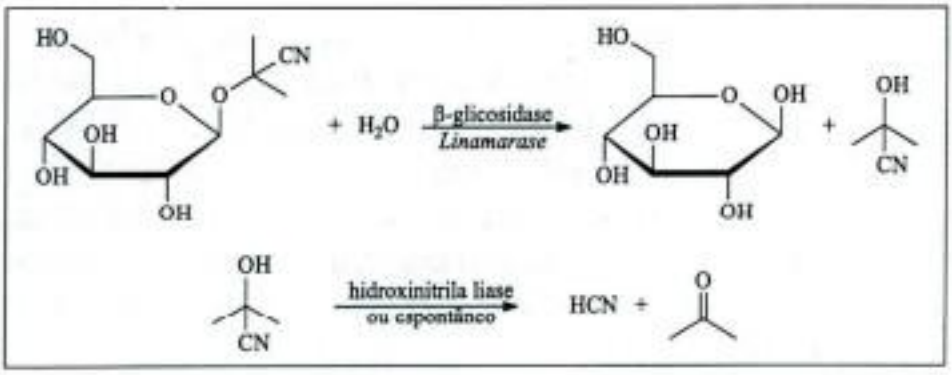


Figura 2.1: Cianogênese em mandioca a partir da Linamarina

O processamento da mandioca para alimentação no Brasil também gera problemas de toxicidade, pois o cianeto é um composto solúvel em água, sendo carreado através de resíduos sólidos e líquidos provindos das indústrias. (SOBRINHO, 1975). A quantidade de resíduo produzido depende do método de processamento utilizado. Quando a mandioca é utilizada para fins de culinária caseira, a quantidade de resíduos gerados é mínima não causando grandes danos ambientais. Em contrapartida, quando é processada industrialmente, mesmo em pequenas "Casas de Farinhas" (pequenas fábricas de farinha), há a produção de uma quantia considerável de resíduos. (CEREDA, 1994). As raízes de mandioca são classificadas em tóxicas e não tóxicas dependendo da quantidade de cianeto presente. Na literatura, valores de 15 a 400 ppm (mg CN/kg de peso fresco) de ácido hidrociânico em raízes de mandioca, são relatados, no entanto, valores mais frequentes se encontram no intervalo entre 30 a 150 ppm

Neste capítulo, será apresentada a capacidade microbiana à biodegradação de linamarina, principalmente quando carreada juntamente à resíduos industriais aquosos, com o intuito de sua destoxificação para futura reincorporação destes efluentes ao meio ambiente.

2.2. MANIPUEIRA, ASPECTOS AMBIENTAIS

Um dos sérios problemas ambientais da Terra como um todo é a poluição dos recursos de água doce, principalmente se considerados os pequenos cursos d'água, onde acontecem os despejos dos resíduos líquidos de indústrias que

utilizam raízes de mandioca como matéria-prima (FIORETTO, 1994).

Fecularias geram em torno de 600 litros de manipueira diluída com menos de 5% de matéria orgânica, 60 ppm de CN (cianeto) e 5,000 DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), para uma tonelada de raízes de mandioca (CEREDA, on-line).

A água usada no processamento carreia altas concentrações de linamarina e lotaustralina, o que acarretará em maiores concentrações destes compostos tóxicos no líquido residual final. Linamarina e lotaustralina hidrolizam-se em presença de ácidos e enzimas produzindo cianeto livre, e consequentemente, ácido cianídrico (WILLIAM, 1979).

A manipueira foi sempre desprezada sem qualquer aproveitamento econômico. Através de estudos realizados pelo Setor de Fitopatologia da Universidade Federal do Ceará, tal resíduo foi avaliado como nematicida e, posteriormente, como inseticida onde, revelou eficiência extraordinária e notável economicidade, com a grande vantagem de não possuir a alta toxicidez dos produtos convencionais no mercado (PONTE, 1992).

A composição química da manipueira sustenta a potencialidade do composto como adubo, haja visto sua riqueza em Potássio, Nitrogênio, Magnésio, Fósforo, Cálcio e Enxofre, além de Ferro e micronutrientes em geral (Tab. 2.1). Por outro lado, a presença de cianetos poderia ser uma das explicações aos efeitos nematicida e inseticida inerentes à manipueira.

Tabela 2.1
Composição química média dos resíduos líquidos originados na industrialização de mandioca, segundo alguns autores

Variáveis	Fioretto, 1994	Cereda, 1994
Nitrogênio (%)	0,15	-
pH	4,03	4,10
Cianeto Total	-	444,00 (ppm)
Nitrogênio Bruto (%MS)	-	0,49
DQO	-	6.365,50 (ppm)
Relação C:N	-	7:57
Ácido Cianídrico	250 (mg/l)	-

Fonte: CEREDA, 1994; FIORETTO, 1994.

Atualmente, a manipueira tem sido vista como subproduto passível de ser aproveitado em outras atividades. Na gama de opções para o seu aproveitamento, encontra-se a produção de biomassa lipídica utilizando este resíduo como

substrato (WOSIACKI, *et al*, 1994). O estudo de tal alternativa fundamenta-se no fato de que a levedura *Trichosporon sp*, considerada levedura oleaginosa, é encontrada naturalmente na manipueira, estando adaptada à este resíduo (DAMASCENO, 1998). Entre os possíveis usos que estão sendo investigados para a manipueira encontram-se a produção de biogás FERNANDES JÚNIOR *et al*,1994), ácido cítrico (CABELLO *et al*,1994) e fertiirrigação (FIORETTO, 1994).

Em atual linha de pesquisa desenvolvida pelo CERAT/Unesp, Botucatu - SP, o objetivo primordial é a destoxificação da manipueira para que haja sua reintegração ao meio ambiente em quantidades equivalentes às produzidas no processamento, como forma de utilizá-la potencialmente, em atividades de fertirrigação.

2.3. BIODEGRADAÇÃO DE LINAMARINA

O isolamento e identificação de microrganismos com atividade enzimática capaz de degradar compostos cianogênicos e a necessidade da pré-determinação das condições ótimas que permitam o crescimento microbiano, constituem etapa básica para que sejam utilizados processos industriais de beneficiamentos de mandioca, particularmente, na destoxificação de manipueira ou "água residual da prensa de mandioca", a qual não sofre real tratamento de destoxificação através dos processos atualmente utilizados pelas indústrias (Lagoas de Decantação).

Microbiologia e saneamento ambiental são, sem dúvida, um tema bastante atraente, uma vez que a utilização de microrganismos na preservação e recuperação de ecossistemas que sofreram, e ainda continuam sofrendo as consequências das atividades antrópicas, constitui um instrumento da biotecnologia de inestimável valor.

A utilização de microrganismos em saneamento básico e ambiental é prática comum desde os primórdios do desenvolvimento dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias e resíduos sólidos. É evidente, que a capacidade microbiana de catabolizar diferentes compostos orgânicos, naturais ou sintéticos, e inorgânicos, extraindo destes compostos fontes nutricionais e, energéticas, é o que possibilitou o emprego desses agentes biológicos como solução aos problemas gerados pelos rejeitos lançados no ambiente. (VAZOLLER, 2000).

Biorremediação é a recuperação, pelo tratamento *"in situ"* de ambientes danificados pela disposição de enormes quantidades de materiais poluentes tóxicos. (GRIFFITHS, 1992). O uso da biorremediação aplicada à utilização de microrganismos com capacidade de degradação de linamarina se aplica principalmente na avaliação do efeito da disposição dos resíduos gerados na indústria de processamento de mandioca no solo, em especial a manipueira.

A presença de cianeto, ou compostos cianogênicos, na água tem efeito significativo sobre a atividade biológica dos ecossistemas. A maioria das indústrias de processamento de mandioca, utilizam como única forma de tratamento a degradação natural, que consiste no confinamento do efluente sob a ação natural dos seguintes fatores: volatilização de HCN, hidrólise de CN (cianeto) livre e complexado, fotodecomposição (UV), precipitação de compostos insolúveis e ação microbiana local, constituindo um processo relativamente lento, o qual acarreta na retenção destes resíduos nestes locais por longos períodos de tempo.

O efeito inibitório do cianeto na respiração é conhecido desde 1920, quando Warburg e Keilin demonstraram que o CN combinava-se com metais trivalentes na citocromo oxidase. Sua alta toxicidade justifica seu estudo quando disposto no ambiente, pela sua formação biológica (cianogênese) e destoxificação.

2.4. MICRORGANISMOS DEGRADADORES DE LINAMARINA

Razoável número de trabalhos de pesquisas estudam a habilidade de microrganismos ao crescimento em presença de cianeto utilizando-o como única fonte de energia (KNOWLES et al., 1986). Microrganismos podem crescer em substratos contendo cianeto através de metabolismo anaeróbio, através de metabolismo alternativo da cadeia respiratória, segundo CEREDA (1994), ou ainda através de sua destoxificação, de acordo com JENSEN (1979).

Muitos autores (LEGRAS, 1990; ESSERS, 1995; PADMAJA, 1995; BRIMER, 1998) propõem o uso de vários microrganismos, incluindo fungos filamentosos, bactérias e leveduras a fim de se obter linamarase exógena para a degradação de glicosídeos cianogênicos de mandioca. Entre os microrganismos testados, *Brevibacterium* J. L. (LEGRAS, 1990) e bactérias do gênero *Lactobacillus* (GIRAUD, 1992) apresentaram os melhores resultados. Recentemente, BRIMER *et al.* (BRIMER, 1998) demonstraram que a levedura *Endomyces fibuliger* LU677 foi capaz de degradar glicosídeos cianogênicos (amidalina e linamarina) de sementes de damasco amargo, redu-

zindo os nível desses compostos em até 60%.

Uma linhagem de *Pseudomonas* identificada como *Pseudomonas diminuta*, foi isolada de efluentes de mineração do Morro Velho, em Nova Lima - MG. O microrganismo após sucessivos repiques, foi capaz de crescer em meio mineral acrescido de 300ppm de tiocianato e 0,1% de glicose como única fonte de C e N, respectivamente. A *Pseudomonas diminuta*, foi capaz de consumir, 69,6% do composto, em 48 horas de incubação, onde a determinação do tiocianato residual no meio de cultura foi realizada através de método de colorimetria. (MACHADO et al., 1999). A linhagem de *Mucor circinelloides* LU M40, também foi identificada, em experimento distinto, como hábil à produção de linamarase, apresentando-se ativa ao seu uso na destoxificação de mandioca quanto ao seu conteúdo cianogênico. (PETRUCCIOLI et al., 1999).

Trabalhos recentes realizados pelo CERAT/Unesp, demonstraram através do isolamento "*in situ*", de linhagens de microrganismos, incluindo morfotipos de bactérias e leveduras, em amostras de solo coletados aos arredores de lagoas de descarte de manipueira (LABEDA, 1990). Foram analisadas 28 culturas onde, 8 apresentaram atividade sobre a linamarina, consumindo-a e consequentemente degradando-a. (PANTAROTO et al., 2000). Os microrganismos selecionados foram analisados quanto aos seus caracteres morfológicos através de coloração de Gram, sendo designados primariamente como, B1, B2, B3, B4, B5, B6, L1 e L2, onde B, indicam linhagens bacterianas e L, leveduras. Os níveis de degradação do glicosídeo, estão apresentados pela figura 2.2.

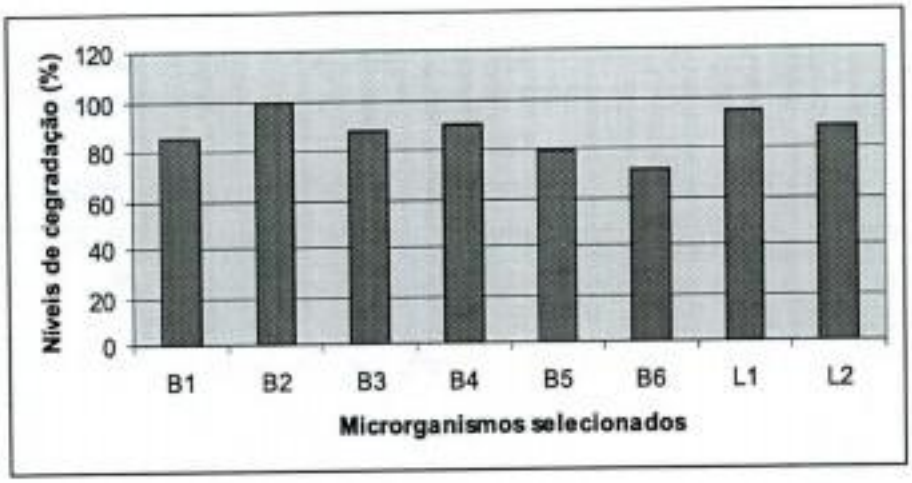


Figura 2.2
Índices de Degradação Microbiana de Linamarina durante 7 dias de Incubação (28ºC / 200 rpm).

Como pôde ser observado a cultura bacteriana identificada como B2, foi a única a demonstrar a capacidade de consumo total da Linamarina, entretanto existe um fator limitante a ser estudado durante análises subsequentes, pois apesar do nível ótimo de degradação do cianoglicosídeo, a linhagem bacteriana necessitou de espaço de tempo relativamente grande, 7 dias, para completar o metabolismo (Figura 2.3). As demais culturas também apresentaram crescimento microbiano em presença do composto cianogênico, consumindo-o como única fonte de carbono e nitrogênio e consequentemente degradando-o, demonstrando portanto potencial de aplicação na destoxificação de manipueira.

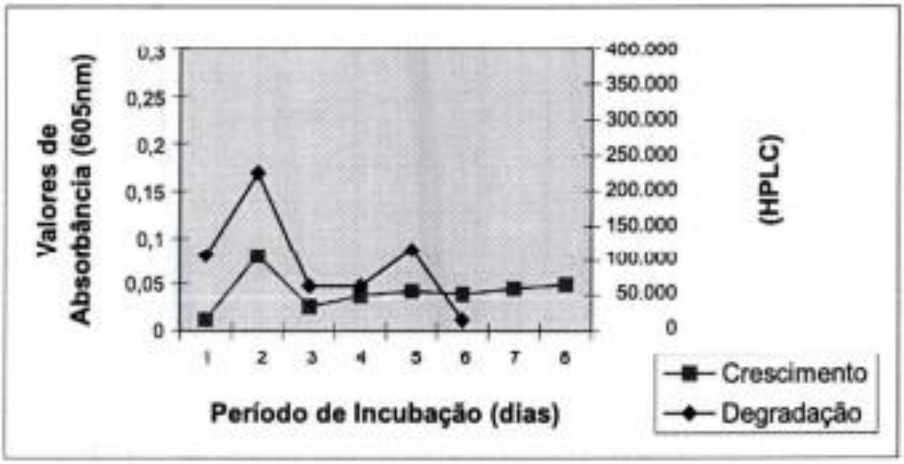


Figura 2.3
Demonstração do crescimento microbiano em função do consumo e consequente degradação de linamarina apresentado pela bactéria B2.

Sabe-se atualmente que microrganismos, tais como, bactérias e leveduras, além de responsáveis por importantes transformações metabólicas, pelo controle biológico de doenças e pragas, pela fixação biológica de nitrogênio atmosférico, pela degradação de resíduos vegetais e outros produtos, inclusive tóxicos, são também mananciais de fármacos, corantes, enzimas e ácidos orgânicos, entre muitos outros produtos úteis e ainda inexplorados. Ou seja, além de exercerem um papel na sobrevivência de outras espécies e na manutenção do equilíbrio entre elas, são fontes de produtos que contribuem para o bem estar da população humana, remediando o mal que a própria espécie humana produz no ambiente. (AZEVEDO, 1998). O mais importante no momento é, entretanto, o

desenvolvimento de processos de triagem (screening), que levem a uma rápida seleção dos microrganismos mais favoráveis dentre os muito isolados de um ambiente natural (BILLS, 1995).

Fontes como o solo, plantas, animais, resíduos domésticos e industriais, estão continuamente sendo utilizados na busca de microrganismos com potencial à biorremediação de ambientes. Trabalhos que visem o isolamento e aplicação de microrganismos do solo hábeis à degradarem linamarina deverão obedecer às seguintes etapas:

- Detecção da população microbiana presente no solo após a aplicação de manipueira;
- Determinação de condições ótimas de crescimento e preservação destes microrganismos;
- Ensaios de avaliação da capacidade de produção de linamarase, através da avaliação dos níveis de degradação de linamarina pelo uso de HPLC;
- Seleção de microrganismos eficientes;
- Identificação das culturas microbianas hábeis;
- Disseminação das informações obtidas, não somente à comunidade científica como também no meio industrial do ramo de processamento de mandioca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, J. L. Biodiversidade microbiana e potencial biotecnológico. In: MELLO, I. S., AZEVEDO, J. L. Ecologia microbiana. Jaguariúna: CNPMA - Embrapa, 1998. p.445-461.

BILLS, G. F. Analysis of microfungal diversity from a user's perspective. Can. J. Bot., v.73, suppl.1, p.33-41, 1995.

BRIMER, L.; NOUT, M. J. R. Glycosidase (amygdalase and linamarase) from *Endomyces fibuliger* (LU677): Formation and Crude Enzyme Properties. Appl. Microbiol. Biotechnol., v.49, p.182-188, 1998.

CABELLO, C., LEONEL, M. Produção de ácido cítrico a partir da manipueira. In: CEREDA, M. P. Resíduos da industrialização de mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia, 1994. p.109-118.

CARVALHO, V. D.; CARVALHO, J. G. Princípios Tóxicos da Mandioca. Inf. Agropec., v.5, p.82-88, 1979.

CEREDA, M. P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. São Paulo: Paulicéia, 1994. "não pag.".

CEREDA, M. P., MATTOS, M. C. Y. Linamarina - o composto tóxico da mandioca. Disponível em http://www.scielo.br., acesso em Abril de 2001.

DAMASCENO, S. Manipueira como substrato para desenvolvimento de *Geotrichum fragrans*. Botucatu, 1998. 117p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

ESSERS, A. J. A., Removal of cyanogens from cassava: studies on domesticsun-drying and solid-ubstrate fermentation in rural Africa. 1995, Ph.D.-thesis. Wageningen Agricultural University. Wageningen.

FERNANDES JR., A. Ocorrência de instabilidade e forma de seu controle na digestão anaeróbia de manipueira em reator de bancada de mistura completa. Botucatu, 1989. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

FERNANDES JR., A., TAKAHASHI, M. Tratamento da manipueira por processos biológicos - aeróbio e anaeróbio. In: Resíduos da industrialização de mandioca no Brasil. 1.ed. São Paulo: Paulicéia, 1994. p.131-149.

FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: Resíduos da industrialização de mandioca no Brasil, 1 ed. São Paulo: Editora Paulicéia, 1994. p.51-80.

GIRAUD, E., GOSSELIN, L., RAIMBAULT, M. Degradation of cassava linamarin by lactic acid bacteria. Biotechnol. Lett., v.14, n.7, p.593-598, 1992.

GRIFFITHS, M. Biotechnology for a clean environment. Inglaterra, Mike Griffiths Associates: 1992.

JENSEN, H. L.; ABDEL-GHAFAR, A. S. Cyanuric acid as nitrogen sources for microorganisms. Arch. Microbiol., v.67, p.1-5, 1979.

KNOWLES, C. J.; BUNCH, A.W. Microbial cyanide metabolism. Adv. Microb. Physiol., v.27, p.73-111, 1986.

LABEDA, D. P. Isolation of biotechnological organisms from nature.. McGraw Hill Publishing, 1990. p.21-76.

LEGRAS, J. L.; JORY, M., GALZY, P. Detoxification of cassava pulp using *Brevibacterium* sp R312. Appl. Microbiol. Biotechnol., v.33, p.529-533, 1990.

MACHADO, J. S., LINARDI, V. R., DIAS, J. C. T. Biodegradação de cianetos por uma linhagem de *Pseudomonas*. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 20, 1999, Salvador. Resumos...Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Microbiologia, 1999. p.256.

OKE, O. L. The role of hydrocyanic acid in nutrition. World Rev. Nutr. Dietetics, v.11, p.170-198, 1969.

PADMAJA, G. Cyanide detoxification in cassava for food and feed uses. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., v.35, p.299-339, 1995

PANTAROTO, S., CEREDA, M. P.; MANFIO, G. P.; CEZAR, V. R. S.; LEONEL, M. Destoxificação microbiana de manipueira (resíduo líquido das indústrias de mandioca) - etapa inicial. In: FERTBIO, 2000, Santa Maria-RS. Anais...Santa Maria: 2000. p.22

PETRUCCIOLI, M. BRIMER, L.,CICALINI, A. R., FEDERICI, F. The linamarase of *Mucor circinelloides* LU M40 and its detoxifying activity on cassava. J. of Appl. Microbiol., v.86, p.302-310, 1999.

PONTE, J. J. Utilização de manipueira como defensivo agrícola. Fitopatol. Venez., v.5 n.1, p.2-5, 1992.

SOBRINHO, P. A. Autodepuração dos corpos d´água. In: *CURSO de Poluição das Águas.* São Paulo: CETESB/ABES/BNH, 1975. Cap.8, p.6-9. (Apostila).

TAKAHASHI, M., CEREDA, M. P. Métodos de avaliação do rendimento da manipueira na produção de metano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 4. Balneário Canboriú-SC 1986. Anais... Balneário de Camboriú, 1986. p.72.

WILLIAM, H. S. Estimation of hydrogen cyanide from cassava at organic solvents. Exp. Agric., v.15, p.393-399, 1979.

WOSIACKI, G., FIORETTO, A. M. C., CEREDA, M. P. Utilização da manipueira para produção de biomassa oleaginosa. In: CEREDA, M. P. *Resíduos da industrialização de mandioca no Brasil.* Paulicéia, 1994. p.151-162.

VAZOLLER, R. F. Biodiversity: perspectives and technological opportunities - microbiologia e saneamento ambiental. Disponível em UR:http://www.bdt.org.br. Acesso em 30 de Jun. 2000.

CAPÍTULO 3

FOLHAS DE MANDIOCA COMO FONTE DE NUTRIENTES

Marilene De Vuono Camargo Penteado[1]
Claudia Isabel Ortega Flores[2]

3.1. - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o consumo de mandioca tem aumentado consideravelmente principalmente nas áreas rurais de países tropicais onde é a base energética das populações de baixa renda .

A mandioca apresenta características que facilitam sua difusão pois se adapta à solos pobres, é resistente às secas e consegue sobreviver junto à ervas daninhas e pragas, tendo como resultado uma alta resistência biológica.

A utilização das plantas de maneira especializada provoca o desperdício de componentes nutricionais, no momento do descarte dos restos da cultura. Esses resíduos agrícolas podem representar uma fonte adicional de recursos alimentares (Jesus e col., 1987).

No Brasil, as folhas e a parte aérea da mandioca encontram-se disponíveis em áreas de plantio e podem desempenhar um papel importante na nutrição humana e animal, pois como é sabido, apresentam altos teores de proteína (Carvalho e col., 1989, Jesus e col., 1987).

O desperdício das folhas, em particular da mandioca, é grande em todas as regiões brasileiras. No Norte/Nordeste, as folhas de mandioca são perenes. No Sudeste, o frio e a seca, provocam sua queda antes do período da colheita das raízes. No Sul, o Estado do Paraná ocupa o terceiro lugar entre os Estados brasileiros produtores de mandioca. Segundo dados da Secretaria da Agricultura, 158000 ha são ocupados com essa cultura, e estima-se para essa mesma área

[1] Professora Titular da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, FCF - USP - São Paulo-SP e-mail: devuono@usp.br
[2] Doutoranda

que são perdidas por ano, mais de 178000 t de folhas. Dados da EMATER/Pr de abril de 1994 mostram que em condições de ensaio é possível obter até 1,11g de folhas desidratadas por folha fresca (Pequeno,1994). Considerando-se o número de folhas produzido por planta e por hectare, o mesmo autor calculou que é possível obter cerca de 2250 Kg de farinha de folhas de mandioca por ha, considerando-se que as folhas sejam colhidas antes das raízes.

As folhas de mandioca são muito utilizadas na alimentação em alguns países da África, na preparação de pratos regionais e também utilizadas como hortaliça (Gidamis, 1993, Lyimo e col., 1991, Lutaladio, 1983, Maduagwu e Umoh, 1982). No Norte do Brasil, são feitos pratos típicos como a maniçoba, utilizando-se folhas de mandioca mansa trituradas e fervidas com água por vários dias. O uso da folha de mandioca não é tão difundido como a raiz (Carvalho e Kato, 1987 a).

As deficiências energética e protéica constituem grave problema para a alimentação humana em muitos países. A deficiência em micro elementos e vitaminas passa muitas vezes desapercebida, embora se constitua em barreira para assimilação de outros nutrientes. A utilização de alimentos que por desconhecimento ou por preconceito não são empregados normalmente na alimentação humana costuma representar uma vantagem adicional. Neste aspecto enquadra-se a utilização de folhas na alimentação humana e entre elas as folhas da mandioca.

3.2. - CONSUMO DA FOLHA DE MANDIOCA

No Brasil, o consumo de folhas de mandioca não constitui um hábito alimentar e por essa razão não está tão difundido como o da raiz. A necessidade de se dar uma utilização adequada à parte aérea da mandioca, ou seja de não considerá-la apenas como um resíduo agrícola, baseia-se no grande desperdício deste material, que além de sua alta produtividade apresenta elevados teores protéicos principalmente as folhas, sendo também fonte de pró-vitamina A (beta caroteno), vitamina C e minerais (Bokanga, 1994; Lyimo e col., 1991; Carvalho e Kato, 1987a; Jesus e col., 1987; Carvalho e col., 1986; Vitti e col., 1972).

Segundo Almeida e Col., 1991, a utilização da parte aérea da mandioca na alimentação animal se justifica pelo elevado teor protéico, boa produção de forragem e a necessidade de aproveitar subprodutos agrícolas que não são utilizados na alimentação humana.

Carvalho e col., 1985, comentaram que a parte aérea da mandioca oferece

uma nova perspectiva para a alimentação animal porque além de ser rica em proteína tem a vantagem da alta produtividade e fácil adaptação a solos pobres.

Em países como o Zaire, Congo, Cameroom, Guinea, Serra Leone e Tanzânia, as folhas de mandioca são consumidas como vegetal, fazendo parte da dieta regular (Awoyinka e col., 1995; Gidamis e col., 1993; Lyimo, 1991; Lancaster e Brooks, 1983; Lutaladio, 1983).

Awoyinka e col. em 1995 avaliaram a aceitabilidade das folhas de mandioca consumidas como hortaliça em sopas. Os resultados mostraram que as folhas de mandioca parecem ser aceitas como hortaliça verde na dieta tradicional da Tanzânia, podendo estimular seu consumo desde que sejam empregados métodos de processamento adequados para reduzir os fatores antinutricionais.

Segundo Jesus e col., 1987, as folhas de mandioca poderiam ser utilizadas associadas às raízes para melhorar o valor nutricional da dieta, tanto para consumo humano como animal. Do ponto de vista humano, ajudariam a reduzir a incidência da síndrome denominada "Kwashiorkor" na época, caracterizada por um desequilíbrio do nitrogênio decorrente da alimentação deficiente em proteínas e excessiva em carboidratos, o que significa que a planta integral incluindo as folhas, poderiam ser utilizadas para complementar os produtos obtidos a partir das raízes.

De acordo com Vitti e col., 1972 as folhas de mandioca também podem ser aproveitadas para a fabricação de alguns produtos como sopas ou misturas com outras farinhas de baixo teor protéico tais como a da própria mandioca, objetivando seu enriquecimento. As folhas de mandioca poderiam também ser utilizadas como hortaliças como já acontece em alguns países Africanos.

Até o momento, poucos trabalhos foram realizados visando o aproveitamento das folhas de mandioca através de tratamentos tecnológicos adequados, buscando a eliminação de fatores antinutricionais tais como ácido cianídrico e taninos, para possível utilização na alimentação humana e animal.

3.3. - ALGUNS NUTRIENTES DA FOLHA DE MANDIOCA:

3.3.1.- CAROTENÓIDES

Os carotenóides tem despertado o interesse de pesquisadores de diversas áreas há mais de um século. Isso se deve ao fato, de que quando presentes nos alimentos, além de contribuírem com a cor, alguns deles apresentam atividade

pró-vitamínica A, desempenhando papel importante na nutrição humana (Tee, 1992). Nos países onde existe problema de hipovitaminose A, as fontes de vitamina A são principalmente os carotenóides, pelo fato de serem largamente encontrados em frutos e hortaliças.

Os carotenóides são pigmentos amplamente distribuídos na natureza, responsáveis pelas variações de cor que vão do amarelo ao vermelho observadas nos vegetais .Os tecidos fotosintetizantes também contém carotenóides embora mascarados pela clorofila. Os carotenóides nos alimentos se encontram complexados a proteínas.

A ocorrência de carotenóides pró-vitamínicos A em variedades de mandioca de polpa amarela tem despertado o interesse de pesquisadores já que poderia contribuir contra a deficiência de vitamina A (Ortega-Flores e Penteado, 1992, Moorthy e col., 1990, Penteado e Almeida, 1988). Além disso, vários trabalhos vêm mostrando que a parte aérea da mandioca é rica em beta-caroteno; sabe-se que as folhas verdes são fontes de carotenóides pró-vitamínicos A, especialmente de beta-caroteno (Ortega-Flores, 1998).

Na Tabela 3.1 estão expressos os teores de beta caroteno e seus isômeros na folha de mandioca desidratada.

Tabela 3.1
Teores de beta-caroteno e seus isômeros na folha de mandioca desidratada, expressos em ug /g e seus respectivos valores de vitamina A expressos em ER/100g (ug de retinol/100g) de matéria fresca.

Carotenóides	Médias* ug/g	Desvios Padrão	Vitamina A ER/100g ug retinol/100g
Beta–Caroteno	162	3,57	2703
Neo-Beta-Caroteno B	9	0,63	152
Beta –Caroteno-Todo-Trans	91	5,36	1514
Neo-Beta-Caroteno U	19	2,63	318
Total de Isômeros	119		1985

* Médias de 5 determinações

Adewusi e Bradbury em 1993 realizaram estudo dos carotenóides da mandioca comparando dois métodos de análise. Eles verificaram que o beta-caroteno é o carotenóide pró-vitamínico A mais abundante na folha de mandioca, sendo encontrado numa faixa de 13 – 78 mg/kg de peso fresco, com maior quantidade

de carotenóides nas folhas maduras que nas folhas imaturas.

Figueiredo e col. em 1977, estudaram os teores de beta-caroteno nas diferentes partes da planta da mandioca de uma variedade mansa e outra brava, durante o período de crescimento. Nas folhas, esses valores variaram de 22,60 a 26,00 mg/100g para a variedade mansa e 25,00 a 29,00 mg/100g para a variedade brava. Os autores concluíram naquele trabalho que as variações do beta-caroteno durante o desenvolvimento da planta são pequenas, porém há diferenças consideráveis entre as diversas partes do vegetal, assim, a concentração do beta-caroteno nas folhas é cerca de 25 vezes superior a concentração dessa pró-vitamina encontrada nas raízes.

A biodisponibilidade dos carotenóides nos alimentos pode ser influenciada por muitos fatores. Estudos tem demonstrado que nas folhas verdes, o beta-caroteno se encontra menos disponível que em óleos, frutas ou suplementos alimentícios. Os vegetais verdes folhudos são fontes pobres em vitamina A, principalmente para pessoas desnutridas que apresentam dificuldade em transformar carotenóides em vitamina A (De Pee e West, 1996 'West e Van Lieshout, 1996, De Pee e col., 1995).

Em 1998, Ortega-Flores, realizou a avaliação nutricional da folha de mandioca desidratada e verificou que a biodisponibilidade do beta-caroteno foi baixa no material estudado.

3.3.2. - OUTRAS VITAMINAS E MINERAIS

Segundo Bokanga, em 1994, a folha de mandioca além de rica em vitamina A, ela contêm também , vitamina C, riboflavina, tiamina e niacina. Ele também relata que os principais minerais encontrados na folha de mandioca são o ferro e o cálcio.

Carvalho e col., em 1989, determinaram valores de vitamina C em folhas de mandioca e verificaram que estes variaram de 42,83 a 68,73 mg/100g e nos terços superiores da planta de 36,40 a 83,32 mg/100g.

A revisão publicada por Ravidran, em 1993, mostra que as folhas de mandioca são boas fontes de minerais, particularmente de cálcio, manganês, ferro, magnésio e zinco.

Simwambana e col., em 1992 detectaram teores elevados de ferro, fósforo e zinco em folhas de mandioca colhidas recentemente sendo que esses teores diminuíram quando o tempo da colheita aumentava; em contraste, os teores de

cálcio nas folhas aumentaram com a idade da planta.

Na Tabela 3.2 estão apresentados os dados de minerais de folhas de mandioca desidratadas e liofilizadas. Os valores de quase todos os minerais foram maiores para a folha de mandioca desidratada sendo que no caso do ferro a diferença foi bastante elevada se comparada ao restante dos minerais.

Tabela 3.2
Teores de minerais das folhas de mandioca desidratada e liofilizada, expressos em mg/g

Minerais	Folhas de Mandioca	
	Desidratada	Liofilizada
Nitrogênio (mg/g)	36	34
Fósforo (mg/g)	2,9	2,8
Potássio (mg/g)	10	10
Cálcio (mg/g)	16	13
Magnésio (mg/g)	3,8	3,6
Enxofre (mg/g)	2,4	2,4
Bromo (mg/g)	30	31
Cobre (mg/g)	6	4
Ferro (mg/g)	442	231
Manganês (mg/g)	351	280
Zinco (mg/g)	40	34

Fonte: Ortega-Flores,1998

3.3.3. - PROTEÍNAS

O inadequado suprimento da proteínas de boa qualidade pelas populações de baixa renda, constitui um dos mais sérios problemas que a humanidade enfrenta, razão pela qual, muitos esforços científicos e tecnológicos tem sido desenvolvidos à procura de novas fontes de proteína de baixo custo.

O uso de proteína extraída de folhas para alimentação humana ou para alimentação animal, tem se tornado nos últimos anos uma alternativa, já que esta é uma fonte de proteína muito abundante, aliado ao fato da existência de uma grande variedade de culturas de folhas.

Entretanto, o uso de alimentos não convencionais como a folha de mandioca

na alimentação humana e animal, tem causado sérias controvérsias, indicando que há necessidade de estudos mais detalhados quanto ao seu valor nutricional e sua inocuidade.

A riqueza em proteínas da parte aérea da mandioca foi constatada por diversos pesquisadores(Awoyinka, 1995; Carvalho, 1993a; Ravindran, 1993; Ravindran e Ravindran, 1988; Carvalho e col., 1986 e 1985; Figueiredo e col., 1977; Fafunso e Oke, 1976).

Ortega-Flores em 1998, realizou pesquisa visando o estudo do valor biológico da proteína das folhas de mandioca e concluiu que a qualidade protéica dessas folhas era inferior a da caseína em relação aos índices testados, a saber: coeficiente de eficácia protéica, coeficiente de eficácia alimentar, retenção protéica líquida, coeficiente de digestibilidade, utilização protéica líquida e valor biológico.

Em 1995, Awoyinka e col. analisaram o conteúdo de nutrientes das folhas jovens de três variedades de mandioca da Nigéria e verificaram que os teores de proteína variaram de 29,3 a 32,4%.

Em 1993, Carvalho e col. realizaram uma pesquisa e observaram que os teores protéicos na parte aérea de três cultivares de mandioca, em diferentes épocas de colheita. Os resultados mostraram que os teores protéicos das folhas e dos dois terços inferiores da parte aérea das plantas de mandioca estudadas decresceram com a idade da planta.

Dados da literatura demonstram que a proteína da parte aérea da mandioca especialmente da folha, apresenta deficiência em alguns aminoácidos sulforados, principalmente em metionina (Ravindran e Ravindran,1988; Jesus e col.,1987; Gómez e Noma, 1986; Gómez e col.,1985; Tupynambá e Vieira, 1979;Yeoh e Chew,1976 e Eggum,1970). A deficiência nestes aminoácidos faz com que a proteína apresente baixo valor biológico (Salgado e Santos, 1986; Eggum, 1970).

Ravindran e Ravindran (1988), compararam os resultados de suas pesquisas com os dados da FAO/WHO (1973) e verificaram que os amonoácidos sulfurados eram o maior fator limitante, sendo este fator mais crítico nas folhas maduras. Seus resultados sugerem que a fenilalanina é o segundo aminoácido limitante nas folhas de mandioca.

Salgado e Santos, em 1986 mostraram que a adição de lisina e metionina à concentrados protéicos de folha de mandioca melhorou a taxa de eficiência protéica da mesma. Esses autores consideraram a lisina como o aminoácido limitante secundário, e sugeriram que o baixo valor nutricional do concentrado de

folha de mandioca poderia ser explicado pela baixa quantidade de metionina.

Na Tabela 3.3 estão apresentados os aminogramas das folhas de mandioca e do padrão FAO/WHO/UNU (1985) para pré-escolares de 2 a 5 anos, que está sendo recomendada como a referência pelos consultores da FAO/WHO, 1991. Estes resultados mostram que a folha de mandioca não é deficiente em nenhum dos aminoácidos essenciais, em desacordo com resultados da literatura que mostram que a folha de mandioca é deficiente em aminoácidos sulfurados (Castellanos e col.,1994; Ravindran e Ravindran, 1988). Esta tabela mostra que em relação ao cômputo químico todos os aminoácidos ficaram acima de 100%, no entanto, o aminoácido que apresentou o menor cômputo químico foi a lisina seguida da histidina.

Tabela 3.3
Teores de aminoácidos essenciais e cômputo químico (C.Q.) da proteína da folha de mandioca desidratada (Ortega-Flores, 1998)

Aminoácidos	Proteína Padrão FAO/WHO* mg/g de proteína	Folha de mandioca desidratada mg/g de proteína	C.Q. %
Histidina	19	22	117
Isoleucina	28	50	180
Leucina	66	91	138
Lisina	58	63	109
Metionina+Cistina	25	48	140
Fenilalanina+Tirosina	63	88	142
Treonina	34	48	142
Valina	35	64	183

* FAO/WHO/UNU (1985)

3.3.4. - FIBRAS

Nos últimos anos tem aumentado muito o interesse sobre o papel da fibra da dieta alimentar na saúde e nutrição humana, procurando-se entender melhor seus efeitos fisiológicos após a ingestão pelo homem (Plaami, 1997).

As fibras nas plantas são provenientes principalmente da parede celular. A composição da parede celular depende da maturidade da planta na época da colheita e também das condições de armazenamento como temperatura, luz,

umidade, espécie da planta, tipo de tecido e tempo de armazenamento(Eastwood e Edwards, 1991).

A ingestão de alimentos com certa quantidade de fibra é essencial para o funcionamento do trato gastrointestinal. As fibras podem ter influência positiva na regulação do peso, no metabolismo de carboidratos e lípides e no funcionamento do cólon. Tem sido observada uma relação entre algumas doenças e a deficiência de fibra na alimentação. Assim, as fibras insolúveis evitam doenças como: constipação intestinal, doenças diverticulares, arteroesclerose e doenças coronarianas (Plaami, 1997). As fibras solúveis por outro lado, tem efeitos benéficos no metabolismo do colesterol e insulina (Plaami,1997; Gordon, 1988).

Contudo, podemos encontrar nas fibras alguns efeitos que não são desejáveis principalmente na digestão, absorção e utilização de nutrientes essenciais.

Alguns tipos de fibra podem se ligar a minerais diminuindo suas absorções. Não se sabe se as fibras diminuem a absorção de todos ou se existe preferência por determinados minerais (Schweizer e Wursch, 1991).

As fibras não só influenciam na absorção de micronutrientes, como também dos macronutrientes (Roberfroid, 1993; Schneeman, 1988).

Assim, o elevado teor de fibra pode ser um fator limitante na utilização da folha de mandioca. Estudo realizado por Awoyinka e col., 1995, onde foram analisadas folhas de três variedades de mandioca, mostrou que os teores de fibra variam de 26,9 a 35,5% em peso seco, teores estes considerados elevados.

Ravindran e Ravindran em 1988, realizaram estudo com folhas de mandioca muito jovens, jovens e velhas e encontraram teores de fibra de 8,3%, 16,4%, e 27,3% respectivamente, verificando que o teor de fibra aumenta com o envelhecimento das folhas.

Carvalho e col., 1985 observaram que no período em que a planta de mandioca apresenta maiores concentrações de proteína, o teor de fibra se apresenta na faixa de 21,86 a 26,66% nas folhas. Eggum em 1970, encontrou teores de fibra nas folhas de mandioca que variaram de 39,87 a 44,79%.

O alto teor de fibra na parte aérea da mandioca pode ser responsável pela baixa digestibilidade da proteína da folha e pela redução do consumo da mesma pelos animais.

Assim, a proteína da folha apresenta uma digestibilidade considerada baixa por alguns autores (Awoyinka e col., 1995; Salgado e Santos, 1986; Tupynambá e Vieira, 1976; Eggum, 1970).

Salgado e Santos, em 1986, observaram uma digestibilidade de 60,2% nas folhas de mandioca, e de 48,5% no concentrado protéico de folhas. Eggum, em

1970, verificou que a digestibilidade da proteína de folhas de diferentes variedades der mandioca variou de 70 a 80%.

Ortega-Flores em 1998 analisou a composição centesimal de folhas de mandioca desidratadas e liofilizadas que podem ser observadas juntamente com os teores de fibras na Tabela 3.4.

Tabela 3.4
Composição centesimal das folhas de mandioca desidratada e liofilizada, expressa em g/100g

	Folha de mandioca*	
	Desidratada	Liofilizada
Umidade	7,15	6,47
Matéria seca	92,85	93,53
Resíduo mineral fixo	6,84	6,00
Proteína	20,77	23,25
Extrato etéreo	6,83	8,73
Fibra insolúvel	45,11	31,71
Fibra solúvel	3,24	5,03
Fibra total	48,35	36,74
Carboidratos totais	10,06	18,81

Médias de 3 determinações

3.4. - FATORES ANTINUTRICIONAIS

3.4.1. - PRINCÍPIOS TÓXICOS

O grau de toxicidade da mandioca tem sido objeto de muitas discussões, tendo recebido maior atenção nas últimas décadas, por ser um fator que limita sua utilização na alimentação humana e animal.

A toxicidade da mandioca é causada pela presença de dois glicosídeos cianogênicos que são a linamarina, que participa em maior proporção (92-98%), a lotaustralina metil derivada da linamarina (2-8%), e pela presença da enzima linamarase que promove a hidrólise dos glicosídeos (Carvalho e Carvalho, 1979).

A liberação do ácido cianídrico (HCN) das plantas cianogênicas somente ocorre quando o tecido é danificado por algum processo que provoca a ruptura da parede das células, permitindo que os glicosídeos cianogênicos entrem em

contato com as enzimas catabólicas produzindo a decomposição do glicosídeo.Este processo é conhecido como cianogênese (Conn, 1994; Kakes, 1994; Bourdeux, 1980). Tem sido sugerido que os glicosídeos e as enzimas catabólicas se encontram em compartimentos separados (Conn, 1994).

A presença dos glicosídeos cianogênicos e das enzimas confere às plantas o carater cianogênico como no caso da mandioca (Carvalho e Carvalho, 1979). A quebra das cianihidrinas para cianeto é facilitada pelo pH alcalino, baixa umidade e altas temperaturas. O HCN liberado desaparece rapidamente provavelmente porque se dissolve na água, evapora ou forma cianohidrinas secundárias (Rosling, 1994).

Os glicosídeos cianogênicos estão distribuídos em todas as partes das plantas de mandioca, concentrando-se em quantidades variadas nas diferentes partes da mesma (Ayernon, 1985). A quantidade de glicosídeos cianogênicos pode variar com a idade da planta, condições ambientais como o solo, umidade e temperatura (Okigbo, 1980).

Sabe-se que a planta de mandioca sintetiza e acumula glicosídeos cianogênicos em suas raízes e folhas durante todo o seu ciclo de vida e que o ácido cianídrico é produto da hidrólise desses glicosídeos, tendo atividade mais alta nas folhas novas em expansão e nas casca das raízes (Jesus e col.,1986; Brujin, 1973).

Segundo Bokanga (1994), o potencial cianogênico das folhas da mandioca é e 5 a 20 vezes maior que o das raízes, no entanto o risco de intoxicação associado ao consumo de folhas de mandioca é reduzido devido a habilidade das folhas de uma perda rápida durante o processamento.

A linamarase se encontra em altas concentrações na folha da mandioca sendo responsável pela remoção dos glicosídeos cianogênicos. A atividade da linamarase nas folhas é 200 vezes maior que na raiz (Bokanga, 1994).

O consumo de mandioca e outros alimentos que contém teores elevados de cianeto pode causar intoxicações agudas e morte em animais e no homem quando são consumidos crus ou sem processamento. No entanto, é muito difícil a mandioca ser consumida nessas condições (Ezeala e Okoro, 1986).

Produto de mandioca (folhas e raízes) cujos processamentos não tenham sido adequados, que apresentem níveis não tóxicos de cianeto (cianeto residual), podem conter três tipos de compostos: glicosídeos cianogênicos, cianohidrinas e HCN. As cianohidrinas remanescentes podem ser a maior fonte de cianeto, que pelo pH alcalino do intestino poderiam ser quebradas e produzir cianeto. Acredita-se que a linamarina possa ser quebrada por ação das enzimas de

microrganismos no intestino. Se esses produtos são consumidos durante longos períodos de tempo podem levar a intoxicações crônicas associadas às condições patológicas (Roslin, 1994 e 1988).

O consumo de folhas da mandioca está fortemente limitado por alguns fatores, tais como a presença de substâncias tóxicas, alto teor de fibra, fatores antinutricionais e sabor, que podem afetar tanto a sua qualidade nutritiva como produzir danos ao organismo (Ortega-Flores, 1998).

Estudos feitos por Padmaja em 1989, mostram que o conteúdo de cianeto livre e total nas folhas novas é muito maior que nas folhas maduras ou velhas, o que mostra a variação no conteúdo de cianeto dentro de uma mesma planta.

Em 1986, Jesus e col. analisaram folhas de 10 variedades de mandioca, do quinto ao décimo mês após o plantio e observaram que os teores de cianeto variaram de 50 a 320 ppm. Dessa forma, eles evidenciaram que o alimento ou ração preparada a partir de folha de mandioca pode produzir riscos, se não for considerada a toxicidade das variedades e o período de vida da planta.

3.4.2. - FENÓLICOS E TANINOS

Os compostos fenólicos nas plantas tem sido muito estudados por apresentarem atividades bioquímicas, farmacológicas, antinutricionais e também por participarem em processos responsáveis pela cor, adstringência e aroma dos alimentos (Shahidi e Naczk, 1995).

Os compostos fenólicos são essenciais para o crescimento e reprodução das plantas. Contribuem também com a pigmentação das mesmas e servem como defesa ao ataque de agentes patogênicos. Eles são associados com a qualidade sensorial e nutricional dos alimentos derivados de plantas. Enquanto uma baixa concentração de fenólicos pode proteger o alimento contra a deterioração oxidativa, uma elevada concentração dos mesmos, pode participar na descoloração dos alimentos, interagir com proteínas, carboidratos e minerais. Além disso, a adstringência e o sabor amargo dos alimentos dependem da concentração de compostos fenólicos (Shahidi e Naczk, 1995).

Conforme citado na literatura, os compostos fenólicos e os taninos são fatores antinutricionais presentes na folha de mandioca (Padmaja, 1989; Rickard, 1986).

Carvalho e col. em 1993b estudaram o efeito da época da colheita sobre os teores de compostos fenólicos em fenos de folhas, do terço superior e dos dois

terços inferiores da parte aérea da mandioca de três cultivares diferentes e concluíram quer as melhores épocas para utilização das folhas eram dos 12 aos 14 meses após o plantio, e dois terços inferiores aos 11 meses, por ser a época que apresentam menores teores de compostos fenólicos.

Padmaja em 1989 não encontrou diferenças significativas no conteúdo de taninos nas folhas de mandioca novas e maduras. Ao contrário, Ravindran e Ravindran em 1988, observaram que o teor de taninos diminui com a maturidade das folhas de mandioca.

Os taninos particularmente os do tipo condensado, podem também ser responsáveis pela baixa digestibilidade da proteína da folha de mandioca, limitando a utilização da mesma.Em 1982, Reed e col. já haviam responsabilizado os taninos pela baixa digestibilidade da proteína das folhas da mandioca.

3.4.3. - FITATOS

Os fitatos representam uma classe complexa de compostos que ocorrem naturalmente e podem ter influência significativa nas funções e propriedades nutricionais dos alimentos. Durante a germinação os fitatos são hidrolizados pela fitase presente nas sementes e servem como fonte de fósforo inorgânico (Frolich, 1990).

Na maioria das plantas uma grande porcentagem de fósforo se encontra na forma de fitatos. Acredita-se que da quantidade total de fósforo nas plantas, de 60 a 90% encontra-se como fitato (Frilich, 1990).

O ácido fosfórico da molécula de fitato tem a capacidade de formar complexos com cátions multivalentes incluindo, cálcio, magnésio, zinco, ferro, manganês e cobre(Reddy, 1982). O mecanismo pelo qual o fitato interfere na biodisponibilidade de minerais ainda não está totalmente esclarecido, mas pesquisas mostram que pode ser explicado pela estrutura do ácido fítico. Acredita-se que pode ser formado um complexo insolúvel fitato-mineral no trato intestinal impedindo a absorção do mineral (Reddy, 1982).

Ortega Flores em 1998 e Ravindram e Ravindran em 1988 encontraram ácido fítico nas folhas de mandioca. Os resultados desses estudos mostraram que os teores de ácido fítico aumentam com a maturidade das folhas. Entretanto, os níveis são tão baixos que se comparados com as leguminosas, não tem significância nutricional.

Tabela 3.5
Fatores antinutricionais presentes nas folhas de mandioca desidratadas e liofilizadas, expressas em % e ppm de matéria fresca (Ortega-Flores,1998)

	Folha de mandioca	
	Desidratada	Liofilizada
Fenólicos(%)*	0,65	2,66
Taninos (%)*	0,10	0,90
Inibidores de Tripsina	ND	ND
Inibidores de Amilase	ND	ND
Cianeto após os tratamentos(ppm)**	85,17	269,39
Cianeto após homogeneização(ppm)**	0,02	5,32
Ácido fítico(%)**	0,35	0,51

ND = Não detectado
* Médias de 6 determinações
** Médias de 3 determinações

3.5. - PROCESSAMENTO DAS FOLHAS DE MANDIOCA

As técnicas de processamento usadas para preparar a folha de mandioca para consumo humano e animal podem levar a grandes reduções de vitaminas e minerais. No entanto, torna-se necessário o emprego destes processamentos para eliminar os fatores tóxicos e antinutricionais presentes naturalmente nas folhas.

Dentre os procedimentos existentes para o processamento de folhas de mandioca, a desidratação é um dos mais empregados, tendo como principal objetivo, destruição de microrganismos, inativação de enzimas e fatores antinutricionais e melhoria da digestibilidade, prolongando assim a vida da mesma (Salles, 1996). Na desidratação em geral utilizam-se dois fatores, a temperatura e a circulação de ar (Cereda, 1996).

Quando se utiliza a parte aérea da mandioca ou especificamente a folha, em forma de farelo ou mesmo de farinha, a possibilidade de intoxicação pelo ácido cianídrico é mínima, uma vez que as etapas de processamento que incluem a trituração, secagem e moagem, colocam a enzima linamarase em contato com o glicosídeo cianogênico, liberando o ácido cianídrico, que é volatilizado, ficando em concentrações, em muitos casos, abaixo dos níveis tóxicos no material processado (Carvalho, 1987b).

Segundo Lancaster e Brooks em 1983, o conteúdo de cianeto das folhas de

mandioca é reduzido a níveis muito baixos com as técnicas de processamento tradicionais como fervura, ebulição e cozimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEWUSI, S.R.A.; BRADBURY, J.H. - Carotenoids in cassava: comparison of open column and HPLC methods of analysis. J. Sci. Food Agric., London, v.62, p.375-383, 1993.

ALMEIDA, E.X.; TERNES, M.; AGOSTINI, I. - Aproveitamento da parte aérea da mandioca Visando a alimentação de bovinos em Santa Catarina. Rev. Bras. Mand., Cruz das Almas, v.10, n.1/2, p.15-25, 1991.

AWOYINKA, F.; ABEGUNDE, V.; ADEWUSI, S.R. - Nutrient content of young cassava leaves and assessment of their acceptance as a green vegetable in Nigeria. Plant Foods Hum. Nutr., Dordrecht, v.47, p.21-28, 1995.

AYERNON, G.S. - Effects of retting of cassava on product yield and cyanide detoxification. J. Food Technol., Oxford, v.20, n.1, p.89-96, 1985.

BOKANGA, M. - Processing of cassava leaves for human consuption. Acta Horticult., The Hague, v.375, p.203-207, 1994.

BORDEUX, P.; MAFUTA, M.; HANSON, A.; ERMANS, A.M. - Cassava toxicity: the role of linamarin. In: ERMANS, AM.(ed). Role of cassava in the itiology of endemic goitre and creatinism, Ottawa: International Development Research Center, 1980, p.15-29.

BRUJIN, G.H. de - The cyanogenic character of cassava (*Manihot esculenta*). In: CHRONIC CASSAVA TOXICITY: proceeding of an interdisciplinary workshop, London: International Development Research Center, 1973, p.43-48 (Int. Develop. Res. Centre Monogr. IDRC-010e).

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; BOTREL, N.; JUSTE, E.S.G. - Teor de proteína na parte aérea de cultivares de mandioca em diferentes épocas de colheita. Rev. Bras. Mandioca., Cruz das Almas, v.12, n.1/2, p.13-20, 1993.

CARVALHO, V.D.; GONÇALVES, J.R. A.; BOTREL, N.; CHAGAS, S.J.R. Efeito da época da colheita nos teores de compostos da parte aérea de três cultivares de mandioca. Rev. Bras. Mandioca., Cruz das Almas, v.12, n.1/2, p.31-37, 1993.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; MORAES, A.R.; PAULA, M.B. Efeitos da época de colheita na produtividade e teores de vitamina C e β caroteno da parte aérea de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). Rev. Bras. Mandioca., Cruz das Almas, v.8, n.1, p.25-35, 1989.

CARVALHO, V.D.; KATO, M.S.A. - Potencial de utilização da parte aérea da mandioca. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v.13, n.145, p.23-28, 1987.

CARVALHO, V.D. O ácido cianídrico em produtos de mandioca. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v.13, n145, p.88-91, 1987.

CARVALHO, V.D.; PAULA, M.B.; JUSTE, E.S.G.; KATO, M.S.A. Características nutritivas de fenos do terço superior e das folhas de cultivares de mandioca. Rev. Bras. Mandioca, Cruz das Almas, v.5, n.1, p.63-70, 1986.

CARVALHO, V.D.; PAULA, M.B.; JUSTE, E.S.G. Efeito da época de colheita no rendimento e composição química de fenos da parte aérea de dez cultivares de mandioca. Rev. Bras. Mandioca, Cruz das Almas, v.4, n.1, p.43-59, 1985.

CARVALHO, V.D.; CARVALHO, J.G. - Princípios tóxicos da mandioca. Inf. Agropec., Belo Horizonte, v.5, p.82-88, 1979.

CARVALHO, R.; ALTAMIRANO, S.B.; MORETTI, R.H. - Nutritional characteristics of cassava (*Manihot esculenta Crantz*) leaf protein concentrates obtained by ultrafiltration and acidic thermocoagulation. Plant Foods Hum. Nutr., Dordhecht, v.45, p.357-363, 1994.

CEREDA, M.P.; SURMELY, R.H.; ORTEGA-FLORES, C. Folhas de mandioca: verdades e mitos sobre sua potencialidade. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais/UNESP, 1996, 31 p. (Relatório Técnico-Científico).

CONN, E.E. Cyanogenese. Acta Horticult. The Hague, v.375, p.31-43, 1994.

DE PEE, S.; WEST, C.E. - Dietary carotenoids and their role in combating vitamin A deficiency: a review of the literature. Eur. J. Clin. Nutr., London, v.50, n.3, p.S39-S53, 1996.

DE PEE, S.; WEST, C.E.; MUHILAL, KARYADI, D.; HAUTVAST, J.G.A.J. - Lack of improvement in vitamin A status with increased consumption of dark-green leafy vegetables. Lancet, London, v.346, p.75-81, 1995.

EASTWOOD, M., EDWARDS, C. Fibrous polysaccharides. In: D. MELLO, J.P.F.; DUFFUS, C.M.; DUFFUS, J.H., eds. Toxic substances in crop plants. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1991. cap. 11, p.258-284, 1991.

EGGUM, B.O. - The protein quality of cassava leaves. Br. J. Nutr., London, v.24, p.761-768, 1970.

EZEALA, D.O.; OKORO, N. - Processing techniques and hydrocyanic acid content of cassava-based foodstuffs in Nigeria. J. Food Biochem., Westport, v.10, p.125-132, 1986.

FAFUNSO, M.A.; OKE, O.L. - Leaf protein from different cassava varieties. Nutr. Rep. Int., Los Altos, v.11, n.6, p.629-632, 1976.

FIGUEIREDO, I.B.; VITTI, P.; PEREIRA, A.S. - Comportamento de substâncias nitrogenadas e caroteno em duas variedades de mandioca. Bol. Inst. Tecnol. Aliment., Campinas, v.51, p.145-164, 1977.

FROLICH, W. - Chelating proprieties of dietary fiber and phytate, the role for mineral availability. Adv. Exp. Med. Biol., New York, v.270, p.83-93, 1990.

GIDAMIS, A.B.; O'BRIEN, G.M.; POULTER, N.H. - Cassava detoxification of traditional Tanzanian cassava foods. Int. J. Food Sci. Technol., Basingstoke, v.28, p.211-218, 1993.

GÓMEZ, G.; NOMA, A.T. The amino acid composition of cassava ; reaves, foliage, root tissue and whole-root chips. Nutr. Rep. Int., Los Altos, v.33, n.4, p.595-601, 1986.

GÓMEZ, G.; VALDIVIESO, M.; NOMA, A.T. The influence of cultivar and plant age on the chemical composition of field-grown cassava leaves and roots. Qual. Plant Foods Hum. Nutr., The Hague, v.35, p.109-119, 1985.

GORDON, D.T. Total dietary fiber and mineral absorption. In: KRITCHEVSKY, D.; BONFIELD, C.; ANDERSON, J.W., eds. Dietary fiber: chemistry, physiology and health effects, New York: Plenum Press, 1988, p.105-128.

JESUS, V.S.; MORAES, C.F.; TELES, F.F.F.; SEDIYAMA, C.S.; MORAES, G.H.K. de - Teor de proteína nas folhas de dez variedades de mandioca durante o primeiro ciclo de crescimento. Rev. Cerca, Viçosa, v.34, n.194, p.366-377, 1987.

JESUS, V.S.; MORAES, C.F.; TELES, F.F.F.; SEDIYAMA, C.S. Teor de ácido cianídrico nas folhas e raízes de dez variedades de mandioca *Manihot esculenta* Crantz, durante o primeiro ciclo. Rev. Bras. Mandioca, Cruz das Almas, v.5, n.2, p.83-90, 1986.

KAKES, P. The function of cyanogenesis in cassava. Acta Horticult., The Hague, v.375, p.79-85, 1994.

LANCASTER, P.A.; BROOKS, J.E. Cassava leaves as human food. Econ. Bot., Bronx, v.37, n.1, p.331-348, 1983.

LUTALADIO, N.B. - Evaluation of cassava clones for leaf production in Zaire. In: TERRY, E.V. (Ed). Tropical root crops: production and usus in Africa, Ottawa: International Development Research Center, 1984, p.41-44.

LYIMO, M.H.; NYAGWEGWE, S.; MINKENI, A.P. Investigations on the effect of traditional food processing, preservation and storage methods on vegetable nutrients: a case study in Tanzania. Plant Foods Hum. Nutr., Dordrecht, v.41, p.53-57, 1991.

MADUAGWU, E.N.; UMOH, I.B. - Detoxification of cassava leaves by simple traditional methods. Toxicol. Lett., Amsterdam, v.10, p.245-248, 1982.

MOORTHY, S.N.; JOS, J.S.; NAIR, R.B.; SREEKUMARI, M.T. - Variability of β-carotene content in cassava germplasma. Food Chem., Barking, v.36, n.3, p.233-236, 1990.

OKIGBO, B.N. - Nutritional implications of projects giving high priority to the production of samples of low nutritive quality: The case for cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) in the humid tropics of West Africa. Food Nutr. Bull., Tokyo, v.2, n.4, p.1-10, 1980.

ORTEGA-FLORES, C.I. Avaliação nutricional da folha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) desidratada. 1998. 165p. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo.

ORTEGA-FLORES, C.I.; PENTEADO, M.V.C. Carotenóides com atividade pró-vitamínica A em cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Rev. Farm. Bioquím. Univ. São Paulo, São Paulo, v.28, n.1, p.51-60, 1992.

PADMAJA, G. Evaluation of techniques to reduce assayable tannin and cyanide in cassava leaves. J. Agric. Food Chem., Washington, v.37, p.712-716, 1989.

PENTEADO, M.V.C.; ALMEIDA, L.B. - Ocorrência de carotenóides em raízes de cinco cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do Estado de São Paulo. Rev. Farm. Bioquím. Univ. São Paulo, São Paulo, v.24, n.1, p.39-49, 1988.

PEQUENO, M.G.; FLORES, C.O.; CEREDA, M.P.; PENTEADO, M.V.C.; CASALI, V.; LORENA, C.B. Avaliação de produção foliar e produtos desidratados em oito variedades no município de Renacença, Região de Francisco Beltrão, PR. (no prelo).

PLAAMI, S.P. Content of dietary fiber in foods and its physiological effects. Food Rev. Int., New York, v.13, n.1, p.29-76, 1997.

RAVINDRAN, V. Cassava leaves as animal feed: potential and limitations. J. Sci. Food Agric., London, v.61, p.141-150, 1993.

RAVINDRAN, G.; RAVINDRAN, V. Changes in the nutritional composition of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) leaves during maturity. Food Chem., Barking, v.27, p.299-309, 1988.

REDDY, N.R., SATHE, S.K.; SALUNKHE, D.K. Phytates in legumes and cereals. Adv. Food Res., New York, v.28, p.1-92, 1982.

REED, J.D.; McDOWELL, R.E.; SOEST, P.J.V.; HORVATH, P.J. Condensed tannins: a factor limiting the use of cassava forage. J. Sci. Food Agric., London., v.33, p.213-220, 1982.

RICKARD, J.E. Tannin levels in cassava, a comparison of methods of analysis. J. Sci. Food Agric., London, v.37, p.37-42, 1986.

ROBERFROID, M. Dietary fiber, inulin, and oligofructose: a review comparing their physiological effects. Crit. Rev. Food Sci. Nutr., Cleveland, v.33, n.2, p.103-148, 1993.

ROSLING, H. Measuring effects um humans of dietary cyanide exposure from cassava. Acta Horticult., The Hague, v.375, p.271-283, 1994.

ROSLING, H. Cassava toxicity and food security. 2 ed. Uppsala: International Child Health Unit; University Hospital, 1988. 29p. (a report for UNICEF - African Household Food Security Programme).

SALGADO, J.S.; SANTOS, A.C. Estudo do concentrado protéico da folha de mandioca, obtenção, análise química e suplementação com aminoácidos. Arch. Latinoam. Nutr., Caracas, v.36, n.3, p.483-494, 1986.

SALLES, A.M. Processos de desidratação de alimentos e perdas nutricionais. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO ENSINO/PESQUISA. 2, Botucatu, 1995. Relatório.,. Botucatu, Centro de Raízes e Amidos Tropicais, Universidade Estadual Paulista, 1996.

SCHNEEMAN, B.O. Macronutrients absortion. In: KRITCHEVSKY, D.; BONFIELD, C.; ANDERSON, J.W., (Ed). Dietary fiber: chemistry, physiology and health effects, New York: Plenum Press, 1988. p.157-165.

SCHWEIZER, T.F.E.; WüRSCH, P. The physiological and nutritional importance of dietary fiber. Experientia. Basel. v.47. p.181-186. 1991.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. Food phenolics: sources, chemistry, effects and aplications. Lancaster: Technomic, 1995, p.1-5; 75-107; 171-198.

SIMWAMBANA, M.S.; FERGUSON, T.U.; OSIRU, D.S.O. Effects of time to first shoot removal on leaf vegetable quality in cassava (*Manihot esculenta* Crantz). J. Sci. Food Agric., London, v.60, p.319-325, 1992.

TEE, E.S. Carotenoids and retinoids in human nutrition. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr., Cleveland, v.31, n 1/2, p.103-163, 1992.

TUPYNAMBÁ, M.L.V.C.; VIEIRA, E.C. Isolation of cassava leaf protein and determination of its nutritive value. Nutr. Rep. Int., Los Altos, v.16, n.2, p.249-259, 1979.

VITI, P.; FIGUEIREDO, I.B.; ANGELUCCI, E. Folhas de mandioca desidratadas para fins de alimentação humana. Colet. Inst. Tecnol. Aliment., Campinas, v.4, p.117-125, 1972.

WEST, C.E.; VAN LIESHOUT, M. Less vitamin A, more β-carotene? Eur. J. Clin. Nutr., London, v.50, suppl.3, p.S85-S87, 1996.

YEOH, H.H.; CHEW, M.Y. Protein content and amino acid composition of cassava leaf. Phytochemistry, Oxford, v.15, p.1597-1599 1976.

CAPÍTULO 4

USO DIRETO DA MANIPUEIRA EM FERTIRRIGAÇÃO

Roberto Antunes Fioretto[1]

4.1. INTRODUÇÃO

Um dos sérios problemas ambientais como um todo é a poluição dos recursos de água doce, principalmente se considerados os pequenos cursos d´água onde acontecem os despejos dos resíduos líquidos de indústrias que utilizam raízes de mandioca como matéria-prima. A palavra poluição provém do latim "polluo", que significa sujar, conspurcar, manchar. Considera-se poluição todo prejuízo aos usos previamente estabelecidos do meio ambiente (solo, água e ar), causados por alterações de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, devido à ação de poluentes ou suas combinações. Cada indústria é um caso distinto e, entre indústrias do mesmo tipo, existem despejos diferentes. E possível fazer uma equivalência entre a carga orgânica - DBO de despejos orgânicos gerados pela atividade industrial em relação à contribuição normal "per capita" de esgotos doméstico. Esta relação denomina-se População Equivalente. Considerando-se o índice de equivalentes populacionais em DBO (5º dia, 20º C) de 54g/habitante/dia, uma usina que utilize cana-de-açúcar equivale à poluição ocasionada por 300-450 habitantes, para cada tonelada de cana moída. Num grau de tecnologia inferior, mas não menos poluente, destacam-se os efluentes líquidos resultantes do processamento da mandioca para a fabricação de farinha e fécula, os quais podem atingir vazões da ordem de 500 litros de água residual por tonelada de raiz processada. O escoamento dessa água residual pode trazer sérios problemas de poluição em rios. Dessa forma, as indústrias de amido são consideradas altamente poluidoras, de maneira que uma fecularia que utilize uma tonelada de raízes de mandioca /dia, equivale à poluição ocasionada por

[1] Professor Doutor da UEL – Universidade Estadual de Londrina – Paraná.
fioretto@uel.br

200-300 habitantes/dia, ao passo que nas farinheiras, cada tonelada de raiz processada, corresponde a um equivalente populacional de 150-250 habitantes. Conhecidas essas relações, chega-se assim ao principal parâmetro utilizado na avaliação das alterações ecológicas causadas pela poluição, que é o conceito de carga orgânica ou carga de DBO ou ainda carga poluidora. Essa carga depende da concentração de DBO existente no resíduo, isto é, a quantidade de oxigênio consumido, o qual não é diretamente exigido pelo composto orgânico, mas sim resultado da atividade respiratória de microorganismos que se alimentam dessa matéria orgânica; da quantidade de efluente que é lançada por unidade de tempo, isto é, da vazão, e finalmente, da quantidade de oxigênio dissolvido que o rio transporta por unidade de tempo, o qual dependerá da temperatura da água, da altitude do local e da vazão do rio.

4.2. COMPOSIÇÃO DA MANIPUEIRA

A composição química da manipueira é variável, dependendo da variedade utilizada, que por sua vez está correlacionada com as condições edafo-climáticas do local onde é cultivada. Uma tonelada de raízes de mandioca pode conter em média 600 litros de água (60% de umidade) como constituinte do suco celular, onde, na operação de prensagem, durante os processos de fabricação de farinha, 20 a 30% dessa água é eliminada. A água da prensa, ou manipueira, é de aspecto leitoso. Caso não haja decantação ou uso de tecidos na prensa, podem conter de 5 a 7% de fécula (parte sedimentável, parte em suspensão coloidal), proteínas, glicose, restos de células, ácido cianídrico, bem como outras substâncias orgânicas e nutrientes minerais essenciais. Uma estimativa da quantidade de macronutrientes na porção líquida da manipueira, a partir do processamento de uma tonelada de raízes, pode ser visualizada na Tab. 4.1.

A Tab. 4.2 apresenta a composição química da manipueira de diferentes origens, onde se pode observar uma predominância do potássio (K) entre os constituintes minerais desse resíduo. Outro elemento essencial na nutrição vegetal é o fósforo, que se apresenta com teores razoável, três vezes maior em relação ao encontrado na vinhaça de caldo de cana, já que esse resíduo tem também sua aplicação na fertirrigação (Tab. 4.3).Portanto, pode-se depreender que a manipueira apresenta-se como um material não esgotado, podendo ser utilizada como fertilizante, de forma aproveitar e reciclar os nutrientes no solo, evitando-se, assim, os despejos nos cursos d´água.

Tabela 4.1. Estimativa da composição química da manipueira, a partir dos macronutrientes exportados pelas raízes tuberosas.

Designação	Quantidade de nutrientes exportados pelas raízes					
Produção de Raízes	1 TM Umidade = 60%					
Elementos	N	P	K	Ca	Mg	S
Extração (1 t raízes)	(Kg) 2,12	(Kg) 0,22	(Kg) 1,71	(Kg) 0,66	(Kg) 0,36	(Kg) 0,09
extração (600 / h_2O)	% 0,35	(ppm) 366,67	(meq) 43.846,15	(meq) 33.000,00	(meq) 30.000,00	(meq) 150
Operação industrial	Prensagem Eficiência = 30%					
Efluente líquido	Manipueira 180 / Tonelada					
Elementos	N	P	K	Ca	Mg	S
Composição química 180 litros	% (0,11)	(ppm) (110,00)	(meq) (13.156,84)	(meq) (9.900,00)	(meq) (9.900,00)	(meq) (45,00)
Composição química 1 litro	0,11	110,00	73,08	55,00	50,00	45,00

TM = toneladas de raízes de mandioca; ppm = partes por milhão (mg/l); meq = equivalente miligrama

As águas das prensas, ou manipueira, carregam amido. Quando o processo conta com equipamentos eficientes, o amido é todo recuperado, restando apenas o amido solubilizado e os açúcares da raiz. Nas industrias pequenas e farinheiras o amido pode ser recuperado em canaletas de decantação, obtendo-se o chamado polvilho, reduzindo-se, assim, as quantidades de sólidos totais, bem como, diminuição da carga orgânica disponível.

Tabela 4.2. Composição química da manipueira, segundo vários autores.

Elemento	Autor				Média
	1	2	3	4	
N (%)	0,15	0,15	0,21	0,09	0,15
P (ppm)	219,00	250,00	354,00	200,20	255,80
K (meq/l)	43,00	56,40	64,48	41,00	51,22
Ca (meq/l)	11,25	13,50	12,00	13,75	12,62
Mg (meq/l)	30,50	45,00	36,00	30,00	35,38
S (ppm)	-	-	210,00	64,00 (***)	137,00
Fe (ppm)	22,00	-	-	11,20	16,60
Zn (ppm)	2,40	-	-	5,00	3,70
Mn (ppm)	1,50	-	-	9,80	5,65
Cu (ppm)	1,00	-	-	0,81	0,90
Na (ppm)	-	-	-	14,00	14,00
M. O (Kg/m3) (**)	-	30,00	33,54	57,90	40,50
pH	3,27 (*)	4,20	3,90	4,00	4,03

(*)Acidez titulável (%);(**). Teores expressos no total de resíduo (parte líquida + parte sólida); (***) Sulfetos totais; - Sem informações

As características dos despejos agroindustriais também apresentam-se diferentes, especialmente em função da eficiência operacional dos processos industriais.

Tabela 4.3. Composição química média dos resíduos líquidos originados na industrialização da mandioca e da cana-de-açúcar.

Composição	Manipueira	Vinhaça de caldo
N (%)	0,15	0,03
P (ppm)	255,80	88,00
K (meq/l)	51,22	31,28
Ca (meq/l)	12,62	16,33
Mg (meq/l)	35,38	14,50
S (meq/l)	137,00	435,60
Fe (ppm)	16,60	69,00
Mn (ppm)	5,65	7,00
Zn (ppm)	3,70	2,00
Cu (ppm)	0,90	7,00
M. O (Kg/m3)	40,50	23,44
pH	4,03	3,70

A principal característica física da água residual está no seu conteúdo de sólidos totais, que são compostos de material flutuante (sólidos dissolvidos), material coloidal (sólidos coloidais) e material em solução (sólidos em suspensão), conforme se verifica na Tab. 4.4.

Tabela 4.4. Características dos despejos do processamento de mandioca

Características	Despejos do lavador (mg/L)	Despejos das prensas (mg/L)
Sólidos totais	3.000	70.000
Sólidos em suspensão	1.200	25.000
Sólidos dissolvidos	1.800	45.000
Sólidos sedimentáveis	5	50
DBO	1.500	30.000
Ácido cianídrico (HCN)	10	250

Do ponto de vista sanitário, com o lançamento desse tipo de efluente nos rios, principalmente nos pequenos cursos d'água, predominantes nas regiões onde se instalam as pequenas farinheiras ou até "casas de farinha", tem-se um resíduo altamente poluente, devido não só a elevada carga de DBO, mas também a uma substância de efeito tóxico – o ácido cianídrico que diferencia esse dos demais resíduos agroindustriais. Essa manipueira apresenta dupla ação poluidora, pois o íon cianeto está presente na matéria-prima, associado a um açúcar como parte de um composto cianogênico, solúvel em água, denominado de linamarina. O ácido cianídrico livre não existe nas raízes antes de colhida, mas forma-se por ação de hidrólise enzimática sobre essa matéria nitrogenada. O processo de hidrólise inicia-se algumas horas após a colheita ou, por qualquer ferimento nos tecidos celulares da planta, colocando as enzimas em contato com o substrato (linamarina). O (CN) produzido é um dos mais violentos venenos conhecidos, que, apesar de ser volátil, pode dissociar-se quando dissolvido em águas com pH igual ou maior que 8 formando HCN ou cianeto livre. Evidentemente, toxidez do íon cianeto é muito maior do que a do ácido cianídrico.

Nos cursos d'água natural, o cianeto deteriora-se ou é decomposto por ação bacteriana, diminuindo as concentrações excessivas com o tempo. A degradação bioquímica de cianetos é pouco afetada em temperaturas situadas na faixa de 10 a 35° C. Entretanto, em temperaturas maiores ou menores que esses limites, a velocidade de decomposição é rapidamente aumentada.

O limite de toxidez por cianeto para peixes tem sido tomado como 0,025

ppm; os microrganismos são geralmente mais tolerantes. Em função desse fato, os padrões de água potável estabelecem 0,01 ppm de cianeto, expressos em CN, como limite máximo permissível.

Os efluentes mais poluentes provêm de indústrias que usam polissacarídeos como matéria-prima, por lançarem grandes quantidades de carboidratos solúveis em rios. São comparáveis ao esgoto doméstico quanto ao consumo de oxigênio dos cursos d'água. A infiltração no solo é o processo de tratamento possível, embora possa ocorrer risco de contaminação do lençol freático. O solo pode absorver bem as águas servidas nos meses secos, período em que se concentra a maior produção de mandioca industrial, coincidindo com uma época de menor precipitação pluviométrica em que a baixa vazão dos cursos d'água acentua os efeitos da poluição. Neste sistema são recuperadas as substâncias minerais extraídas pelas culturas, os lodos, e, antes de tudo, a própria água, como forma de reciclagem forçada.Em áreas atingidas pela manipueira, através de vazamentos tóxicos dessa água residual sobre plantas que ali se encontrem, pode ocorrer morte, independente da espécie. Após um certo tempo, a área cobre-se novamente de plantas que apresentam um novo vigor. Esse fato gerou a expectativa de se avaliar as conseqüências agronômicas de fertirrigação com esse resíduo, objetivando-se, num sentido amplo, as implicações nas condições químicas e microbiológicas do solo, assim como, a possibilidade de controle de plantas daninhas presentes na área.

4.3. EFEITO DA MANIPUEIRA NA FERTILIDADE DO SOLO

A manipueira, apesar de se caracterizar como um efluente industrial, constitui-se num resíduo não esgotado, do ponto de vista do aproveitamento agrícola. Aplicada no solo, a manipueira influi no equilíbrio iônico. No presente capítulo apresenta-se a avaliação do efeito da aplicação de duas doses de manipueira sobre um solo do tipo TE (Distrófico, textura argilosa), sob o ponto de vista da dinâmica da ação residual dos nutrientes aplicados. De um modo geral, quando se aplicou a manipueira, observou-se um acréscimo nas concentrações dos elementos no solo. A predominância do íon potássio (K) entre os constituintes minerais da manipueira tem implicação direta no desequilíbrio dos cátions básicos no solo, devido ao aumento de saturação desse elemento e da predisposição à lixiviação de cálcio e magnésio. Assim sendo, faz-se necessário o monitoriamento da fertilidade do solo, antes e após a aplicação do efluente.

Ressalta-se ainda que a ação residual da dinâmica dos cátions adsorvidos está diretamente ligada a dois fatores importantes, quais sejam:

- precipitação pluviométrica após a aplicação;
- dosagens utilizadas.

Para dosagem 80 m^3/ha e precipitação acumulada de 333 mm, o efeito residual da aplicação foi observado até 60 dias; com o dobro da dose, esse efeito interferiu por mais de 90 dias, podendo causar uma indisponibilidade de magnésio para as plantas, induzida pelo excesso de potássio.

Tabela 4.5.
Valores médios referentes aos teores de hidrogênio, alumínio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio (em emg/100g T.F.S.A); matéria orgânica (em porcentagem) e valor de pH; em amostras de material de solo tratado com manipueira, coletados numa mesma parcela em diferentes épocas, a duas profundidades

Dias após a aplicação	Manipueira (m3/ha)	PROFUNDIDADE															
		0 - 15 cm emg/100g T.F.S.A								15 - 30 cm emg/100g T.F.S.A							
		pH	M.O %	H^+	Al^{3+}	K^+	PO_4^{-3}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	PH	M.O %	H^+	Al^{3+}	K^+	PO_4^{-3}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
30	80	5,53	1,99	6,03	0,56	0,70	0,11	1,85	0,85	5,43	1,96	6,19	0,69	0,49	0,11	1,87	0,78
	160	5,57	1,79	5,65	0,67	0,89	0,15	1,22	0,79	5,23	1,58	6,61	1,01	0,60	0,13	1,12	0,61
	Test.	5,50	1,81	5,52	0,70	0,22	0,13	1,87	0,83	5,20	1,77	5,52	0,70	0,22	0,13	1,87	0,83
60	80	5,50	2,55	6,72	0,69	0,29	0,08	1,68	0,75	5,50	2,55	6,72	0,75	0,31	0,07	1,72	0,75
	160	5,40	2,30	6,88	0,93	0,42	0,11	1,08	0,66	5,40	2,37	6,77	0,99	0,32	0,09	1,08	0,61
	Test.	5,40	2,55	6,72	0,75	0,23	0,08	1,77	0,67	5,43	2,41	6,45	0,77	0,18	0,07	1,83	0,58
90	80	5,03	2,51	5,44	0,51	0,26	0,09	2,00	0,81	5,07	2,24	5,44	0,56	0,18	0,06	2,02	0,65
	160	4,93	2,34	5,71	0,83	0,36	0,11	1,31	0,61	4,77	2,13	5,55	0,93	0,20	0,07	1,45	0,51
	Test.	4,70	2,27	5,28	0,40	0,18	0,06	2,18	0,61	5,00	2,27	4,96	0,32	0,15	0,06	2,50	0,63
170	80	4,90	2,48	5,55	0,61	0,19	0,06	1,79	0,62	4,80	2,20	5,55	0,67	0,13	0,04	1,95	0,56
	160	4,90	2,24	5,49	0,72	0,27	0,10	1,52	0,68	4,90	2,10	5,55	0,80	0,16	0,07	1,50	0,49
	Test.	4,70	2,17	6,40	1,36	0,12	0,05	1,06	0,24	4,60	1,96	6,24	1,36	0,09	0,04	1,06	0,17

Os resultados confirmam a premissa de que a prática da fertirrigação deve ser manejada com cuidado e em solos apropriados para tal, principalmente no que diz respeito ao balanço iônico, uma vez que os incrementos na adsorção de nutrientes em relação à testemunha não foram significativos para as condições de desiquilíbrio em que se encontrava esse solo.

Observou-se uma diminuição da absorção do nitrogênio do solo, a qual pode

ser devida a uma fixação pronunciada desse nitrogênio, em função do aumento e do crescimento da população microbiana. Uma avaliação da situação microbiológica do solo, antes e após a aplicação de manipueira, pode ser visualizada na Tab. 4.5.

Tabela. 4.6. Efeito da aplicação da manipueira sobre alguns grupos de microrganismos do solo.

Repetições	R1		R2		R3		R4		Média	
Microrganismos	A (*)	B (**)	A (*)	B (**)	A (*)	B (**)	A (*)	B (**)	A (*)	B (**)
Contagem padrão x 10	48,20	128,60	125,00	88,30	894,60	1170,40	104,80	805,70	293,15	548,25
Esporos x 10	181,90	38,40	3,90	6,50	1,10	0,30	1,20	3,90	47,02	12,28
Fungos x 10	109,50	43,00	51,80	26,20	21,90	6,50	3,80	5,60	62,33	20,32
Actinomicetos . x 10^4	0,11	0,37	0,43	0,44	27,30	43,41	8,16	19,65	9,00	6,20
Desnitrificantes x 10^2	0,90	2,00	5,60	4,50	7,80	6,90	9,40	13,00	5,92	6,60
Azotobacter x 10	58,00	1260,00	74,50	110,00	13,50	0,00	18,50	29,50	41,12	349,88
Nitrosomonas x 10	25,50	121,75	0,96	240,00	122,25	4,50	0,00	0,00	37,18	91,56
Nitrobacter x 10	0,00	3,00	2,20	2400,00	4,25	0,00	0,00	0,00	1,61	600,75
Umidade solo (%)	23,10	50,30	22,10	32,30	12,30	17,20	17,00	31,00	18,62	32,70

(*) Antes da aplicação da manipueira no solo; (**) Depois da aplicação da manipueira no solo;

4.4. EFEITO TÓXICO DA MANIPUEIRA SOBRE PLANTAS DANINHAS

A sistemática de avaliação do efeito fitotóxico da manipueira sobre o mato foi efetuada por FIORETTO (1985), através do método do Conselho Europeu de Pesquisas em Ervas Daninhas (EWRC). Combinaram-se duas doses de manipueira (D1 = 80m^3/ha e D2 = 160m^3/ha), em três épocas de aplicação (E1 = aplicação em pré-emergência; E2 = Pós-emergência, 30 dias após E1; E3 = Pós emergência, 60 dias após E1). Como testemunha, empregou-se parcelas com Alachlor, na dose 2,621. i.a./ha, em pré-emergência. Esses resultados evidenciam que a manipueira não apresenta ação herbicida sobre a "tiririca", favorecendo novo vigor da planta após a aplicação, talvez pela presença do potássio. A aplicação em pré-emergência apresentou efeito semelhante ao herbicida, também em pré-emergência. A dosagem de 160 m^3/ha apresentou ação herbicida mais enérgica quando aplicada em pós-emergência. O poder residual da manipueira, quando aplicada em pré-emergência, foi inferior a 30 dias e, quando aplicada em pós-emergência, foi 30 dias.

Tabela 4.7.
Intensidade média de infestação de plantas invasoras, através de notas, nas parcelas experimentais em relação à faixa de controle, realizadas antes, aos 30 e aos 60 dias após a aplicação da manipueira

Tratamentos	ÉPOCAS DE APLICAÇÃO														
	Antes da aplicação					30 dias após aplicação					60 dias após aplicação				
	M	T	C	N	G	M	T	C	N	G	M	T	C	N	G
E1D1	x	x	x	x	x	8,00	9,00	x	9,00	x	8,70	9,00	9,00	9,00	9,00
E1D2	x	x	x	x	x	8,00	9,00	x	x	x	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00
E2D2	9,00	9,00	x	x	x	5,70	9,00	4,00	8,50	4,50	9,00	9,00	9,00	9,00	x
E2D2	9,00	9,00	x	9,00	x	5,70	9,00	5,30	5,00	2,70	8,70	9,00	8,70	6,30	x
F3D1	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	8,30	9,00	5,00	9,00	x	9,00	9,00	9,00	9,00	x
E3D2	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	7,30	9,00	1,00	5,00	x	9,00	9,00	9,00	9,00	x
T2	x	x	x	x	x	8,00	9,00	x	8,50	x	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00

M - Capim marmelada (*Brachiaria planaginea* (Link) Hitch)
T - Tiririca (*Cyperus rotundus* L.)
C - Carrapicho de carneiro (*Acanthospermum australe* (Loeff) D. Kintze)
N - Nabiça (*Raphanus raphanistrim* L.)
G - Guanxuma (*Sida* spp)

5.5. EFEITO DA MANIPUEIRA NO RENDIMENTO AGRÍCOLA

Na busca de resultados abrangentes, com vistas a avaliar dose e época de aplicação, conduziu-se um experimento para verificação do efeito da manipueira sobre a germinação e produção de algodão (*Gossypium hirsutum* var. *hirsutum*, L.) e milho (*Zea mays*, L).

Tabela 4.8.
Efeito da aplicação de doses crescentes de manipueira sobre os resultados da análise do solo, na camada de 0-20 cm de profundidade.

Época de aplicação	Dose	pH	Cmol$_c$.dm^{-3}					mg.dm^{-3}	g.dm^{-3}	mmha/cm
	(m^3.ha^{-1})	$CaCl_2$	Al^{3+}	H + AL	Ca^{2+}	Mg^{+2}	K^+	P*	Carb.	CE 25ºC
Testem absoluta	0	5,80	0,00	1,94	1,42	0,70	0,17	7,00	7,70	0,31
40 dias antes de plantio	50	6,00	0,00	1,79	1,67	0,76	0,25	9,40	7,90	0,52
	100	6,00	0,00	1,79	1,50	0,82	0,35	9,90	7,50	0,60
	200	6,30	0,00	1,65	1,57	0,99	0,42	13,50	7,00	1,80
40 dias antes do plantio	50	5,90	0,00	1,79	1,93	0,78	0,45	9,40	7,50	0,64
+ no plantio	100	6,10	0,00	1,79	1,55	0,82	0,55	19,30	8,10	0,56
	200	6,00	0,00	1,94	1,45	0,94	0,52	31,90	7,70	0,57
No plantio	50	5,90	0,00	1,94	1,67	0,74	0,27	8,00	9,50	0,40
	100	5,80	0,00	1,94	1,20	0,61	0,42	8,40	8,10	0,27
	200	2,80	0,00	1,94	1,22	0,70	0,45	17,40	7,40	0,40
30 dias após o plantio	50	5,60	0,00	1,94	1,57	0,74	0,22	6,20	8,10	0,28
	100	5,80	0,00	1,79	1,52	0,74	0,40	7,50	8,60	0,40
	200	5,80	0,00	1,79	1,45	0,70	0,40	8,40	7,00	0,40

* MEHLICH

Tabela 4.9.
Efeito da aplicação de doses crescentes de manipueira sobre a produção, stand e porcentagem de emergência das plantas de algodão e milho, em relação à testemunha

Época de aplicação	Dose	Algodão em caroço			Milho em grãos		
	(m^3.ha^{-1})	nº Plantas m^2	%	Kg/ha	nº Plantas m^2	%	Kg/ha
Testem absoluta	0	6,90	100	2058,10	2,20	100	1540,30
40 dias antes de plantio	50	7,00	101	1946,30	1,90	86	1124,00
	100	5,80	84	1875,10	1,80	82	1383,00
	200	5,20	75	1635,80	1,70	77	912,70
40 dias antes do plantio	50	3,20	46	1687,40	1,10	50	1112,00
+ no plantio	100	0,40	6	774,80	0,07	3	48,00
	200	0,10	1	0,00	0,00	0	0,00
No plantio	50	5,20	75	1892,50	2,10	95	1696,20
	100	0,70	10	798,70	0,80	36	719,70
	200	0,00	0	0,00	0,10	4	121,20
30 dias após o plantio	50	3,90	56	1351,70	2,00	91	1280,50
	100	1,90	28	776,20	1,80	82	1237,00
	200	0,40	6	487,10	1,60	73	724,50

Em função dos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

- em culturas anuais, a manipueira poderá ser aplicada na quantidade limite de $50m^3/ha$, em uma única dose;
- doses superiores a $50m^3/ha$ deverão ser aplicadas com antecência mínima de 40 dias do plantio;
- na área destinada à fertirrigação com manipueira, deverá ser aumentada a densidade de semeadura em aproximadamente 20%.

A redução da germinação de sementes que ocorreu pode ser função da combinação entre a ação letal tóxica do cianeto, somada à concentração salina na solução do solo após a aplicação. Com relação à salinidade do solo, obteve-se um valor médio entre todos os tratamentos de 0,60 mmho/cm a 25°C, em contraste com a área testemunha, que representou a condição natural igual a 0,31 mmho/cm a 25°C. Esses valores de condutividade elétrica foram determinados no final do ciclo das culturas, aproximadamente 150 dias após a aplicação, sendo que nesse período a precipitação total acumulada foi em torno de 920 mm de água, contribuindo para a redução salina da solução do solo, que retornou ao equilíbrio original. A concentração salina admissível na águas para irrigação depende de vários fatores. De modo geral, quantidades em torno de 700 mg/l de sais são prejudiciais a algumas culturas e teores acima de 2.000 mg/l nocivos à maioria das culturas.

Os resultados obtidos mostram que a aplicação de manipueira provoca aumentos significativos nos teores de potássio trocável do solo, alterando o equilíbrio da "lei das relações". Em contrapartida, a manipueira tem sido eficiente para aumentar o teor de fósforo no solo, em comparação com áreas testemunhas. Esse fato evidência a viabilidade da fertirrigação com esse resíduo, porém, monitorando-se os cátions básicos do solo para maximização dos resultados.

Resultados foram obtidos para verificar o efeito da manipueira sobre a produção final da cultura da mandioca. Observou-se um aumento de fitomassa total da cultura (parte aérea + raízes), em função das doses crescentes. Entretanto, verifica-se diminuição significativa no índice de colheita, o qual reflete a exuberância da planta em desenvolver a parte aérea, em detrimento da produção de raízes tuberosas. Para o caso da cultura da mandioca, um vigoroso crescimento é obtido se a planta for adequadamente suprida com água e nutrientes, especialmente com nitrogênio. A eficiência das folhas na transformação da energia solar em ATP, requerida para a assimilação de fotossintatos, depende considera-

velmente dos níveis de potássio (K) e fósforo (P). Tudo isso pode ser conseguido com a maipueira. Entretanto, doses muito elevadas (maior que 800Kg K_2O/há) podem reduzir o conteúdo de carboidratos dos tubérculos, devido a uma correlação negativa entre o conteúdo de potássio e de matéria seca dos tubérculos. Esta relação não só depende da nutrição com potássio, mas também é influenciada pela idade fisiológica dos tubérculos. Tubérculos jovens contém teores elevados de potássio, baixos de amido e elevados conteúdos de água, enquanto que em tubérculos velhos o recíproco é verdadeiro.

O desenvolvimento exuberante apresentado pela parte aérea em relação à testemunha tem correlação direta com a disponibilidade de nitrogênio durante a fase de tuberisação da mandioca. A iniciação da tuberisação é induzida por fitormônio, especialmente as "citocininas" e o "ácido abscísico" (ABA). O "ABA" promove a tuberisação, enquanto as giberelinas (GA), na parte aérea, têm um efeito adverso. A relação ABA/GA controla a formação dos tubérculos; uma alta relação restringe essa iniciação. A relação ABA/GA responde sensilvelmente e rapidamente ao nitrogênio aplicado. O contínuo suprimento de nitrogênio, resulta numa baixa relação ABA/GA, ocorrendo uma inibição no crescimento dos tubérculos. Interrompendo-se o suprimento de nitrogênio ou mesmo esgotando-o do solo, incrementa-se o conteúdo de ABA e a tuberisação tem início. Na prática, esta pode ser a causa da má formação e baixa produção de tubérculos quando se aplica manipueira na cultura, pois incorpora-se ao solo grande quantidade de matéria orgânica. Esse fato sugere que níveis altos de giberelinas nas folhas promove o uso do carboidrato recentemente formado para expansão das brotações. Este processo pode ser revertido por inibidores de gliberelinas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANCO, S. M. Poluição . Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1972. p.157.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo: CETESB, 1979. 764p.

CÂMARA, G. M. S.; GODOY, O. P.; MARCOS FILHO, J.; LIMA, U. A mandioca: produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. São Paulo: secretaria de Indústria, Comércio, Ciência e tecnologia, s.d. (Série Extensão Agroindustrial, 4).

CEREDA, M. P.; FIORETTO, A M. C. Potencial da água residual de fecularia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 2, 1982, Vitória. Anais..., Cruz das Almas: CNPMF-EMBRAPA, 1982. p.174-183.

FIORETTO, R. A. Efeito da manipueira aplicada em solo cultivado com mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). 1985. 112p. Tese (Mestrado). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.

FIORETTO, R. A; Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a germinação e produção de algodão (*Gossypium hirsutum var. hirsutum*) e milho (*Zea mays*). Semina, v. 8, f.1,p. 1-38. Jan/83.

FIORETTO, R. A. & BRINHOLI, O Variação sanzonal nos resultados das análises químicas do solo, após a aplicação de manipueira. Energ. Agric., Botucatu, v. 2, p.32-7, 1987.

GLORIA, N.A; ORLANDO Fº, J. Aplicação da vinhaça como fertilizante. Bol. Téc. Planalsúcar, Piracicaba, n.1, p.1-38, 1983.

INHOFF, K. Manual de tratamento de águas residuárias. Editora Edgard Blucher Ltda, Editora da Universidade de São Paulo, 1966. p.235.

MELIS, R. J. M; VANSTADEN, J. The effect of gibberellic acid and gibberellin inhibitors on cassava. In: SYMPOSIUM OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR TROPICAL ROOT CROPS, 6, 1983, Lima. Anais..., Lima, 1983. p.267-75

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A principles of plant nutrition. 4 ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 655p.

MINISTÉRIO DO INTERIOR: Coordenadoria de Comunicação Social. Meio ambiente: - algumas respostas básicas. Brasília, 1978. 32p.

OTTAWAY, J. H. Bioquímica da poluição. São Paulo: EPV, Ed. da Universidade de São Paulo, 1982. 72p. (Temas de Biologia, v. 29).

CAPÍTULO 5

USO DA MANIPUEIRA COMO INSUMO AGRÍCOLA: DEFENSIVO E FERTILIZANTE

J. Júlio da Ponte[1]

5.1. INTRODUÇÃO

A **manipueira** – vocábulo indígena incorporado à língua portuguesa – é o líquido de aspecto leitoso e cor amarelo-clara que escorre das raízes carnosas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), por ocasião da prensagem das mesmas, com vista à obtenção da fécula ou da farinha de mandioca. É um subproduto ou resíduo da industrialização da mandioca, que, fisicamente, se apresenta na forma de suspensão aquosa e, quimicamente, como uma miscelânea de compostos: goma (5 a 7%), glicose e outros açúcares, proteínas, células descamadas, linamarina e derivados cianogênicos (ácido cianídrico, cianetos e aldeídos), substâncias diversas e diferentes sais minerais, muitos dos quais fontes de macro e micronutrientes para as plantas (MAGALHÃES, 1993).

Este subproduto jorra com abundância, haja visto que o mesmo é contido na proporção de 3:1; ou seja, 1 litro de manipueira para cada 3 kg de raízes de mandioca prensadas. Sendo abundante em todas as regiões de cultivo e industrialização de mandioca, a manipueira é, no geral, cedida graciosamente, pois ainda se trata de um resíduo descartável em sua quase totalidade, com esporádicos e restritos aproveitamentos em molhos de pimenta e de **tucupi** (este no Estado do Pará) e no fabrico da **tiquira**, bebida alcoólica pouco apreciada e de consumo praticamente limitado ao Estado do Maranhão. Mas esse desprestígio da manipueira tende a desaparecer, a fazer parte do passado, quando se atentar para a excelência dos seus préstimos como insumo agrícola, seja como pesticida ou adubo, consoante os resultados de numerosas e pacientes pesquisas já publicadas.

---

[1] Livre-Docente de Fitopatologia e Professor-Emérito da Universidade Federal do Ceará. UFC/ Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Caixa Postal 12168, 60356-001, Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil.

A manipueira contém um glucosídeo cianogênico – a linamarina -, de cuja hidrólise (por ação da linamarase) provém a acetona-cianohidrina, da qual resultam, por ação enzimática (a-hidroxinitrila-liase) ou por quebra espontânea, o ácido cianídrico (bastante volátil) e os cianetos, além de aldeídos (Tabela 5.1.). São esses cianetos que respondem pelas ações inseticida, acaricida e nematicida do composto, enquanto o enxofre, presente em larga quantidade (cerca de 200 ppm), garante-lhe a destacada eficiência como fungicida, sem embargo da presença, em menor escala, de outras substâncias que exercem, também, ação antifúngica, tais como cetonas, aldeídos, cianalaninas, lectinas e outras proteínas tóxicas, inibidoras de amilases e proteinases, que atuam como ingredientes ativos complementares. Ademais, o enxofre tem, também, ação inseticida-acaricida. Na atualidade, a manipueira, quando investida nas funções de pesticida, vem sendo empregada em sua forma natural, tal como é recolhida da prensa, na casa-de-farinha. Não sofre qualquer beneficiamento, quer físico ou químico, salvo eventuais diluições em água, quando necessárias ou aconselháveis, a fim de obter-se maior rendimento quantitativo ou para prevenção de efeitos fitotóxicos em plantas de compleição mais delicada. Isto não invalida, obviamente, a possibilidade da manipueira vir, em futuro próximo, a ser industrializada para uso como pesticida.

A importância dessas pesquisas vem merecendo repercussão em diversos países, particularmente nos países essencialmente agrícolas do terceiro mundo, onde há cultivo de mandioca.

Tabela 5.1.
Composição química da manipueira (média de 20 amostras analisadas)

Componente	Quantidade (ppm)
Nitrogênio (N)	425,5
Fósforo (P)	259,5
Potássio (K)	1853,5
Cálcio (Ca)	227,5
Magnésio (Mg)	405,0
Enxofre (S)	195,0
Ferro (Fe)	15,3
Zinco (Zn)	4,2
Cobre (Cu)	11,5
Manganês (Mn)	3,7
Boro (B)	5,0
Cianeto livre (CN^-)	42,5
Cianeto total (CN)	604,0*

*55 mg/l, em média (*In*: PONTE, 1992).

Por outro lado, considerando que a manipueira, em sua complexa composição química, encerra todos os macro e micronutrientes (salvo o molibdênio) necessários à nutrição das plantas superiores, e que os possui em teores geralmente expressivos, ela poderá ser utilizada, pura ou diluída, como fertilizante, seja em adubação convencional (aplicação no solo), seja por via foliar, esta com maiores proveitos, tanto pelo menor desperdício de manipueira como pelo provimento de respostas mais rápidas por parte da planta, pois a síntese deste processo nutricional demanda menos energia e tempo.

5. 2. MANIPUEIRA COMO NEMATICIDA

O projeto "Investigação sobre o Aproveitamento da Manipueira como Defensivo Agrícola", idealizado e coordenado pelo autor, junto ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, Brasil, teve início em 1979, com a etapa "Uso da Manipueira como Nematicida".

Àquele ano, a manipueira foi originalmente testada como nematicida (PONTE *et al.*, 1979), justamente no tratamento de solos infestados de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.), vermes que se situam entre os mais tolerantes aos nematicidas comercias (PONTE, 1992).

Esclareça-se que a opção por tais nematóides como objeto das primeiras pesquisas não se fez apenas em razão dessa aludida tolerância, mas, sobretudo, em nome de sua destacada expressão econômica, visto que se sobrelevam como integrantes do mais importante gênero de nematóides fitoparasitas. Com efeito, embora se reconheça a importância de outros grupos, tais como *Heterodera*, *Pratylenchus*, *Radopholus* e *Ditylenchus*, os nematóides das galhas prevalecem em patamar de maior destaque, com respaldo em três argumentos: 1) larga dispersão geográfica; 2) elevado polifagismo, e 3) habitual severidade de seu parasitismo.

Logo na primeira investigação (PONTE *et al.*, 1979), a manipueira já revelava uma enérgica potencialidade nematóxica. Este teste preliminar envolveu o cultivo de plantas de quiabo (*Hibiscus esculentus* L.) em solos envasados que haviam sido previamente infestados com ovos e larvas de nematóides das galhas e, dez dias depois, tratados com manipueira. Na ocasião, a partir de crescentes dosagens de manipueira - 0, 500, 750 e 1000 ml por vaso, com 6 litros de solo -, os autores obtiveram decrescentes percentagens de plantas atacadas por *Meloidogyne*: 100, 60, 50 e 30%, respectivamente.

Dois anos depois, PONTE & FRANCO (1981) comprovaram essa potencia-

lidade nematóxica através de resultados ainda mais positivos do que os já obtidos. Com efeito, para a dosagem de 100 ml/6 L solo, a percentagem de plantas atacadas, que fora de 30% no primeiro ensaio, caiu para 0% (Tabela 5.2.). Segundo os citados autores, este melhor desempenho deveu-se ao uso exclusivo, no segundo ensaio, de manipueira extraída a partir, exclusivamente, de cultivares de mandioca brava e não de uma mistura de mandiocas brava e mansa (macaxeira), como houvera acontecido no primeiro experimento. Com efeito, a mandioca brava garante um teor bem maior de cianetos, ingredientes ativos da manipueira. Neste segundo ensaio, o tomateiro cv. "Santa Cruz" foi admitido como planta-teste, haja vista a sua condição de hospedeiro da mais alta suscetibilidade ao parasitismo de nematóides do gênero *Meloidogyne*.

Tabela 5.2.
Infestação de nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.) em raízes de tomateiros (*Lycopersicon esculentum* Mill.), cultivados em vasos contendo solo previamente infestado e, posteriormente, tratado com diferentes dosagens de manipueira, extraída apenas de mandioca brava

Dosagens [1] (ml/vaso)	Infestação	
	Grau Médio[2]	Classe
0	4,0	forte
500	1,3	muito forte
1000	0,0	nula
1500	0,0	nula

[1] ml de manipueira por vaso, contendo 6 litros de solo infestado com cerca de 10.000 espécimes de nematóides das galhas.
[2] Média de 16 plantas por tratamento, distribuídas em quatro vasos. Notas atribuídas conforme o seguinte critério: 0 - ausência de galhas; 1 - 1 a 3 galhas por sistema radicular; 2 - 4 a 6 galhas; 3 - 7 a 12 galhas; 4 - 13 a 20 galhas; 5 - mais de vinte galhas, correspondendo, respectivamente, às infestações nula, muito fraca, fraca, moderada, forte e muito forte.

Já no ano seguinte, SENA & PONTE (1982), confirmando os resultados obtidos em casa-de-vegetação, constataram um excelente controle de Meloidoginose em canteiros de cenoura (*Daucus carota* L.): nos canteiros tratados com manipueira (1 litro/m^2), a par da leve infestação de nematóide das galhas constatada à época da colheita, a produção de cenoura foi 100% superior à obtida nos canteiros não tratados, onde a incidência da Meloidoginose se fez severa e generalizada.

No decurso desta primeira fase do projeto, a qual se estendeu por 13 anos (1979 a 1992), o autor e seus colaboradores desenvolveram mais de dez traba-

lhos de pesquisa - resenhados em PONTE (1992) - acerca do aproveitamento da manipueira como nematicida. Pesquisas que, não só provaram e comprovaram a grande utilidade do composto para tal finalidade, calcado em um vigor nematóxico que excede ao dos nematicidas comerciais, mas abordaram, também, vários pontos correlatos (dosagem, tempo de estocagem, interferência com bactérias fixadoras de N, efeitos residuais e influência na fertilidade do solo), todos à guisa de subsídio para o uso prático da manipueira em condições de campo (PONTE, 1988; 1989; 1993).

Louve-se, no tocante a esses esclarecimentos complementares, a determinação da dosagem mínima de manipueira para tratamento de solos infestados, quer para um tratamento extensivo a toda a área de cultivo (PONTE *et al.*, 1987; FRANCO & PONTE, 1988; FRANCO *et al.*, 1990), quer para uma aplicação restrita, direcionada exclusivamente aos sulcos de plantio (PONTE *et al.*, 1995). Importante, também, foi a mensuração do tempo de estocagem do composto, à temperatura ambiente (25-32°C), sem perda de sua ação nematicida; esse tempo é de apenas três dias (PONTE & FRANCO, 1983). A partir do quarto dia, o processo de fermentação vai abatendo os teores de compostos cianogênicos e, por conseguinte, vai minando, gradativamente, a nematoxicidade. Releve-se, ademais, a abordagem feita acerca das implicações da manipueira sobre a população rizobiana (*Rhizobium* spp.) do solo (PONTE & FRANCO, 1983), fato que assume importância quando o solo a tratar destina-se ao plantio de leguminosas. A propósito, os mencionados autores concluíram que, mesmo induzindo uma redução populacional dessas bactérias, em escala inversamente proporcional à quantidade de manipueira aplicada, o tratamento, ainda assim, é vantajoso, pois o aumento do grau de fertilidade do solo, proporcionado pelo composto, compensa a perda numérica de rizóbios.

5.2.1. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS E POSOLOGIA

Com base nos resultados dessas pesquisas, apresentamos a dosagem e outras recomendações pertinentes ao emprego da manipueira como nematicida, no tratamento de solos infestados.

a) Tratamento Total da Área de Cultivo

- Usar a manipueira em diluição aquosa, na proporção de 1:1;
- Com auxílio de um regador ou vasilhame similar, aplicar de 4 a 6 litros dessa diluição por m^2 de terreno;

- Deixar o solo tratado em repouso, durante, no mínimo, oito dias, e
- Revolver o solo antes de voltar a cultivá-lo.

b) Tratamento Restrito às Linhas de Cultivo

- Usar a manipueira em diluição aquosa, na proporção de 1:1;
- Aplicar, no mínimo, 2 litros dessa diluição por metro de sulco;
- Observar um período de repouso semelhante ao prescrito para a modalidade de tratamento anterior, e
- Revolver o solo, operação que, no caso, restringir-se-á à terra inerente e adjacente à linha de cultivo.

5.2.2. INFORMAÇÕES ADICIONAIS

A manipueira pode ser estocada, à temperatura ambiente, por um período de três dias, sem prejuízo de sua potencialidade nematicida ou pesticida em geral (PONTE & FRANCO, 1983). Todavia, em refrigerador (8 a 10°C), o período de estocagem pode estender-se por 60 ou mais dias, sem que haja fermentação do composto e, por conseqüência, sem perda dessa potencialidade (MAGALHÃES, 1993).

O revolvimento do solo, decorridos oito dias da data de aplicação, é importante no sentido de prevenir efeitos residuais fitotóxicos, conforme FRANCO (1986).

A diluição em água, na proporção indicada (1:1), é recomendável, a fim de tornar o composto menos viscoso, e, assim, prover uma maior penetração da manipueira no solo, ampliando-se, destarte, o seu raio de difusão no substrato. O tratamento com manipueira pura teria, na prática, um rendimento inferior, pois a densidade do composto, consoante comprovação experimental (PONTE, 1992), impediria uma maior dispersão, restringindo-lhe, por conseguinte, a abrangência da ação nematicida.

5.3. MANIPUEIRA COMO INSETICIDA E ACARICIDA

Essa segunda etapa do projeto teve início em 1988, mediante um teste preliminar conduzido por PONTE *et al.* (1988) e envolvendo cochonilhas de carapaça-marrom (*Coccus hesperidum* L.). Na oportunidade, uma única pulverização

com manipueira pura (não diluída em água), sobre copas de limoeiro-galego (*Citrus aurantifolia* Swingle) praguejadas por tais cochonilhas, foi suficiente para eliminar toda a população desses coccídeos ali presente.

Seguiram-se vários outros testes, todos igualmente bem sucedidos, envolvendo, inclusive, insetos-pragas de maior porte, a exemplo da lagarta-peluda (*Agraulis* spp.) das passifloráceas, a par de outras pragas que se notabilizaram por marcante tolerância aos inseticidas tópicos em geral, tal como as cochonilhas do gênero *Orthesia*.

Em trabalhos recentes, um deles publicado em Cuba, PONTE & SANTOS (1997;1998) controlaram duas importantes pragas da citricultura, ambas bastante assíduas em todo o país: o pulgão-negro (*Toxoptera citricidus* Kirk) e a cochonilha "escama-farinha" (*Pinnaspis aspidistrae* Sign.), usando manipueira pura e manipueira diluída em igual volume de água (1:1). Mesmo nesta diluição, o composto revelou-se tão eficaz quanto o inseticida à base de parathion-metílico que fora usado, nos ensaios, como referencial de controle químico, e muito mais econômico do que este, sobre ser uma opção isenta das agressões que os agrotóxicos costumeiramente cometem à ecologia e à saúde humana. À mesma época, uma cultura de tomate, severamente atacada pela traça *Scrobipalpula absoluta* (Meirink), foi recuperada mediante três pulverizações, a intervalos semanais, com manipueira em diluição aquosa ainda menos concentrada, na proporção de uma parte do composto para quatro partes de água, atendendo à sensibilidade do tomateiro à manipueira. Os resultados deste teste foram relatados por PONTE & MIRANDA (1997).

Com a difusão dos resultados dessas tantas pesquisas, o uso da manipueira como inseticida vem se tornando prática rotineira em vários recantos do território brasileiro, bem como em determinados países do terceiro mundo, a exemplo de Madagascar, África, onde, segundo RAZAFINDRAKOTO (1997), a manipueira é assiduamente empregada no controle de cochonilhas, sobretudo em culturas de subsistência. Ensaios desenvolvidos, simultaneamente, em Madagascar e no Brasil (RAZAFINDRAKOTO *et al.*, 1999), demonstraram a excelência da manipueira no tratamento de estacas (manivas) de mandioca densamente atacadas por duas espécies de cochonilhas. Com efeito, a imersão desses propágulos vegetativos em manipueira pura, durante 1 h, foi tão eficiente quanto à termoterapia (imersão em água quente, 47°C/30 min), seguida de quimioterapia (imersão em solução de benomyl a 20%/30 min), além de ser um ato operacional bem mais simples, menos dispendioso e sem qualquer afetação ao poder germinativo das estacas. Os resultados então obtidos podem ser extrapola-

dos, em nível de recomendação de prévio tratamento, para outros propágulos vegetativos usuais: tubérculos de batatinha, bulbos de cebola e alho, rizomas de bananeira etc.

Independentemente de recomendações calcadas em novos testes e ensaios científicos, os agricultores já identificados com o uso da manipueira a vêm usando no controle de uma extensa gama de insetos-pragas.

Era presumível a eficácia da manipueira como inseticida-acaricida, não apenas pelos cianetos (principais ingredientes ativos) presentes em sua composição, mas, também, em razão da presença de elevados teores de enxofre, elemento tradicionalmente identificado na luta contra insetos e ácaros.

No tocante, particularmente, ao controle de ácaros fitoparasitas, a manipueira já vinha sendo usada, com muito sucesso, para tal finalidade, antes mesmo da comprovação científica, fato só ocorrido bem mais tarde, em experimento de campo envolvendo um plantio de mamoeiro (*Carica papaya* L.) severamente infestado pelo ácaro-branco (*Polyphagotarsonemus latus* Banks). Na oportunidade, o ataque foi totalmente debelado mediante três aplicações de manipueira, em diluição aquosa da ordem de 1:3 e ministradas a intervalos semanais (PONTE, 1996).

Por oportuno, ressalta-se que, em todos esses testes e experimentos direcionados ao aproveitamento da manipueira como inseticida ou acaricida, optou-se sempre pela adição de um adesivo ao composto, seja açúcar ou, preferentemente, farinha de trigo, na proporção de 1%, a fim de prover-lhe maior aderência.

5.3.1. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS E POSOLOGIA

À luz dos resultados obtidos ao longo dessa segunda etapa do projeto - "Uso da Manipueira como Inseticida e Acaricida" -, eis as recomendações para uso da manipueira, com vista a tais finalidades:

- O tratamento deve constar, no mínimo, de três pulverizações, ministradas a intervalos semanais;
- Acrescentar à manipueira, pura ou diluída, o correspondente a 1% de farinha de trigo, a fim de garantir-lhe uma melhor aderência;
- Usar manipueira pura ou diluída em água, de conformidade com a praga e, sobretudo, com a cultura a ser tratada. Assim, no tratamento de árvores (citros, abacateiro, jambeiro etc), usar manipueira pura ou em diluição 1:1; para arbustos (murici, maracujá etc), deve prevalecer a diluição 1:1 ou, até mes-

mo, 1:2, quando do uso contra ácaros ou, então, insetos mais sensíveis, tais como pulgões; para plantas herbáceas de maior porte (pimentão, berinjela etc), recomendam-se as diluições 1:2 e 1:3 e, para aquelas de menor porte, mais delicadas, usar as diluições 1:4 e 1:5. Todavia, para os dois últimos casos, ou seja, para as herbáceas em geral, é sempre conveniente fazer, antes do tratamento definitivo, um teste preliminar, envolvendo um pequeno lote de plantas, a fim de ajustar a diluição à sensibilidade da planta a ser tratada e da praga a ser controlada, e

- Para o caso específico de tratamento de propágulos vegetativos (estacas, rizomas etc) praguejados, imergi-los em manipueira pura durante 1h, sendo dispensável o acréscimo de farinha de trigo.

5.4. MANIPUEIRA COMO FUNGICIDA

Esta terceira fase do projeto teve início em 1993. Na oportunidade, SANTOS (1993) e SANTOS & PONTE (1993) estudaram a ação fungicida da manipueira no controle do Oídio do urucu (*Bixa orellana* L.), doença causada pelo fungo *Oidium bixae* Viégas, um ectoparasita de marcante patogenicidade, haja vista ser a enfermidade por ele ocasionada, o Oídio, a mais importante dentre as que afetam a citada planta em todo o Nordeste (PONTE, 1996).

O experimento pertinente ao estudo em referência foi conduzido em condições de casa-de-vegetação e reuniu quatro tratamentos: testemunha (plantas não tratadas), manipueira pura (100%), manipueira em diluição aquosa (50%) e um fungicida à base de pyrazophos que, por ser específico contra os fungos do gênero *Oidium*, foi incluído no ensaio como referencial de controle químico. Ao final do experimento, constatou-se que a manipueira foi tão eficiente quanto o fungicida sintético, então usado como parâmetro de controle. Os autores admitiram que a ação oidicida da manipueira é devida ao elevado teor de enxofre (cerca de 200 ppm) presente em sua composição, a exemplo do que ocorre com o pyrazophos e com a maioria dos fungicidas recomendados para o controle curativo ou preventivo de oídios, cujo ingrediente ativo é o enxofre. É evidente, com fundamento em tais resultados, que a manipueira poderá muito bem substituí-los, com a vantagem adicional da economicidade devida à sua condição de subproduto quase sempre descartável, sem esquecer, também, a inocuidade com relação à saúde humana.

Não se realizaram, até agora, outros testes de avaliação de manipueira como

oidicida. Mas é claro que os resultados desse primeiro experimento podem ser extrapolados e prescritos para os oídios de um modo geral, os quais constituem um importante grupo de fitomoléstias para muitas culturas, a exemplo das anacardiáceas, rosáceas e curcubitáceas, além do citado urucu. E tal prescrição equivaleria a um tratamento tão eficaz quão econômico, haja vista as razões já enumeradas, máxime a supressão de riscos ao ambiente e à saúde humana, tão próprios dos agrotóxicos em geral.

Mas esta etapa do projeto continua em aberto, ainda longe de ser concluída. Com efeito, a manipueira ainda deverá ser testada no controle de muitas outras doenças, de muitos outros grupos de fungos fitopatogênicos, tais como os agentes de antracnoses, cercosporioses, cancros, ferrugens, carvões, míldios, fusarioses e podridões de frutos, para citar os mais assíduos em culturas tropicais (PONTE, 1996). Tais testes estariam cercados de expectativas otimistas, haja vista que, além do enxofre e cianetos, a manipueira contém outras substâncias antifúngicas (MAGALHÃES, 1993), com destaque para cetonas, aldeídos, tioninas, fitoalexinas, quitinases, lectinas e outras proteínas de baixo peso molecular. Eis, portanto, um sugestivo filão que se oferece aos pesquisadores igualmente interessados em minimizar o uso de agrotóxicos.

5.4.1. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS E POSOLOGIA

Para o uso da manipueira como fungicida, basicamente no controle de oídios, devem ser observadas as mesmas recomendações prescritas para o seu uso como inseticida.

Assim, o tratamento deve estender-se por, no mínimo, três semanas, com uma pulverização a cada sete dias. Prevalece, também, a recomendação no sentido de acrescentar-se 1% de farinha de trigo ao composto, a fim de dar-lhe mais aderência, uma condição particularmente importante no trato de doenças, haja vista a prevalência do controle preventivo sobre o curativo. E, no tocante à dosagem, as prescrições pertinentes são, também, as mesmas. Desta forma, a opção pelo uso da manipueira pura ou diluída (diluições aquosas de 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4) fica na dependência, sobretudo, do porte e tolerância da planta, reiterando-se as conveniências, no caso de tratamento de plantas delicadas, de proceder-se a um prévio teste de sensibilidade.

5.5. MANIPUEIRA COMO ADUBO

Este capítulo aborda um outro programa de pesquisa. Em verdade, paralelamente ao projeto "Investigação sobre o Aproveitamento da Manipueira como Defensivo Agrícola", o autor, a partir dos anos oitenta, criava um novo e original projeto, intitulado "Investigação sobre o Aproveitamento da Manipueira como Fertilizante", estimulado pelos bons resultados obtidos com este composto para a mencionada finalidade, logo ao ensejo do primeiro teste, quando FRANCO & PONTE (1988) observaram que plantas de milho (*Zea mays* L.), cultivadas em solo adubado com manipueira, apresentavam, em confronto com o milho semeado em solo não tratado (testemunha), crescimento, peso verde e produção significativamente superiores: 20, 100 e 65% a mais, respectivamente.

Mais tarde, quando se passou a conhecer, com exatidão, a composição química da manipueira (Tabela 5.1.) - potencialmente rica em macronutrientes (K, N, Mg, P, Ca, S e Fe, pela ordem quantitativa) e com suficientes teores de todos os micronutrientes requeridos pelas plantas, salvo o molibdênio -, o autor iria priorizar as pesquisas sobre a utilização desse subproduto como fertilizante foliar, por ser uma modalidade de adubação mais apropriada a um substrato líquido, sem subestimar, naturalmente, as vantagens inerentes a esta forma de suprimento, tais como menor desperdício do composto e, em relação à planta tratada, economia de tempo e energia, visto que o nutriente é entregue "na porta da fábrica", isto é, diretamente sobre a folha, local-sede da fotossíntese.

No tocante a essa linha de pesquisa, o teste preliminar (PONTE *et al.*, 1997) logo mostrou a procedência da hipótese, através da revelação de resultados bastante sugestivos, uma vez que plantas de gergelim (*Sesamum orientale* L.) adubadas foliarmente com manipueira, em diluição aquosa 1:6, mediante seis pulverizações a intervalos semanais, responderam com uma produção estatisticamente superior à das plantas-testemunhas, fosse em número ou peso totais de frutos, com 67,3 e 52,1% a mais, respectivamente.

Estimulado pelo sucesso desse teste inicial, o autor elegeria o mesmo tema para a tese de mestrado (ARAGÃO, 1995) que, pouco depois, iria orientar e para a qual projetou, naturalmente, um experimento de maior amplitude, envolvendo duas culturas (tomate e quiabo) e quatro diluições de manipueira (1:4, 1:6, 1:8 e 1:10), também aplicadas seis vezes, a intervalos semanais. Este trabalho viria comprovar a eficiência da manipueira como fertilizante foliar, pois as plantas com ela tratadas, indiferentemente à diluição testada, apresentaram produção significativamente superior àquela obtida com a aplicação de um fertili-

zante sintético de grande aceitação comercial e que fora escolhido como referencial de nutrição via foliar (ARAGÃO & PONTE, 1995).

Na esteira do mesmo filão, seguiu-se o trabalho de PONTE *et al.* (1998), envolvendo cultivo de sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.), sob condições de solo paupérrimo (com baixos teores de N, P e K). As plantas de sorgo forrageiro foram adubadas, via foliar, com manipueira (diluição 1:6), acrescida ou não de um coadjuvante adesivo, no caso a farinha de trigo. Em ambas as situações, isto é, com ou sem este adesivo, a fertilização com manipueira, praticada seis vezes, a intervalos semanais, induziu uma produção de massa verde estatisticamente superior à da testemunha, com aumentos da ordem de duas e três vezes mais, respectivamente. Aliás, a inclusão da farinha de trigo não melhorou o rendimento da manipueira como adubo foliar; pelo contrário, restringiu-lhe a eficiência, com retorno em ganho de peso verde estatisticamente inferior ao que se obteve sem esse adesivo. Provavelmente, o aumento da densidade do composto, pela incorporação da farinha, dificultou, em parte, a sua absorção pelas folhas.

5.5.1. RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS E POSOLOGIA

À luz dos resultados ora relatados, conclui-se que a manipueira, para efeito de adubação, pode ser usada por vias foliar e edáfica, o que implica em recomendações distintas para tais modalidades de uso.

a) Fertilização do Solo

- Usar a manipueira na diluição 1:1;
- Aplicá-la ao solo, justo na linha de cultivo, com o auxílio de um regador ou vasilhame similar, na razão de 2 a 4 litros da diluição por metro de sulco;
- A aplicação deve preceder ao plantio - adubação de fundação - e o solo, após o tratamento, deve ficar em repouso por 8 ou mais dias, e
- Revolver levemente o solo que compõe e margeia a linha de cultivo, antes de proceder à semeadura.

b) Fertilização Foliar

- As diluições mais apropriadas são 1:6 e 1:8, a menos que haja, simultaneamente, necessidade de controle de pragas ou doenças, optando-se, em tais casos, por diluições mais concentradas, de acordo com as recomendações apostas nos capítulos correspondentes a tais controles;

- Fazer o mínimo de seis e o máximo de dez pulverizações, de preferência a intervalos semanais, e
- Quando do uso da manipueira com a finalidade exclusiva de fertilização foliar, não adicionar farinha de trigo, ingrediente só recomendável nos casos de controle de pragas e doenças.

5.5.2. INFORMAÇÕES ADICIONAIS

Com vista à adubação do solo, as recomendações ora enumeradas são, exatamente, aquelas prescritas para a utilização do mesmo composto como nematicida, no tratamento de linhas de cultivo, em solo infestado de fitonematóides, conforme o exposto no item **b**, do tópico 5.2.1. Portanto, ao fazermos uma adubação de fundação com manipueira, estaremos, também, efetuando o controle dos nematóides fitoparasitas porventura presentes no mesmo solo. São, por conseguinte, operações simultâneas, o que releva o aproveitamento da manipueira como fertilizante. Destacamos a conveniência da diluição do composto em água (1:1), a fim de torná-lo mais fluido e, assim, garantir-lhe uma maior penetração no solo. No zelo dessa finalidade, a adição da farinha de trigo ou de qualquer coadjuvante-adesivo seria desnecessária.

Do mesmo modo, ao fazermos o controle de pragas e doenças foliares mediante pulverizações com manipueira, estaremos, qualquer que seja a diluição utilizada, fazendo, simultaneamente, uma fertilização foliar, fato que torna ainda mais rentável a opção pelo uso desse composto como defensivo agrícola.

5.6. COMO TER MANIPUEIRA O ANO TODO

Nas regiões de clima tropical, a principal limitação ao uso da manipueira como insumo agrícola diz respeito à indisponibilidade deste composto em determinada época do ano. No nordeste brasileiro, por exemplo, via-de-regra não se faz farinhada durante a estação das chuvas (de fevereiro a maio ou junho, nos anos normais), atividade só exercida ao longo do verão, época em que as raízes estão "enxutas", provendo, por conseguinte, um maior rendimento de farinha.

Portanto, sendo a manipueira um subproduto da fabricação da farinha de mandioca, ela normalmente estará em falta durante a estação chuvosa, justo quando se faz mais requisitada para desempenhar a sua principal finalidade, ou

seja, o seu emprego como pesticida. Com efeito, é nessa época que se intensifica a atividade agrícola, com a prática do tradicional "plantio das águas" e, correspondentemente, quando se faz mais assídua e severa a ocorrência dos agentes de pragas e doenças, para cujo controle destaca-se, com eficácia e economicidade, a manipueira.

E como superar tal limitação, de sorte a ter-se manipueira, em disponibilidade, em qualquer época do ano?

Uma das alternativas seria conservá-la em refrigerador, evitando-se a fermentação do composto. Mas seria uma solução pouco prática, seja porque o grande volume de manipueira a conservar iria ocupar muito espaço, seja porque a maioria dos agricultores de baixa renda não dispõe desse eletrodoméstico.

A outra alternativa, bem mais simples e prática, seria manter, na propriedade agrícola, um cultivo permanente de mandioca, só para a extração de manipueira, sempre que se fizer necessário o seu emprego como pesticida ou adubo foliar. Para tal fim, bastaria uma área relativamente pequena (não mais de 5% da gleba) e de menor fertilidade, pois a mandioca é uma cultura rústica, pouco exigente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, M.L. Investigação sobre o aproveitamento da manipueira como fertilizante foliar. 1995. 36p. Tese (Mestrado) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ARAGÃO, M.L. & PONTE, J.J.da. O uso da manipueira - extrato líquido das raízes de mandioca - como adubo foliar. Ciên. Agron. Fortaleza, v.26, n.1/2, p.45-48, 1995.

FRANCO, A. Subsídios à utilização da manipueira como nematicida. 1986. 53p. Tese (Mestrado) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará,

FRANCO, A.; PONTE, J.J. Subsídios à utilização da manipueira como nematicida: dosagem e interferência na fertilidade do solo. Nematol. Bras., Piracicaba, v.12 n.1,p.35-45, 1988.

FRANCO, A.; PONTE, J.J.; SILVA, R.S.; SANTOS, F.A. M. Dosagem de manipueira para tratamento de solo infestado por *Meloidogyne*: II) segundo experimento. Nematol. Bras., Piracicaba, v.14 n.1 p.25-32, 1990.

MAGALHÃES, C.P. Estudos sobre as bases bioquímicas da toxicidade da manipueira a insetos, nematóides e fungos. 1993. 117p. Tese (Mestrado) Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.

PONTE, J.J. da. Cassareep. Spore, Wageningen, v.21, p.10, 1989.

PONTE, J.J. da. Cassareep: an unconventional nematicide. Cassava Newsl., West Yorkshire, v.12, n.2, p.9, 1988.

PONTE, J.J. Clínica de doenças de plantas. Fortaleza: Ed. Universidade Federal do Ceará, 1996. 873p.

PONTE, J.J. Eficiência da manipueira no controle do ácaro-branco do mamoeiro. Rev. Agric., Piracicaba, v.71, n.2, p.259-261, 1996.

PONTE, J.J. Histórico das pesquisas sobre a utilização da manipueira (extrato líquido das raízes de mandioca) como defensivo agrícola. Fitopatol. Venez., Maracay, v.5, n.2, p.2-5, 1992.

PONTE, J.J. da. Manipueira: es desechable este subproduto de la yuca? Yuca, Cali, v.17, n.1, p.8, 1993.

PONTE, J.J. Os principais grupos de fitomicoses tropicais. Fortaleza: Academia Cearense de Ciências, 1996. 13p. (Publicação Técnica,1).

PONTE, J.J. da; ARAGÃO, M.L.; SILVEIRA-FILHO, J.; ANDRADE, N.C. Fertilização foliar de sorgo com manipueira (extrato líquido das raízes de mandioca). Rev. Agric., Piracicaba, v.73, n.1, p.101-109, 1998.

PONTE, J.J. da; FRANCO, A. Implicações da manipueira - um nematicida não convencional - sobre a população rizobiana do solo. Public. Soc. Bras. Nematol., Piracicaba, 7: 125-128, 1983.

PONTE, J.J. da & FRANCO, A. Influência da idade da manipueira na preservação do potencial nematicida do composto. Public. Soc. Bras. Nematol., Piracicaba, v.7 p.237-240, 1983.

PONTE, J.J. da; FRANCO, A. Manipueira, um nematicida não convencional de comprovada potencialidade. Public. Soc. Bras. Nematol., Piracicaba, v.5, p.25-33, 1981.

PONTE, J.J. da, FRANCO, A., PONTES, A.E.L. Estudo sobre a potencialidade da manipueira, como nematicida, em condições de campo. Nematol. Bras., Piracicaba, v.11, n.1, p.42-47, 1987.

PONTE, J.J. da; FRANCO, A.; SANTOS, J.H.R. Teste preliminar sobre a utilização da manipueira como inseticida. Rev. Bras. Mand., Cruz das Almas, v.7, n.1, p.89-90, 1988.

PONTE, J.J. da; FRANCO, A.; SILVEIRA-FILHO, J.; SANTOS, F.A.M. Dosagem de manipueira para tratamento de linhas de cultivo em solo infestado de *Meloidogyne*. Nematol. Bras., Piracicaba, v.19, n.1/2, p.81-85, 1995.

PONTE, J.J. da; HOLANDA, Y.C.A.; ARAGÃO, M.L.; SILVEIRA FILHO, J. Ensaio preliminar sobre a utilização da manipueira (extrato líquido das raízes de mandioca) como fertilizante foliar. Rev. Agric., Piracicaba, v.72, n.1, p.63-68, 1997.

PONTE, J.J. da; MIRANDA, E. Eficiência da manipueira no controle da traça. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1997. 3p. (Boletin técnico).

PONTE, J.J. da; SANTOS, J.H.R. Eficiência da manipueira no controle de duas pragas da citricultura. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1997. 7p. (Boletin técnico).

PONTE, J.J.; SANTOS, J.H.R. Eficiência da manipueira no controle de *Toxoptera citricidus* - o pulgão negro dos citros. Fitossanidad, La Habana, 1998. (no prelo).

PONTE, J.J. da; TORRES, J.; FRANCO, A. Investigação sobre uma possível ação nematicida da manipueira. Fitopatol. Bras., Brasília v.4, p.431-435, 1979.

RAZAFINDRAKOTO, C. Étude sur l'utilisation du manipueira comme pesticide biologique. Ambatondrazaka: Centre National de la Recherche Apliquée au Developpement Rural, 1997. 18p. (Bulletin technique).

RAZAFINDRAKOTO, C.; PONTE, J.J. da; ANDRADE, N.C.; SILVEIRA-FILHO, J.; PIMENTEL-GOMES, F. Manipueira e termoterapia no tratamento de estacas de mandioca atacadas por cochonilhas. Rev. Agric., Piracicaba, v.74, n.2, p.127-133, 1999.

SANTOS, A.B.C. Investigação sobre a ação fungicida da manipueira no controle de Oídio. 1993. 39p. Tese (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará.

SANTOS, A.B.C.; PONTE, J.J. da. Ação fungicida da manipueira no controle de Oídio. Fitopatol. Bras., Brasília, v.18, p.302, 1993.

SENA, E.S.; PONTE, J.J. da. A manipueira no controle da Meloidoginose da cenoura. Public. Soc. Bras. Nematol., Piracicaba, v.6, p.95-98, 1982.

CAPÍTULO 6

COMPOSTOS DE AROMA POR *GEOTRICHUM FRAGRANS* CULTIVADO EM MANIPUEIRA

Simone Damasceno [1]
Marney Pascoli Cereda [2]
Gláucia Maria Pastore [3]
Joaquim Gilberto Oliveira[4]

6.1. INTRODUÇÃO

Na industrialização da mandioca são gerados diversos resíduos, tais como casca, farelo e manipueira, que é a fração líquida. Tal atividade causa sérios problemas ambientais, por gerar resíduos poluentes em quantidades significativas, o que tem incentivado o desenvolvimento de inúmeras pesquisas voltadas à redução da poluição ambiental, bem como à valorização econômica desses resíduos.

A manipueira, apesar de altamente poluente, pode ser considerado um resíduo não esgotado, o que o torna passível de ser empregado como matéria-prima em outras atividades.

Quanto à composição, a manipueira caracteriza-se por sua elevada carga orgânica e presença de cianeto (CN^-) resultante da hidrólise dos glicosídios cianogênicos presentes na mandioca, que durante o processamento são carreados para o líquido residual. Na Tabela 6.1 são apresentados dados da composição média da manipueira em carbono.

---

[1] Engenheira Agrônoma, Professora UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon – PR. e-mail: simoned@unioeste.br
[2] Engenheira Agrônoma, Pesquisadora CERAT/UNESP – Botucatu – SP e-mail: pesq2cerat@fca.unesp.br
[3] Professora FEA/UNICAMP – Campinas – SP e-mail: glaupast@fea.unicamp.br
4 Pesquisador FEA/UNICAMP - Campinas - SP e-mail: joaquim@fea.unicamp.br

Tabela 6.1: Composição média da manipueira em carbono.

Variáveis	Concentração
Açúcares totais (g/L)	58,18
Açúcares redutores (g/L)	37,96
Frutose	14,90
Glicose	22,34
Maltose	0,72
Açúcares não-redutores (g/L)	20,22
Dextrinas	1,52
Sacarose	18,70

Entre as alternativas que estão sendo estudadas para a valorização da manipueira, encontra-se a investigação do uso deste resíduo como substrato para o cultivo de *Geotrichum fragrans*. Esse microrganismo foi isolado da manipueira e portanto resistente ao cianeto. A literatura relata ser o *Geotrichum fragrans* produtor de aroma de frutas em decorrência da geração de compostos voláteis, aroma esse detectado nas indústrias de processamento de mandioca.

A produção de compostos de aroma por microrganismos vem ganhando impulso muito grande nos últimos anos devido ao fato de que os aromas naturais extraídos de plantas ou de determinados alimentos tem um custo muito elevado de produção. Aliado a esse fato, o consumidor moderno tem dado preferência a alimentos sem aditivos químicos sintéticos, o que tende a diminuir o custo dos aromas artificiais

Assim a biotecnologia surge como ferramenta importante no desenvolvimento de processo de produção de aromas naturais biotecnológicos, os bioaromas.

6.2. PRODUÇÃO DE COMPOSTOS DE AROMA POR MICRORGANISMOS

6.2.1. ASPECTOS GERAIS

Os microrganismos apresentam função na produção de compostos de aroma em uma grande variedade de alimentos.

Considerando tal propriedade, os microrganismos podem contribuir com produção de compostos de aroma na fermentação de determinados alimentos e bebidas ou também podem, através da fermentação, gerar compostos específicos

de aroma que têm a possibilidade de serem extraídos e então utilizados posteriormente (Gatifield, 1988).

De acordo com Krings & Berger (1998) aproximadamente 80% dos aromas e fragrâncias usados no mercado são produzidos sinteticamente.

Embora o mercado de aromas esteja atualmente dominado por aromas artificiais, nos últimos anos tem se observado uma tendência à utilização de aromas naturais (Janssen et al. 1992; Feron et al. 1996; Krings & Berger, 1998). Segundo Armstrong & Brown (1994) a demanda entre as indústrias de alimentos por aromas naturais tem aumentado de 5 a 10% para 75 a 80 %. Tal tendência é atribuída principalmente à conscientização dos consumidores no âmbito de saúde e nutrição os quais tem evitado os alimentos com aromas artificiais e estimulado o desenvolvimento de produtos naturais (Lugay, 1986).

De acordo com Tyrrell (1995), atualmente as fontes de aromas naturais podem ser classificadas em 3 categorias: a) materiais que são formados durante o metabolismo natural de animais e plantas, que podem ser usados na forma sêca ou extraídos e refinados; b) compostos de aroma formados durante a ação de enzimas e microrganismos; c) compostos de aroma básicos formados durante o processamento térmico de ingredientes naturais.

Por muito tempo as plantas foram as únicas fontes de compostos de aroma, sendo estes isolados normalmente dos vários tipos de óleos essenciais. Embora sensorialmente ativos tais compostos estão muitas vezes disponíveis em quantidades ínfimas ou numa forma ligada que dificulta sua obtenção, resultando em preços elevados, que normalmente caracterizam os aromas naturais (Janssen et al. 1992).

A síntese química de aromas embora, aparentemente, apresente vantagens, possui também inúmeros obstáculos. Muitas vezes a síntese de alguns compostos envolve vários passos que implicam em custos de produção acentuados. Um outro problema desta via é que produz misturas racêmicas, resultando em compostos de aroma com propriedades inadequadas. O isolamento do isômero opticamente ativo pode ser caro ou tecnicamente impossível (Armstrong & Brown, 1994).

A preferência dos consumidores por alimentos com aromas naturais e as desvantagens inerentes a cada uma das fontes de aroma já citadas levaram nas útimas décadas ao desenvolvimento de pesquisas sobre a produção alternativa de aromas por biotecnologia. A produção biotecnológica de aromas pode compreender o uso de células de plantas, cultura de tecidos, microrganismos e enzimas na síntese de tais produtos (Janssen et al., 1992).

De acordo com Janssen et al. (1992) os microrganismos são promissores na produção de compostos de aroma complexos ou simples, podendo ser capazes de sintetisar aromas a partir da fermentação de materiais simples (açúcares e aminoácidos) ou da conversão de substratos específicos através do processo denominado bioconversão.

Microrganismos do gênero *Geotrichum* são muitas vezes citados na literatura como agentes produtores de aromas, referidos normalmente pelas características de aromas frutais produzidos (Welsh, 1994).

Compostos de aroma são resultantes principalmente do metabolismo secundário tanto em plantas quanto em microrganismos (Heath & Reineccius, 1986). Os metabólitos secundários são substâncias que não são necessárias à síntese celular, sendo normalmente acumuladas em pequenas somas devido aos mecanismos de regulação. Entre tais metabólitos encontram-se os alcoóis, aldeídos, cetonas, terpenos e lactonas. Os ésteres são também exemplos de metabólitos secundários produzidos, muitas vezes, para remover ácidos e alcoóis do meio, evitando a acumulação de tais produtos que poderiam ser tóxicos ao microrganismo (Scharpf et al. 1986).

6.2.2. PERSPECTIVAS DA PRODUÇÃO DE COMPOSTOS DE AROMA POR MICRORGANISMOS

Embora sejam encontradas inúmeras publicações sobre a produção de aromas por microrganismos, o cenário atual demonstra que essa área está ainda incipiente, fato este que é demonstrado pelo pequeno número de processos instalados a nível comercial (Janssens et al., 1992; Feron et al., 1996; Krings & Berger, 1998).

Scharpf et al. (1986) cita alguns dos fatores que contribuem para que as pesquisas em produção de aromas por microrganismos se resumam, principalmente, no conhecimento das vias metabólicas envolvidas. Tais fatores são representados por dificuldades técnicas inerentes aos processos de produção, que são: baixa produtividade, toxicidade do produto, tempo de fermentação, recuperação do produto e mistura de compostos.

No entanto, em decorrência do aumento da demanda dos consumidores por produtos e ingredientes com a designação "natural", a literatura indica que a importância comercial da produção biotecnológica de aromas tende a crescer se tornando representativa num futuro bem próximo (Lugay, 1986; Scharpf et al.

1986; Farbood, 1991; Hadar & Dosoretz, 1991; Janssens et al. 1992; Krings & Berger, 1998). Por esta razão Gatifield (1995) comenta que os preços mais altos cobrados para os aromas naturais muitas vezes são compensados pelos benefícios resultantes do marketing.

6.3. CULTIVO DE *GEOTRICHUM FRAGRANS* EM MANIPUEIRA

Nos ensaios de cultivo de *Geotrichum fragrans* em manipueira adotou-se cultivo aeróbio em batelada no agitador regulado nas seguintes condições:

temperatura: 24 ± 1°C

rotação: 150 rpm em movimento circular

volume de meio: erlenmeyer de 500 ml contendo 100 ml de meio

O microrganismo apresentou capacidade em consumir somente os açúcares redutores do substrato, deixando os açúcares não-redutores no meio (Figuras 6.1 e 6.2).

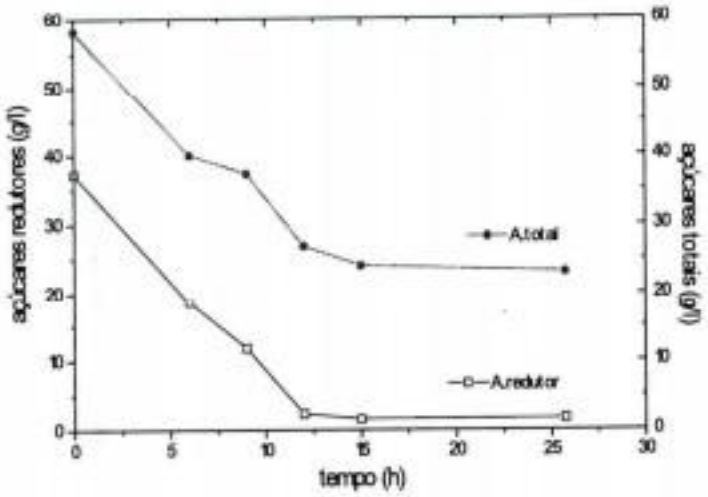


Figura 6.1
Concentração de açúcares residuais na manipueira durante cultivo de *Geotrichum fragrans*

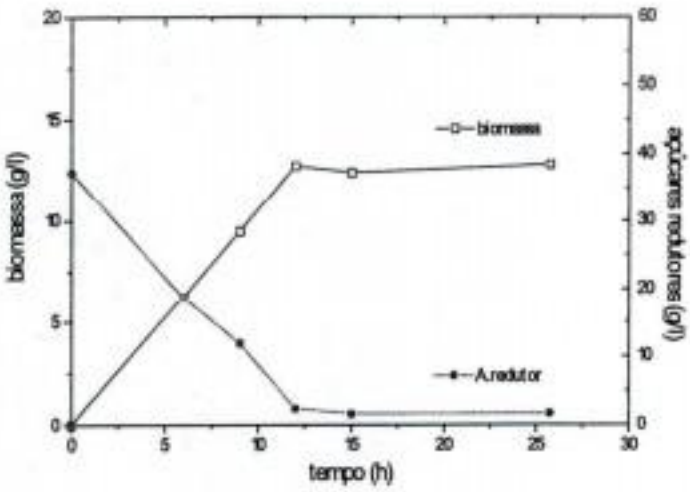


Figura 6.2
Produção de biomassa e teor de açúcares redutores residuais da manipueira durante o cultivo de *Geotrichum fragrans*

Pela Figura 6.1 observa-se que o microrganismo consumiu quase todo açúcar redutor antes de 12 h de cultivo. Durante este período a curva de açúcares totais seguiu a mesma tendência, mas após 12 h de cultivo a curva praticamente se estabilizou, demonstrando que o consumo de açúcares é paralisado no momento em que há o esgotamento do meio em açúcares redutores assimiláveis pelo microrganismo.

A Figura 6.2 mostra que o final da fase de aumento da biomassa coincide com a paralisação do consumo dos açúcares redutores do meio, evidenciando ainda mais que o microrganismo só consome esses açúcares da manipueira.

Considerando o consumo de nitrogênio, na Figura 6.3 é apresentada a curva obtida no cultivo de *Geotrichum fragrans* em manipueira.

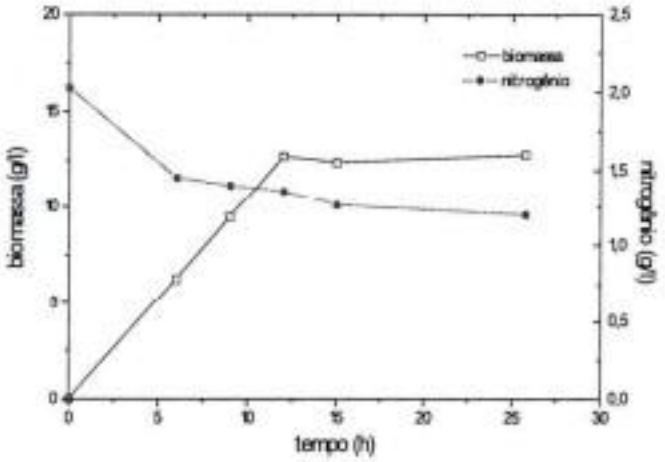


Figura 6.3
Concentração de nitrogênio total residual na manipueira durante o cultivo de *Geotrichum fragrans*

A curva de consumo de nitrogênio total demonstra que o consumo máximo esteve próximo de 41%, indicando com isso que, nas condições do ensaio, o microrganismo não chegou a exaurir o nitrogênio da manipueira. Dessa maneira o cultivo de *Geotrichum fragrans* em manipueira dispensa a complementação do resíduo com nitrogênio, que é uma vantagem tendo em vista os custos das fontes de nitrogênio.

Na Figura 6.4 apresentam-se os resultados referentes à redução da carga orgânica (DQO) da manipueira pelo cultivo com *Geotrichum fragrans.*

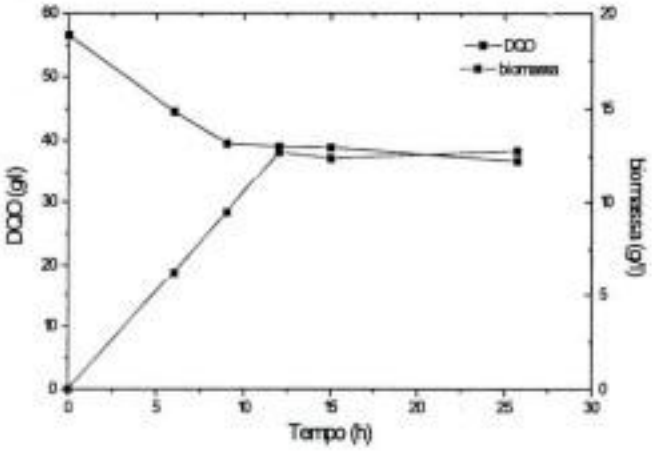


Figura 6.4
Relação entre DQO e produção de biomassa de *Geotrichum fragrans* em manipueira

Pela Figura 6.4 pode-se observar que a redução da DQO pelo *Geotrichum fragrans* pode chegar a 40% em cerca de 12 horas, a qual do ponto de vista da redução da poluição ambiental é considerada baixa. Tal taxa de eficiência decorre da característica inerente ao microrganismo de só consumir açúcares redutores, deixando no meio os demais açúcares e metabólitos que contribuem para a DQO remanescente do processo de fermentação. Maiores taxas de redução poderiam ser possíveis talvez pela hidrólise dos açúcares não-redutores convertendo-os em açúcares redutores, metabolizáveis pelo *Geotrichum fragrans*.

O cultivo do *Geotrichum fragrans* para redução da carga orgânica da manipueira talvez se justificaria se estivesse associado a uma outra aplicação, tal como produção de compostos de aroma.

6.4. COMPOSTOS DE AROMA PRODUZIDOS POR *GEOTRICHUM FRAGRANS* EM MANIPUEIRA

Os compostos de aroma produzidos por *Geotrichum fragrans* em manipueira são apresentados na Tabela 6.2.

TABELA 6.2
Compostos de aroma produzidos por *Geotrichum fragrans* em manipueira

Composto	Natureza
Acetato de etila	Éster
1-butanol	Álcool
Propionato de etila	Éster
3-metil 1-butanol (álcool isoamílico)	Álcool
2-metil 1-butanol	Álcool
Ácido 2-metil propanóico	Ácido
2-metil propionato de etila (isobutirato de etila)	Éster
1-3 butanodiol	Álcool
Feniletanol	Álcool

Os compostos voláteis identificados como produzidos por *Geotrichum fragrans* em manipueira (acetato de etila, 1-butanol, propionato de etila, 3-metil 1-butanol, 2-metil 1-butanol, 2-metil propionato de etila, ácido 2-metil propanóico, 1-3 butanodiol e feniletanol) confirmam as informações da literatura que indicam o *Geotrichum* como um gênero produtor, principalmente, de compos-

tos pertencentes à classe dos ésteres, alcoóis e ácidos e produtor de aromas de frutas (Janssens et al, 1992). Essa informação justifica o aroma de fruta madura identificado em indústrias de processamento de mandioca.

Inúmeros dos compostos voláteis formados por *Geotrichum fragrans* em manipueira já foram relatados em diversas frutas (Nursten, 1970), entre os quais encontram-se:

banana: acetato de etila, 1-butanol, 2-metil 1-butanol

laranja: acetato de etila, 1-butanol, 3-metil 1-butanol e propionato de etila

maçã: acetato de etila, 1-butanol, 2-metil 1-butanol, propionato de etila e 2-metil propionato de etila

morango: acetato de etila, 1-butanol, 2-metil 1-butanol, propionato de etila e 2-metil propionato de etila.

Nos ensaios de produção de compostos de aroma avaliou-se o efeito da fonte de carbono na quantidade e no perfil qualitativo dos compostos formados, utilizando-se frutose e glicose na complementação da manipueira (Tabela 6.3).

TABELA 6.3
Concentração de compostos de aroma produzidos por *Geotrichum fragrans* em manipueira complementada com glicose e frutose

Composto	Tratamento M+G	M+F
Acetato de etila (mg/L)	11,91	9,10
1-butanol (mg/L)	6,96	5,36
Propionato de etila (mg/L)	13,12	9,29
3-metil 1-butanol (mg/L)	89,54	85,74
2-metil 1-butanol (mg/L)	26,35	24,27
Feniletanol (mg/L)	19,08	17,67

M+G: manipueira+glicose (50 g/L)
M+F: manipueira+frutose (50 g/L)

Os resultados demonstraram que as fontes de carbono testadas praticamente não afetaram a produção dos compostos voláteis identificados, indicando que a complementação da manipueira pode ser realizada com glicose ou frutose. Cabe salientar que quando cultivado em manipueira sem complementação de carbono o microrganismo exalou o mesmo aroma, no entanto com pequena intensidade, justificando então o aumento de carbono para produzir compostos de aroma em maiores concentrações.

Variaçõcs nas concentrações das fontes de carbono adicionadas na manipueira foram testadas, utilizando-se 30, 60 e 90 g/L de complementação. As curvas de produção dos compostos voláteis apresentaram respostas diferentes aos aumentos da concentração de carbono, indicando que estudos de otimização da produção devem ser específicos para cada composto. Além disso estudos da utilização de precursores dos compostos também deveriam ser realizados para avaliar o efeito sobre a quantidade produzida e assim contribuir para a viabilização econômica desta alternativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMSTRONG, D.W.; BROWN, L.A. Aliphatic, aromatic and lactone compounds. In: GABELMAN, A. Bioprocess production of flavor, fragrance and color ingredientes. New York: John Wiley, 1994. p.41-94.

FARBOOD, M.I. Micro-organisms as a novel of flavour compounds. Biochem. Soc. Trans., v.19, n.3, p.690-694, 1991.

FERON, G., BONNARME, P., DURAND, A. Prospects for the microbial production of food flavours. Trends Food Sci. Technol., v.7, p. 285-293, 1996.

GATIFIELD, I.L. Production of flavor and aroma compounds by biotechnology. Food Technol., n.10, p.110-122, 1988.

GATIFIELD, I.L. Enzymatic and microbial generation of flavors. Perfum. Flavor., v.20, n.9/10, p.5-14, 1995.

HADAR, Y.; DOSORETZ, C.G. Mushroomm mycelium as a potential source of food flavour. Trends in Food Sci. Technol.. n.9, p.214-218, 1991.

HEATH, h.b.; reineccius, g. Biogenesis of flavor in fruits and vegetables. In: Flavor chemistry and technology. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1986, p.43-70.

JANSSENS, L.; DE POOTER, H.L.; SCHAMP, N.M.; VANDAMME, E.J. Production of flavours by microorganisms. Process Biochem., v.27, p.195-215, 1992.

KRINGS, U., BERGER, R.G. Biotechnological production of flavours and fragrances. Appl. Microbiol. Biotechnol., Heidelberg; v.49, p.1-8, 1998.

LUGAY, J.C. Biogeneration of aromas. an industrial perspective. In: Parliment, T.H, Croteau, R. (Ed.) Biogeneration of aromas. Washington: American Chemistry Society, 1986. p.11-17. (Symposium Series. 317)

NURSTEN, H.E. Volatile compounds: the aroma of fruits. In: Hulme, a C. (Ed) The biochemistry of fruits and their products. Londres: Food Science and Technology, 1970. p.239-267. (Series of Monographs)

SCHARPF, L.G.; SEITZ, E.W.; MORRIS, J.A.; FARBOOD, M.I. Generation of flavor and odor compounds through fermentation processes. In: Parliment, T.H.; Croteau, R. (Ed.)

Biogeneration of aromas. Washington: American Chemistry Society. 1986. p.323-346. (Symposium Series, 317)

TYRRELL, M. Advances in natural flavors and materials. Perfum. & Flavor. v.20, n.1/2, p.13-21, 1995.

WELSH, F.W. Overview of bioprocess flavor and fragrance production. In: GABELMAN, A. Bioprocess production of flavor, fragrance and color ingredientes. New York: John Wiley, 1994. p.1-17.

CAPÍTULO 7

SOBREVIVÊNCIA DE *XANTHOMONAS AXONOPODIS* PV. *MANIHOTIS* EM MANIPUEIRA

Gustavo de Faria Theodoro[1]
Antonio Carlos Maringoni[2]

7.1. INTRODUÇÃO

A cultura da mandioca é largamente empregada na agropecuária, tendo um importante papel no desenvolvimento econômico de diversas regiões brasileiras. Seu emprego na agroindústria para obtenção de fécula c/ou farinha gera diversos subprodutos, dentre eles a manipueira.

Existem relatos do emprego deste resíduo em fertirrigação de lavouras de mandioca e de outras culturas, além do controle de nematóides e de pragas agrícolas.

Entretanto, o conhecimento da sobrevivência de *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis*, agente causal da "Bacteriose da Mandioca", na manipueira e suas implicações na disseminação desse patógeno é extremamente importante para se evitar a re-infestação desta bactéria em campos de produção de mandioca, uma vez que raízes infectadas podem ser processadas e seu resíduo aplicado no campo.

7.2. ASPECTOS DA CULTURA E DA UTILIZAÇÃO DA MANIPUEIRA

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma cultura de elevado interesse econômico mundial, tendo em vista sua ampla utilização na agropecuária, grande adaptação a condições edafo-climáticas e a sua produção de fécula por uni-

[1] e [2] - Departamento de Produção Vegetal - Faculdade de Ciências Agronômas - UNESP - Botucatu-SP, e-mail: theodorogf@uol.com.br; maringoni@fca.unesp.br

dade de área, além de apresentar um importante caráter de subsistência (CONCEIÇÃO, 1987).

Historicamente, o Brasil é um dos maiores produtores de mandioca do mundo, juntamente com a Tailândia, o Zaire e a Indonésia. Também é responsável por uma das maiores áreas cultivadas do mundo, com um dos melhores rendimentos por unidade de área (REIS, 1987). A região Nordeste é responsável pela maior produção brasileira de mandioca seguida pela região Sul, Norte, Sudeste, e Centro-Oeste. Na região Sudeste, o Estado de Minas Gerais é líder na produção de mandioca (860 mil toneladas), seguido pelo Estado de São Paulo (563 mil toneladas). A produção brasileira de mandioca foi estimada em cerca de 20,22 milhões de toneladas em 1998, em uma área de 1,55 milhões de hectares (AGRIANUAL, 1999).

O processamento de raízes da mandioca para produção de farinha ou fécula gera grande quantidade de resíduos, como casca, água residual ou manipueira e farelo ou massa (TAKAHASHI, 1987). Conforme FIORETTO (1987), a cada tonelada de raiz de mandioca processada, são gerados cerca de 250 litros de manipueira, destinados geralmente a tanques de decantação.

A manipueira apresenta características químicas e orgânicas que possibilitam sua ampla utilização na agricultura. VIEITES & BRINHOLI (1994) observaram, até 15 dias após a aplicação de manipueira no solo cultivado com mandioca, eficácia no controle de plantas daninhas, principalmente carrapicho (*Cenchrus echinatus* L.), picão preto (*Bidens pilosa* L.), caruru (*Amaranthus lividus* L.) e trapoeraba (*Commelina virginica* L.).

FIORETTO (1985) verificou que a aplicação de manipueira, via irrigação, em lavouras de mandioca proporcionou um aumento no teor de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo e a sua viabilidade no controle de plantas daninhas. Além da aplicação da manipueira em lavouras de mandioca, FIORETTO (1987) também recomendou a sua aplicação através de fertirrigação em lavouras de algodão e milho, com algumas restrições.

Existem relatos de excelente eficácia da manipueira como nematicida, podendo ser empregada diretamente em solos infestados com nematóides, principalmente os do gênero *Meloidogyne*. Neste caso, a manipueira poderia ser estocada em até 3 dias após sua extração, sem perder seu poder nematicida (PONTE *et al.*, 1987; FRANCO *et al.*, 1990; PONTE, 1992).

A ação inseticida da manipueira também foi descrita por PONTE (1992), podendo ser empregada eficientemente no controle de cochonilhas de carapaça marrom (*Coccus hesperidium* L.), das lagartas das passifloráceas (*Agraulis* spp.),

de duas importantes pragas da citricultura, o pulgão preto (*Toxoptera citricidus* - Kirk) e a cochonilha escama-farinha (*Pinnaspis aspidistrae* - Sing), e da traça do tomateiro (*Scrobipalpula absoluta* - Meirik).

7.3. MURCHA BACTERIANA DA MANDIOCA E MEDIDAS DE CONTROLE

Dentro dos fatores limitantes de produção da cultura da mandioca destacam-se as doenças, onde a "Murcha Bacteriana da Mandioca" ou a "Bacteriose da Mandioca" é considerada a mais importante. Os prejuízos causados dependem da variedade utilizada, podendo variar de 50 a 100% nas suscetíveis e de 5 a 7 % nas resistentes, em condições ambientais favoráveis (LOZANO & BOOTH, 1974; TAKATSU *et al.*, 1978; DANIEL & BOHER, 1978; DEDAL *et al.*, 1980; DANIEL & BOHER, 1981; ELANGO & LOZANO, 1981; MARTINEZ & PRATES, 1983; LOZANO, 1986; MASSOLA JR. & BEDENDO, 1997).

O agente causal da Bacteriose foi inicialmente definido como *Bacillus manihotis* Arthaud – Berthet e posteriormente *Phytomonas manihotis* (Arthaud – Berthet & Bondar) Viegas. Depois foi denominada *como Xanthomonas manihotis* (Arthaud – Berthet) Starr, seguido por *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* e atualmente *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* (YOUNG *et al.*, 1996).

A bacteriose foi descrita pela primeira vez no Brasil, por BONDAR (1912), em lavouras do Estado de São Paulo e atualmente encontra-se disseminada em todas as regiões produtoras do mundo, dentre elas vários países africanos, Venezuela, Colômbia e demais países da América do Sul (LOZANO & BOOTH, 1974; ROMEIRO, 1995).

Os sintomas da bacteriose em plantas de mandioca são caracterizados por lesões foliares, murcha, exudação de goma, necrose vascular, desfoliação, morte descendente e emissão de brotos na parte basal da planta. O sintoma primário, resultado do plantio de material vegetativo infectado, é a murcha das folhas jovens seguido de morte da planta. Os sintomas secundários são ocasionados pela colonização das plantas estabelecidas na lavoura e são caracterizados por lesões foliares encharcadas e poligonais, seguido de colonização vascular com exudação de goma de pecíolos, lesões foliares e do próprio caule e escurecimento dos feixes vasculares com posterior apodrecimento das raízes (LOZANO & BOOTH, 1974; DANIEL & BOHER, 1978; LOZANO, 1986). É comum observar sintomas de escurecimento nos feixes vasculares das raízes de plantas infectadas que não se deterioraram.

Os sintomas foliares produzidos pela *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* estão sendo associados à produção de toxinas, como a 3(methylthio) ácido propiônico, e ao seu muco extracelular, composto de glicose, manose e ácido glucurônico (IKOTUN, 1984; PERREAUX *et al.*, 1986).

Um estudo realizado por CHERIAN & MATHEWS (1981) demonstrou que conforme a idade das plantas de mandioca aumenta, a incidência da bacteriose decresce. O máximo de infecção foi observada em plantas de um mês de idade e a menor infecção em plantas a partir de 8 meses.

X. axonopodis pv. *manihotis* pertence à família Pseudomonadaceae, caracterizada como bastonete Gram negativo, móvel por um único flagelo polar, aeróbio restrito, não fermenta glicose nem produz pigmentos amarelos em meio de cultura, não utiliza asparagina como única fonte de carbono e mostra reação negativa no teste de oxidase de Kovacs (MASSOLA JR. & BEDENDO, 1997).

O epifitismo na superfície do limbo foliar de mandioca é uma característica de suma importância para a sobrevivência de *X. axonopodis* pv. *manihotis*, onde plantas sem apresentar sintomatologia típica da doença pode conter uma concentração bacteriana nas folhas suficiente para assegurar a infecção e disseminação do patógeno em condições ambiente favoráveis (PERSLEY, 1978; DANIEL & BOHER, 1978).

Há relatos de sobrevivência de *X. axonopodis* pv. *manihotis* em plantas daninhas, que ocupam papel de hospedeiras intermediárias, sendo importantes na reinfestação de áreas produtoras. DEDAL *et al.* (1980) descreveram a *Manihot glaziovii* Muell. Arg., a *Euphorbia pulcherrima* Willd. e a *Pedilanthus tithymaloides* (Linn.) Poit. como hospedeiras intermediárias, todas da família *Euphorbiaceae*. Observou-se, em folhas de *Euphorbia repanda*, sobrevivência por 12 dias e reação de hipersensibilidade à *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* (IKOTUN,1981). Entretanto, ABREU *et al.* (1979) não verificaram a sobrevivência desta bactéria em diversas plantas invasoras na região do Sul de Minas Gerais.

A capacidade de sobrevivência de *X. axonopodis* pv. *manihotis* é relativamente curta em restos de cultura incorporados ao solo, partes vegetais infectadas e quando é diretamente infestada no solo, sendo respectivamente de 21, 90 e 11 dias. Nesse período pode ocorrer disseminação e consequentemente infecção secundária em lavouras de mandioca (CHERIAN & MATHEW, 1983). Já nas condições ambientais da Venezuela, mutantes de *X. axonopodis* pv. *manihotis*, resistentes ao antibiótico rifocina, foram capazes de serem isolados em laboratório por 240 dias de restos vegetais incorporados ao solo (MARCANO & TRUJILLO, 1984). Em condições controladas, IKOTUN (1982) pôde verificar

a sobrevivência desta bactéria por 28 dias em solo não esterilizado e por 35 dias em solo esterilizado, onde a sua longevidade decresceu de acordo com o aumento da acidez destes solos.

A sobrevivência de *X. axonopodis* pv. *manihotis* pode ocorrer em sementes, flores e frutos de plantas de mandioca (PERSLEY, 1979; DANIEL & BOHER, 1981). DANIEL & BOHER (1985) ressaltam como mais importante a sua viabilidade em insetos, discordando de LOZANO & SEQUEIRA (1974), onde afirmam que se insetos transmitissem esta bactéria na Colômbia, os mesmos não seriam capazes de se locomoverem por mais de 10 m da fonte de inóculo.

A disseminação da bacteriose ocorre principalmente através do emprego de material propagativo infectado (manivas), responsável pela infestação de novas áreas. Possivelmente, a bacteriose foi introduzida na África, na Ásia e se expandiu dentro da América Latina desta forma. Entre campos e áreas produtivas, o meio mais importante de disseminação é a ação dos respingos de chuva e ferramentas contaminadas. O movimento do homem dentro da lavoura durante ou após as chuvas também pode contribuir para a disseminação da bacteriose.

O controle desta doença está baseado principalmente na combinação de práticas culturais, resistência varietal e métodos de controle biológico, tais como uso de material propagativo sadio, identificação e eliminação de plantas doentes ou dos focos no início da infecção, eliminação completa dos restos de cultura e das plantas remanescentes após a colheita, rotação de 6 meses a 1 ano para eliminar a bactéria do solo (TAKATSU, 1981; LOZANO & SEQUEIRA, 1973; LOZANO, 1986).

Conforme MOREIRA *et al.* (1977), o método de cultivo de meristemas é o meio mais adequado e seguro para a introdução de materiais vegetativos de mandioca nos bancos de germoplasma das regiões onde a bacteriose se encontra na forma endêmica. Este método vem possibilitar a obtenção de materiais básicos livres de *X. axonopodis* pv. *manihotis* para multiplicação mesmo que a planta esteja intensamente contaminada, pois suas gemas e meristemas estão livres desta bactéria.

Segundo LOZANO & LABERRY (1982), o melhor método de controle da bacteriose da mandioca é o uso de variedades resistentes. A resistência à bacteriose parece ser uma característica de herança quantitativa, intensamente controlada por fatores genéticos aditivos e muito efetiva para minimizar os danos provocados pela *X. axonopodis* pv. *manihotis*. A seleção de plantas é um método efetivo no incremento de resistência sem sacrificar a capacidade produtiva da mandioca (UMEMURA & KAWANO, 1983).

Inúmeros trabalhos relatam o comportamento de variedades e introduções de mandioca frente a *X. axonopodis* pv. *manihotis*, enquanto outros tentam cor-

relacionar o fator de resistência a alguma característica botânica e/ou bioquímica da planta.

A penetração desta bactéria em plantas de mandioca ocorre principalmente através de estômatos (LOZANO & SEQUEIRA, 1974) e não existe correlação entre a resistência de variedades com o número de estômatos por unidade de área, mas sim com as dimensões da abertura estomatal, sendo que variedades resistentes e medianamente resistentes apresentam aberturas estomatais menores que aquelas encontradas nas suscetíveis (FUKUDA & ROMEIRO, 1984). Em três anos consecutivos, avaliando-se a resistência de 26 variedades de mandioca, FUKUDA *et al.* (1983) não encontraram correlação entre os teores de fenóis totais do caule, folhas e pecíolos com resistência varietal de mandioca a *X. axonopodis* pv. *manihotis*. Também não foi possível correlacionar teor de ácido cianídrico de hastes, folhas e caules de mandioca ao mecanismo pré-infeccional de resistência a este patógeno (FUKUDA *et al.*, 1985).

Todos os trabalhos que analisam o comportamento de variedades de mandioca à bacteriose relatam que somente algumas são resistentes ou medianamente resistentes, demonstrando a elevada agressividade e importância da *X. axonopodis* pv. *manihotis* (ROMEIRO, 1995). PERIM *et al.* (1980) avaliaram 242 variedades de mandioca e concluíram que 1,7% foram resistentes, 3,7% medianamente resistente, 20,2% medianamente suscetíveis e 74,4% suscetíveis à bacteriose. Em condições de campo, analisando-se durante 3 anos 270 variedades de mandioca, FUKUDA et al. (1984) observaram que somente 3,3% eram resistentes, 17,4% apresentavam resistência intermediária e 79,3% foram suscetíveis. Entretanto, SOUZA *et al.* (1981) analisou 56 variedades, em condições de casa-de-vegetação e realizando-se reinoculação para se obter maior garantia, obtendo 12,5% variedades resistentes e 21,4% medianamente resistentes.

Empregando o método de inoculação dos ponteiros de plantas de mandioca com palitos imersos numa suspensão de *X. axonopodis* pv. *manihotis*, MIURA *et al.* (1979) avaliaram o comportamento de 37 cultivares de mandioca em condições de campo em Santa Catarina. Concluiu-se que somente duas cultivares (Orizon S.2-573 e a IAC-105-66) foram altamente resistentes, duas resistentes (Vassourinha J.C.2 e a Mantiqueira) e três moderadamente resistentes (S-4-372, S.4.104 e Branca de Santa Catarina). Ainda em Santa Catarina, MIURA *et al.* (1990) realizaram ensaios de seleção de germoplasma de mandioca visando resistência a *X. axonopodis* pv. *manihotis*, sendo que dos 461 genótipos analisados, 61 foram selecionados como promissores. Contudo, existem variedades recomendadas para cada região, sendo elas, entre outras, a Mico, Ouro do Vale,

Paineira-A 193, Mamão (IPEAL), Sem nome (Mato Grosso), Rio Casca, Aipim 3 meses, Sonora, Engana Ladrão, Manjari, Mantiqueira, Aipim Bravo Branco e Cavalo (PERIM *et al.*, 1980; SOUZA *et al.*, 1981; FUKUDA et al., 1984; MASSOLA JR. & BEDENDO, 1997).

7.4. SOBREVIVÊNCIA DE *X. AXONOPODIS* PV. *MANIHOTIS* EM MANIPUEIRA

O emprego de raízes de mandioca colonizadas por *X. axonopodis* pv. *manihotis* no processo de fabricação de farinha e/ou fécula pode gerar manipueira com a presença desta bactéria.

Consequentemente, a utilização desta manipueira contaminada via fertirrigação poderia ocasionar a disseminação da bactéria na lavoura, a infestação do solo, da parte aérea de plantas de mandioca e de ervas daninhas, além de ocasionar a sobrevivência epífita da bactéria em suas folhas e o aumento do potencial de inóculo na área fertirrigada. Não existem relatos na literatura da possível sobrevivência da *X. axonopodis* pv. *manihotis* em manipueira.

Por esta razão, alguns estudos estão sendo desenvolvidos para avaliar a sobrevivência de *X. axonopodis* pv. *manihotis* em manipueira de fecularia, submetidas a várias temperaturas de incubação.

Pôde-se verificar que a bactéria sobreviveu por um período máximo de 48 horas, após a infestação da manipueira, incubada a 15°C. Nas demais temperaturas de incubação (20, 25, 30 e 35°C) não foi possível isolar a bactéria em meio de cultura semi-seletivo, após 24 horas de incubação (Figura 7.1). Observou-se uma queda drástica da população bacteriana em todas as condições de temperatura de incubação (THEODORO, G.F. & MARINGONI, A.C. dados não publicados; THEODORO & MARINGONI, 2000).

Esse comportamento foi atribuído às alterações químicas que ocorreram na manipueira, com o decorrer da incubação, por decorrência de sua fermentação, uma vez que foi possível observar a redução no pH e o aumento da acidez total deste resíduo. Essas alterações de pH e acidez total torna o ambiente desfavorável para a sobrevivencia de *X. axonopodis* pv. *manihotis* na manipueira. Na menor temperatura de incubação (15°C), a fermentação ocorreu de forma mais lenta, favorecendo a sobrevivência da bactéria por um período maior (THEODORO, G.F. & MARINGONI, A.C., dados não publicados; THEODORO & MARINGONI, 2000).

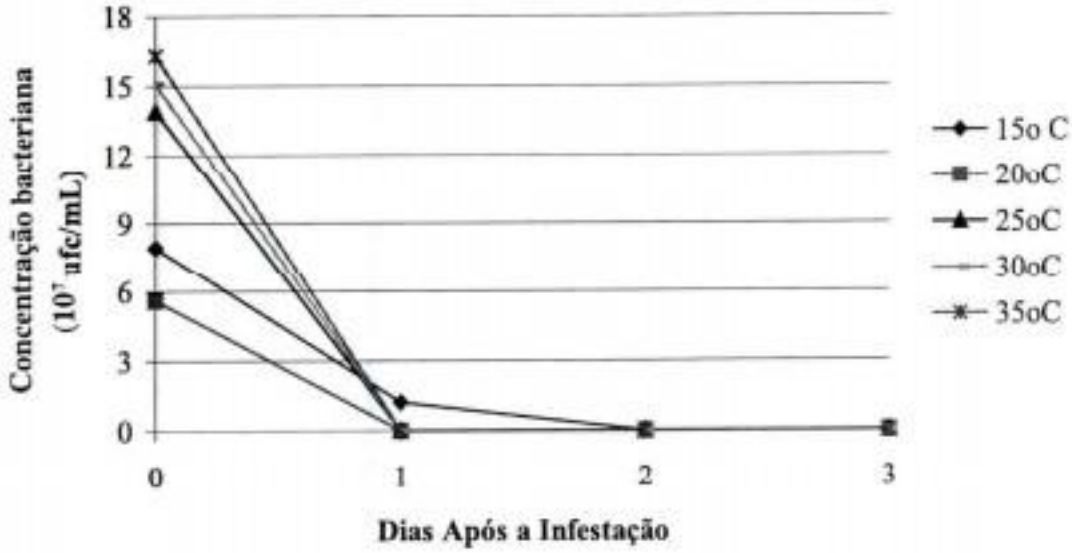


Figura 7.1
Sobrevivência de *X. axonopodis* pv. *manihotis* em manipueira, sob diferentes condições de temperatura de incubação. Fonte: THEODORO, G.F. & MARINGONI, A.C. (dados não publicados); THEODORO & MARINGONI (2000).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.S.; TANAKA, M.A.S.; PEREIRA, S.C.; AGUIAR, F.F.A. Avaliação do comportamento de ervas daninhas como fator de sobrevivência da "requeima da mandioca", causada por *Xanthomonas manihotis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 1, 1979. Anais ..., Salvador: 1979. p.429-430.

AGRIANUAL 99: anuário da agricultura brasileira, p. 356, 1999.

BONDAR, G. Uma nova moléstia bacteriana das hastes da mandioca. Chácaras e Quintais, São Paulo, v.5, p.15-18, 1912.

CHERIAN, M.T.; MATHEW, J. Influence of age of plants on cassava bacterial blight incidence and development. Agric. Res. J. Kerala, v.19, n.1, p.116-117, 1981.

CHERIAN, M.T. & MATHEW, J. Survival studies on the cassava bacterila blight pathogen *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*. Indian Phytopathol., v.36, p.291-293, 1983.

CONCEIÇÃO, A.J. A mandioca. São Paulo: Nobel, 1987. 382 p.

DANIEL, J.F. & BOHER, B. Contamination of cassava flowers, fruits and seeds by *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PLANT PATHOGENIC BACTERIA, 5, 1981, Cali. Proceedings .... Cali: 1981. p. 614-617.

DANIEL, J.F.; BOHER, B. Ecology of cassava bacterial blight: epiphytic survival of *Xanthomonas manihotis* on aerial parts of the cassava plant. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PLANT PATHOGENIC BACTERIA, 4, Angers. Proceedings ... France: 1978. p. 763-771.

DANIEL, J.F.; BOHER, B. Etude des modes de survie de l'agent causal de la bactériose vasculaire du manioc, *Xanthomonas campestris* pathovar *manihotis*. Agronomie, v.5, n.4, p.339-346, 1985.

DEDAL, O.I.; PALOMAR, M.K.; NAPIERE, C.M. Host range of *Xanthomonas manihotis* Starr, Ann. Trop. Res., v.2, p.149-155, 1980.

ELANGO, F.; LOZANO, J.C. Pathogenic variability of *Xanthomonas manihotis*, the causal agent of cassava bacterial blight. Fitopatol. Bras., v.6, p.57-65, 1981.

FIORETTO, R.A. Efeito da manipueira aplicada em solo cultivado com mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). 1985, 122 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

FIORETTO, R.A. Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a germinação e produção de algodão (*Gossypium hirsutum* var. *hirsutum*, L.) e milho (*Zea mays*, L.). Semina, v.8, n.1, p.17-20, 1987.

FRANCO, A.; PONTE, J.J.; SILVA, R.S.; SANTOS, F.A.M. Dosagem de manipueira para tratamento de solo infestado por Meloidogyne: II) segundo experimento. Nematol. Bras., v.14, p.25-32, 1990.

FUKUDA, C. & ROMEIRO, R.S. Estômatos e resistência de variedades de mandioca à bacteriose. Rev. Bras. Mandioca, v.3, p.27-31, 1984.

FUKUDA, C.; ROMEIRO, R.S.; TELES, F.F.F. Quantificação de fenóis totais em variedades de mandioca apresentando diferentes graus de resistência a bacteriose (*Xanthomonas campestris* pathovar *manihotis*). Fitopatol. Bras., v.8, p.179-184, 1983.

FUKUDA, C.; ROMEIRO, R.S.; TELES, F.F.F. & OLIVEIRA, J.S. Quantificação de ácido cianídrico em variedades de mandioca com diferentes graus de resistência a *Xanthomonas campestris* pathovar *manihotis*. Rev. Bras. Mandioca, v.4, p.81-87, 1985.

FUKUDA, C.; ROMEIRO, R.S. & FUKUDA, W.M.G. Avaliação de resistência de cultivares de mandioca a *Xanthomonas campestris* pathovar *manihotis*. Rev. Bras. Mandioca, v.3, p.7-12, 1984.

IKOTUN, T. The nature and function of the extracellular polysccharide produced by *Xanthomonas campestris* pathovar *manihotis*. Fitopatol. Bras., v.9, p.467-473, 1984.

IKOTUN, T. Studies on the host range of *Xanthomonas manihotis*. Fitopatol. Bras., v.6, p.15-21, 1981.

IKOTUN, T. The survival of *Xanthomonas manihotis* (Arthaud-Berther) Starr in the soil. Fitopatol. Bras., v.7, p.29-36, 1982.

LOZANO, J.C. & BOOTH, R.H. Diseases of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). PANS, v. 20, p.30-54, 1974.

LOZANO, J.C.; LABERRY, R. Screening for resistance to cassava bacterial blight. Plant Disease, v.66, n.4, p.316-318, 1982

LOZANO, J.C.; SEQUEIRA, L. Bacterial blight of cassava in Colombia: epidemiology and control. Phytopathol., v.64, n.1, p.83-88, 1973.

LOZANO, J.C. Cassava bacterial blight: a manageable disease. Plant Disease, v.70, p.1089-1093, 1986.

MARCANO, M.; TRUJILLO, G. Perpetuacion de la bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* (Berthet y Bondar) Dyc. en el suelo atraves de restos de cosecha. Agron. Trop., v.34, p.7-19, 1984.

MARTINEZ, A.A.; PRATES, H.S. A bacteriose da mandioca. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, Campinas, Boletim Técnico 173, 1983, 12p.

MASSOLA JR., N.S.; BEDENDO, I.P. Doenças da mandioca. In: KIMATI, H.; AMORIN, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A.; REZENDE, J.A.M. (Ed.) Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas, São Paulo: Ed. Agron. Ceres, São Paulo, v.2, p.501-510, 1997.

MIURA, L.; FROSI, J.F.; MONDARDO, E.; TERNES, M. Seleção de germoplasma de mandioca resistente a *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* em Santa Catarina. Pesqui. Agropec. Bras., v.25, n.8, p.1209-1214, 1990.

MIURA, L.; TAKATSU, A. & TERNES, M. Resistência da mandioca à *Xanthomonas manihotis*, inoculadas nos ponteiros por palito, no baixo Vale do Itajaí, SC. Fitopatologia Brasileira, v.4, p.309-312, 1979.

MOREIRA, L.C.; TAKATSU, A.; CALDAS, L.S. Recuperação de plantas de mandioca livres de *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis* através de cultura de meristemas. Fitopatol. Bras., v.2, p.217-223, 1977.

PERIM, S.; TAKATSU, A.; FUKUDA, C. Triagem de variedades de mandioca visando resistência à bacteriose. Fitopatol. Bras., v.5, p.21-24, 1980.

PERREAUX, D.; MARAITE, H.; MEYER, J.A. Detection of 3 (methylthio) propionic acid in cassava infected leaves by *Xanthomonas campestris* pv. *manihotis*. Physiol. Mol. Plant Pathol., v.28, p.323-328, 1986.

PERSLEY, G.J. Epiphytic survival of Xanthomonas manihotis in relation to the disease cycle of cassava bacterial blight. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF PLANT PATHOGENIC BACTERIA, 4, Angers, Proceedings ..., France: 1978. p. 773-777.

PERSLEY, G.J. Studies on the survival and transmission of *Xanthomonas manihotis* on cassava seed. Ann. Appl. Biol., v.93, p.159-166, 1979.

PONTE, J.J. Histórico das pesquisas sobre a utilização da manipueira (extrato líquido das raízes de mandioca) como defensivo agrícola. Fitopatol. Venezuel., v.5, n.1, p.2-5, 1992.

PONTE, J.J.; FRANCO, A.; PONTES, A.E.L. Estudo sobre a utilização da manipueira, como nematicida, em condições de campo. Nematol. Bras., v.11, p.43-47, 1987.

REIS, A.J. Aspectos econômicos da mandioca. Inf. Agropec., v.13, n.145, p.3-8, 1987.

RESTREPO, S. & VERDIER, V. Geografical differentiation of the population of *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* in Colombia. Appl. Environ. Microbiol., v.63, n.11, p.4427-4434, 1997.

ROMEIRO, R.S. Bactérias fitopatogênicas. Viçosa: Universidade Federalde Viçosa, Imprensa Universitária, 1995. 284p.

SOUZA, P.E.; CRUZ FILHO, J.; SILVEIRA, A.J. Sensibilidade de *Xanthomonas manihotis* a antibióticos e avaliação da resistência de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) à bacteriose. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 1, Salvador. Anais ..., Salvador: 1979. p.425-427.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. Inf. Agropec., v.13, n.145, p.83-87, 1987.

TAKATSU, A. Epidemiologia e perspectivas de controle de Xanthomonas manihotis no Brasil. Fitopatol. Bras., v.6, p.308-309, 1981. [Abstract]

TAKATSU, A.; FUKUDA, C.; PERIN, S. Epidemiological aspects of bacterial blight of cassava in Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DISEASES OF TROPICAL FOODS CROPS, Louvain-la Neuve, Proceedings ..., Belgium: 1978.

THEODORO, G.F., MARINGONI, A.C. Sobrevivência de *Xanthomonas axonopodis* pv. *manihotis* em manipueira. I - Plaqueamento em ágar. Fitopatol. Bras., v.25, p.333, 2000. (Suplemento)

UMEMURA, Y.; KAWANO, K. Field assessment and inheritance of resistance to cassava bacterial blight. Crop Sci., v.23, p.1127-1132, 1983.

VIEITES, R.L.; BRINHOLI, O. Efeito da manipueira, em condições de campo, na emergência de brotos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e no controle de plantas daninhas. Energ. Agric., v.9, n.4, p.29-33, 1994.

YOUNG, J.M.; SADDIER, G.S; TAKIKAWA, Y.; De BOER, S.H.; VAUTERIN, L.; GARDAN, L.; GVOZDYAK, R.I.; STEAD, D.E. Names of plant pathogenic bacteria 1864-1995. Rev. Plant Pathol., v.75, n.9, p.721-763, 1996.

CAPÍTULO 8

PRODUÇÃO DE BIOMASSA PROTÉICA A PARTIR DA MANIPUEIRA

Tobias José Barreto de Menezes[1]

8. 1. INTRODUÇÃO

A manipueira, resíduo líquido resultante do processamento da fécula e da farinha da mandioca, apresenta potencial poluidor reconhecidamente elevado. Avalia-se que para cada tonelada de mandioca processada nas fecularias são eliminados cerca de 1000 litros de água de lavagem e cerca de 300 litros de águas residuais, que são removidos em conseqüência da prensagem da massa, representando uma carga polucional de 1000mg/L e 50.000mg/L de demanda de oxigênio dissolvido, respectivamente (CABRAL,1971). Considerando-se a produção mundial de 165 milhões de toneladas de raiz, das quais 14%, parte são utilizadas na indústria e parte desperdiçadas BALOGUN, S.A. *et. al.* (2000), pode-se avaliar a gravidade do problema gerado pelo eventual despejo inadequado deste resíduo em mananciais aquáticos. Há vários procedimentos que podem ser usados para eliminar ou reduzir o grau poluidor desse resíduo. O descarte completo envolve o uso direto na fertirrigação, FIORETTO (1994) e como defensivo agrícola PONTE (1992).

No entanto, a bioconversão da matéria orgânica da manipueira, constituída principalmente por carboidratos fermentescíveis, em produtos úteis de maior valor agregado, inclui ácidos orgânicos, enzimas, vitaminas, polissacarídeos, antibióticos e proteína microbiana.

[1] Professor Doutor, Rua das Margaridas, 187 CEP: 17087-430, Chácara Primavera, Campinas-SP. E-Mail: tmenezes@mpc.com.br

8.2. PROTEÍNA MICROBIANA

O termo proteína microbiana, também conhecida como proteína monocelular, refere-se a células secas, inviáveis de microrganismos, tais como leveduras, bactérias, bolores e algas desenvolvidas em diferentes fontes de carbono. Há tempo, a preocupação com o crescimento populacional tem motivado diversos pesquisadores a estudar e desenvolver processos de produção que foram inicialmente empregados, em larga escala, durante a I e II Grande Guerra Mundiais. Durante a década de 60, a idéia de que a proteína microbiana poderia ser útil para os países em desenvolvimento em futura escassez de alimentos, impulsionou o interesse de pesquisa em institutos, universidades e indústria. Calcadas nas tendências atuais projetadas pelas Nações Unidas, haverá 8 bilhões de pessoas no Planeta por volta de 2015 e 10,5 bilhões em 2110, o que significa que durante o período de 35 anos (1980-2015) será preciso produzir a mesma quantidade de alimentos desde a aurora da agricultura há cerca de 12000 anos (MILLER, 1985).

O rápido crescimento, com elevada eficiência de conversão em proteína do microrganismo (Tabela 8.1), que pode ser geneticamente modificado, a independência do solo e clima para produção e a pouca poluição que gera são as principais vantagens do emprego da proteína microbiana. Porém, o elevado teor de ácidos nucléicos, a deficiência em lisina e metionina, a baixa digestibilidade da parede celular e a necessidade de matar as células antes do consumo prejudicam a utilidade da proteína monocelular (ISRAELIDIS, 2000, LOMER, 2000). Atualmente, há tecnologia para eliminar ou abreviar esses problemas mas que resultam em acréscimos no custo de produção. Ademais, a abundância de outras fontes de proteínas, como as das sementes oleaginosas, de preço baixo, também concorre para inviabilizar muitos processos de produção dessas proteínas. Exemplos desses insucessos foram a interrupção de produção na França, Grã-Bretanha e Itália de *Candida utilis ou C. tropicalis* desenvolvida em n-alcanos, produto denominado "TOPRINA", da British Petroleum e a interrupção da produção de "PRUTEEN", a partir da bactéria *Methylophilus methylotropha* pela ICI, que apresenta 72% de proteína, tendo sido autorizada a fabricação de 60000 toneladas/ano utilizando um único fermentador, no mundo (ISRAELIDIS, 2000).

TABELA 8.1
Eficiência de conversão em proteínas de diversas fontes

Fonte	Proteína por dia
Gado vacum	0,5kg
Feijão soja	50kg
Levedura	50 toneladas

Fonte: LOMER, 2000

Todavia, "TORUTEIN", da levedura Torula, vem sendo produzida pela Amoco, a partir do etanol e comercializada no Canadá e na Suécia em substituição à proteína da carne, do leite e do ovo. É potenciador do aroma, apresentando elevado valor nutritivo (ISRAELIDIS, 2000).

Para consumo humano, o maior êxito auferido em proteína microbiana é o "Quorn", marca de diversas alternativas de produtos cárneos utilizando micoproteína de *Fusarium graminearum*. É produzida pela Marlow Foods Ltda. da Grã-Bretanha, por processo contínuo, utilizando glicose, sais minerais e biotina em pH 6,0 a 30°C. O rendimento em micélio úmido é de 1kg a partir de 1kg de glicose, correspondendo a 135g de proteína. (LOMER, 2000). É comercializada na Grã-Bretanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Holanda, Alemanha, Suécia, Suíça, República da Irlanda e Taiwan, aguardando ainda aprovação da Food and Drug Adminstration (FDA) para ser empregada como aditivo alimentar nos Estados Unidos. A micoproteína contém aminoácidos essenciais, incluindo metionina e lisina, alcançando o valor 0,91 para Digestibilidade Protéica com Valor Corrigido de Aminoácidos. (Protein Digestibility Corrected Aminoacid Score.). É equivalente à proteína animal, e além de ser boa fonte de proteína, o produto apresenta baixo teor de gordura e boa fonte de fibra dietética. O consumo da micoproteína também mostrou reduzir os teores do colesterol total e do colesterol LDL (PSZCZOLA & GIESE, 1999).

8.3. PROTEÍNA MICROBIANA A PARTIR DE RESÍDUOS DE CARBOIDRATOS

Os resíduos que contêm teores adequados de carboidratos têm sido, com freqüência, considerados para a produção de proteína microbiana. Os resíduos sólidos como palhada de trigo e arroz, forragem, sabugo de milho e bagaço de cana-de-açúcar são utilizados por fermentação em substratos sólidos. Entre os

resíduos líquidos, soro de leite, licor sulfítico das fábricas de papel e celulose e resíduos de citros, entre outros, são empregados em fermentação líquida submersa. Embora muitas pesquisas ainda sejam realizadas com vários substratos, houve exemplos de processos que alcançaram êxito parcial mas foram abandonados devido ao custo elevado de recuperação e preço não-competitivo em relação a outras fontes de proteína: o Symba Ycast, na Suécia, que usa a levedura *Endomycopsis* para hidrolisar resíduo de amido de batata e a levedura "Torula" para transformar o amido hidrolisado em biomassa protéica (JARL, 1969); o processo "Pekilo", que utiliza licor sulfítico ou resíduo de amido (ROMANTSCHUK, 1975); e o processo de crescimento fúngico em lagoas de tratamento de resíduos de milho e soja (CHURCH *et. al.*,1972), são os mais conhecidos. LOMER (2000) cita como exemplo de processo comercial, o sistema Paskov da Tcheco-Eslováquia que desenvolve *Candida utilis* em resíduo de licor sulfítico da indústria de papel e celulose, empregando 3 fermentadores de 800m^3 para produzir 25000 toneladas de levedura por ano, com produtividade de 15, T/h.

Em resíduos líquidos de mandioca, BAGALOPAL & MANI (1977) estudaram a produção de biomassa fúngica em resíduos de processamento de sagu e amido de mandioca utilizando linhagens de *Aspergilllus niger, A oryzae* e de *Rhizopus sp.*, sendo algumas, de centros de coleção de culturas e outras isoladas localmente. Verificaram que as linhagens dos centros de coleção de culturas apresentaram teores de proteína que variavam de 7,7 a 12,2% e que a linhagem de *Rhizopus*, isolada em local de processamento, foi a que apresentou maior teor de proteína, 18% da biomassa. Observaram também que os rendimentos de biomassa e proteína foram maiores no resíduo do que em meio de amido puro.

8.4. MANDIOCA, RESÍDUO E SUBPRODUTOS PARA PRODUÇÃO DE PROTEÍNA MICROBIANA

Diversos trabalhos de pesquisa têm sido realizados no Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas, SP, visando à utilização de mandioca e resíduos de sua industrialização como substrato para a produção de biomassa protéica. Em um desses trabalhos, MENEZES *et al.* (1971/72) verificaram que leveduras amilolíticas poderiam se desenvolver no substrato de mandioca, sem hidrólise prévia, obtendo elevado teor protéico. Assim, *Schwanniomyces alluvius* desenvolveu- se na fécula de mandioca não hidrolisada, produzindo teor de proteina

de 31,5% em relação à matéria seca que se comparava com aquela obtida com *Rhodotorula gracilis*, desenvolvendo-se no mesmo substrato, porém, hidrolisado.

Posteriormente, SALES & MENEZES (1976) estabeleceram uma consorciação entre leveduras amiloliticas e *Candida utilis ou Rhodotorula gracilis* que melhor aproveitasse o açúcar e resultasse em maior teor de proteína. A consorciação de *Endomycopsis fibuligera* com *Candida utilis* foi a que apresentou melhor rendimento em biomassa. Empregou-se uréia como fonte de nitrogênio para essa consorciação, num meio contendo 30g/l de açúcares totais e obteve-se um rendimento em biomassa da ordem de 14,9%, com um teor de proteína de 56% na matéria seca.

SALES (1982),em tese de doutorado, estudou a produção de biomassa fúngica a partir de substratos de raspas e folhas de mandioca por fermentação semi-sólida, em comparação com fermentação submersa, visando à obtenção de produto para alimcntação animal. Em fermentação submersa, *Aspergillus niger* e *Rhizopus sp,* selecionados entre um total de sete linhagens, produziram concentração de biomassa superior a 18,5 g/1, teores de proteína de34% e eficiência de conversão de 0,56 a 0,61. Por fermentação semi-sólida do substrato de raspa de mandioca, o teor protéico da biomassa com *Rhizopus sp* foi de 9,64 expresso em base seca. A adição de folhas de mandioca desidratadas, na proporção de 16% do substrato, resultou no aumento do teor de proteína da biomassa fermentada de 4,74 para 13,74%, correspondendo a um acréscimo de 2,9, superior à quantidade existente antes da fermentação, enquanto o teor de HCN foi reduzido pela metade.

A manipueira, água de prensagem ou ainda água vegetal, que se obtém a partir do processamento, também foi objeto de estudo no ITAL (LAMO & MENEZES, 1979). Este resíduo poderá ter as seguintes utilizações por bioconversão:

UTILIZAÇÃO DA MANIPUEIRA

8.5. ALIMENTAÇÃO HUMANA

8.5.1. Fermentação submersa-liquida com *Endomycopsis capsulata* e *Shwanniomyces alluvius* com *Candida utilis;*

- Utilização direta da manipueira fermentada;
- Incorporação na massa de mandioca, antes da secagem, para produção de farinha enriquecida;

8.5.2. Fernentação semi-sólida.

8.6. ALIMENTAÇÃO ANIMAL

- Uso direto;
- Fermentação líquida submersa com fungos imperfeitos *(Gliocladium deliquescens)*;
- Fermentação semi-sólida.

8.7. SUBSTRATO EM MEIOS DE CULTURA PARA

- Produção de enzimas;
- Solventes orgânicos;
- Polissacarídeos (gomas);
- Vitaminas;
- Antibióticos.

O resíduo aquoso do processamento de mandioca é constituído pela água utilizada na lavagem e descascamento das raízes e pelo liquido resultante da sua prensagem (Figura 8.1). Como pode ser verificado na Tabela 8.2, este resíduo é altamente poluidor e por isso cogitou-se em utilizar fungos imperfeitos para o seu controle, segundo trabalho realizado por LAMO & MENEZES(1979).

FIGURA 8.1
Fluxograma de uma fábrica de processamento de mandioca.
Fonte: SALES & MENEZES (1976)

TABELA 8.2
Avaliação do grau polucional das águas do processamento da mandioca.

Análises	Mínimo	Máximo
PH	3,8	5,2
DQO (mg/L)	6.280	51.200
DBO (mg/L)	1.400	34.300
Sólidos totais (mg/L)	5.800	56.400
Sólidos solúveis (mg/L)	4.900	20.460
Sólidos em suspensão (mg/L)	950	1.6000
Sólidos fixos (mg/L)	1.800	20.460
Matéria orgânica (mg/L)	1.500	30.000
Açúcares redutores totais (mg/L)	2.800	8.200
Fosfato total (mg/L)	155	598
Nitrogênio total (mg/L)	140	1.150
Cinzas (mg/L)	350	800
Sólidos sedimentáveis (mg/L)	11	33
HCN (mg/L)	22,0	27,1

FONTE: LAMO & MENEZES (1979)

Inicialmente, procurou-se desenvolver algumas linhagens fúngicas em meio de cultura não-esterilizado e sem suplementação em frascos agitados.

Verificaram-se pequenas reduções dos índices polucionais, aliadas a pequena redução de biomassa que foram atribuídas à flora natural do resíduo (Tabela 8.3). Com esterilização, as linhagens de *Aspergillus niger* e *Gliocladium deliquescens* apresentaram bom desempenho (Tabela 8.4). A análise dos efluentes desses resíduos, após o tratamento fúngico em frascos agitados, mostra que *Gl.deliquescens* apresentou maior produção de micélio fúngico e maior decréscimo nos índices polucionais (Tabela 8.5).

TABELA 8.3
Desenvolvimento das linhagens do fungos em meio esterilizado e suplementado

Microrganismo	Reduções (%)		Massa seca (mg/L)
	DBO	DQO	
A. niger 2	*56*	*49*	*200*
Gl. deliquescens	45	54	220
T. viride	56	48	120
P. elegans	45	51	160
A. oryzae	54	58	200
Flora natural	48	51	-

FONTE: LAMO & MENEZES (1979).

A Tabela 8.6 mostra o desempenho deste fungo em fermentador de 30 litros. Nota-se que, mesmo com o meio esterilizado, há considerável elevação nos valores de pH, fato esse indesejável. Os valores de redução dos parâmetros apresentados pedem ser satisfatórios. A linhagem de *Gl. deliquescens* apresentou maior rendimento em relação à biomassa produzida e ao DQO consumido, apresentando reduções de 80% nos valores dos parâmetros polucionais. Todavia, o teor de proteína na biomassa de *Aspergillus oryzae* foi mais elevado do que o de *Gl. deliquescens.*

TABELA 8.4
Desenvolvimento das linhagens de fungos em meio esterilizado e suplementado

Microrganismo	pH FINAL	Reduções do DQO (%)	Massa seca (mg/l)
A. niger 2	*7,10*	*71,0*	*2.250*
Gl. deliquescens	7,1	75,0	2.450
T. vidide	7,2	33,0	1.800
P. elegans	7,0	64,0	2.000
A. oryzae 18	7,0	78,0	2.500

*Suplementação básica pH = 4,5

FONTE: LAMO & MENEZES (1979)

TABELA 8.5
Análise no efluente e na massa fúngica, antes e após o tratamento com linhagens de *Gl. deliquescens* e *A oryzae*

DETERMINAÇÕES	*Gl. deliquescens*			*A. oryzae*	
	Antes	Após	Redução (%)	Após	Redução (%)
PH	4,4	7,0	-	7,6	-
DBO*	34.300	7.100	79,3	8.500	75,2
DQO*	51.200	8.400	83,6	10.800	78,9
Sólidos totais*	56.460	11.100	80,3	20.600	63,5
Sólidos fixos*	20.460	4.860	76,2	8.960	56,2
Matéria orgânica*	30.000	6.240	79,2	11.640	61,2
Sólidos sedimentáveis*	33,3	0	100,0	0	100,0
Carboidratos*	8.200	3.000	63,0	3.600	56,1
Nitrogênio total*	1.150	530	53,9	194	83,1
Nitrogênio N-prot*	994	220	77,9	182	81,7
Fosfato total*	598,8	133,1	77,8	119,2	80,1
Massa fúngica	-	14000	-	6700	-
Proteína(%)	-	35,0	-	41,0	-

* (mg/mL)

FONTE: LAMO & MENEZES (1979).

TABELA 8.6
Análises químicas nas águas residuais de mandioca, antes e após o tratamento com *Gl. delsquescens*, realizadas em fermentador de 30L a 300 rpm., 30°C (min)$^{-1}$

Análises	Antes	Após	Redução %
pH	3,5	7,0	-
DQO*	15.000	5.000	66,7
DBO*	10.500	2.450	76,7
Sólidos totais*	18.200	7.000	76,7
Açúcares redutores totais*	7.000	1.980	71,8
Nitrogênio total*	800	250	69,0
Fosfato total*	430	150	65,0
Biomassa fúngica*	-	6,3	-

* (mg/ml)

FONTE: LAMO & MENEZES (1979)

8. 5. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sem dúvida, o fator preponderante que restringe a utilização mais ampla das proteínas microbianas é o econômico, como o alto custo de produção e a menor competitividade com relação às outras fontes de proteínas. De certo modo, essa situação muito se assemelha ao emprego do etanol como combustível, cuja viabilidade é tanto maior quanto menor for o preço do barril de petróleo. De fato, nos países do Leste Europeu, onde há escassez de subprodutos protéicos de grãos, como tortas e farelos de sementes oleaginosas, há maior utilização de proteína microbiana para alimentação animal. No entanto, outros critérios podem favorecer a sua exeqüebilidade no Brasil. Se no PROÁLCOOL a geração de empregos e o maior incentivo à indústria alcooleira impulsionam o Programa, a questão ambiental para produção de proteína microbiana de resíduos é relevante. No entanto, para tornar a proteína microbiana da manipueira mais competitiva, é imprescindível reduzir o custo de produção. Segundo a NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1979), para alcançar economia de escala é preciso que as instalações tenham, pelo menos, capacidade para 50000t/ano, a menos que seja operada como unidade de tratamento de resíduos em indústria de processamento de alimentos. Ademais, é necessário também que os carboidratos ou os resíduos, subprodutos e amidos que contenham açúcares estejam disponíveis nos países tropicais e semitropicais em quantidades suficientes para tornar o processo economicamente viável e que as concentrações de carboidratos nos resíduos devem ser elevadas, evitando-se o manuseio de grandes volumes de resíduos diluídos (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, 1979). Como a manipueira é constituída por água de lavagem das raízes e pelo líquido resultante de sua prensagem (Figura 8.1), o teor de carboidratos é baixo (Tabela 8.2) Porém, pode-se aproveitar, para produção de biomassa, apenas a água de prensagem que contém teor mais elevado de carboidratos. A água de lavagem das raízes, que contém menor teor de carboidratos, pode ser utilizada para produção de biogás, adicionando a ela o líquido resultante da separação da biomassa microbiana. OKAFUR (2000) sugere um sistema integrado para tratar resíduos da produção do gari, alimento fermentado da mandioca popular na Nigéria. Neste sistema, esmagam-se as cascas deixando-as fermentar com o líquido espremido da massa. O produto resultante é desidratado e usado como ração, cujo resíduo pode ser usado para produção de biogas e o efluente e o lodo, como fertilizante para as plantações de mandioca, não ocasionando nenhum dano ao ambiente. Sistema semelhante a este pode ser adaptado para os resíduos líquidos e sólidos

do processamento da mandioca para produção de amido e farinha, obtendo-se proteína microbiana, biogas e os resíduos líquidos do processo para fertilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAGALOPAL, C. MAINI, S. B. Studies on the utilization of cassava waste for single cell protein. J. Root Crops, Trivadrum, v.3, n.1, p.33-36, 1997.

BALOGUN, S. A.; BODIN, J. B.. BIKANGI, N.; JARLEBRING, I. Cassava the ultimate future crop. Deisponível em: http://www.nutrition.uu.se/studentprojects/group97/cassava/cassava.htm Acesso em 2000

CABRAL, O. Fecularia de mandioca: industrialização e despejos: trabalho do Fomento estadual de Saneamento Básico, agosto,1971 (não publicado).

CHURCH, B.D.; NASH, H.A.; BROSZ, W. Use of fungi imperfecti in treatment food processing wastes. Development Industrial Microbiology v.13, p.30-40,1972.

FIORETTO, A.R. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: CEREDA, M. P. (Coord) In Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil, São Paulo: Paulicéia, 1994. p.51-80.

ISRAELIDIS, C. J. Nutrition - Single cell protein, twenty years later. Disponível em http://business.hol.gr/~bio/allfile/HTML/PUBS/VOL1/isreali.htm Acesso em 2000.

JARL, K. Symba yeast process. Food Technol., v.23, p.1009-1012, 1969.

LAMO, P-R.; MENEZES, T.J.B. Bioconversão das águas residuais do processamento de mandioca para produção de biomassa. Col. ITAL, v.10, p.1-14, 1979.

LOMER, C. Single-cell and microbial protein. Disponível em: http://www.fen.bilkent.edu.tr/~lomer/14SCProtein/index.htm, Acesso em 2000.

MENEZES, T-J-B.; FIGUEIREDO, I.B.; STRAS SER, J. "Proteína monocelular de leveduras amiloliticas". Col.ITAL, v. 4, p.109-16, 1971/1972.

MILLER JUNIOR, G. T. Living in the environment. Belmont Wadaswork Publishing,1985.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Microbial process. promising technology for developing countries. Washington, 1979. 195p.

OKAFUR, N. An integrated bio-system for the disposal of cassava waste. Disponível em http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/okafor/paper.htm, Acesso em 2000.

NDUKA Okafor. In: Integrated Bio-Systems in Zero Emissions Applications. PROCEEDINGS OF THE INTERNET CONFERENCE ON INTEGRATED BIO-SYSTEMS. Eds. Eng.-Leong Foo & Tarcisio Della Senta, 1998, Disponível dem :http://www.ias.unu.edu/proceedings/icibs/papp.htm . Acesso em Jan. 2000.

PONTE, J. L. Histórico das pesquisas sobre a utilização da manipueira (extrato líquido das raízes de mandioca) como defensivo agrícola. Fitopatol. Venez. v.5 p.2-5, 1992

PSZCZOLA, D.; GIESE, J. Choosing ingredients for the time capsule. Food Technol. v.53, n.9, p.132-139, 1999.

ROMANTSCHUK, H. The Pekilo Process: protein from spent sulfite liquor In: Single-Cell-Protein II, Cambridge: Mit Press, 1975. p.344-356.

SALES, A. M. Produção e avaliação nutricional de biomassa de mandioca fermentada. 1982. p.66. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

SALES, A, M.; MENEZES, T.J.B Produção de biomassa protéica de mandioca. Col. ITAL. v.7, p.139-46, 1976.

CAPÍTULO 9

PRODUÇÃO DE ÁCIDO CÍTRICO A PARTIR DO RESÍDUO LÍQUIDO DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA (MANIPUEIRA)

Cláudio Cabello[1]
Magali Leonel[2]

9.1. INTRODUÇÃO

O ácido cítrico é um importante produto comercial com uma produção mundial de 736000 toneladas por ano (QUÍMICA E DERIVADOS, 1997).

Quase que a totalidade de ácido cítrico é produzido por fermentação submersa em meios com amido ou sacarose, utilizando como agente o fungo filamentoso *Aspergillus niger*.

Devido principalmente ao fato de não ser tóxico e ter utilização irrestrita pelos critérios da FDA - USA, o ácido cítrico tornou-se um aditivo de grandes potencialidades de utilização em diversas indústrias. A indústria alimentícia é o maior consumidor de ácido cítrico, usando aproximadamente 70% do total produzido, seguida pela indústria farmacêutica 12% e os 18% restantes são utilizados em outras aplicações (SHAH et al., 1993). Segundo VANDENBERGHE et al. (2000) há um crescimento de 3,5 a 4,0% na relação demanda/consumo. No Brasil, a demanda total de ácido cítrico é suprida por importação do produto.

Desde que o ácido cítrico é um produto químico de mercado, faz necessário o uso de matérias primas de baixo custo e fácil uso para a produção industrial. Neste sentido vários resíduos agroindustriais têm sido avaliados como substrato para o processo de biossíntese de ácido cítrico, dentre eles os resíduos da industrialização da mandioca.

[1] Professor Doutor, Departamento de Química FC/ UNESP – Bauru e-mail cabello@fc.unesp.br
[2] Pesquisadora Doutora CERAT/UNESP – Botucatu-SP e-mail: pesq1cerat@fca.unesp.br

9.2. BIOSSÍNTESE DE ÁCIDO CÍTRICO

A produção de ácido cítrico é bastante conhecida, sendo obtida quase que exclusivamente por processo de biossíntese, utilizando microrganismos selecionados e melhorados para apresentar alto desempenho na transformação de carboidratos em ácido cítrico. O principal microrganismo utilizado é o fungo imperfeito *Aspergillus niger*, cujas condições de produção de ácido cítrico foram observadas pela primeira vez por CURRIE, em 1917. A partir dessa época, desenvolveu-se toda uma metodologia de produção pelo método de cultivo de micélios do fungo em superfície de meio contendo nutrientes e uma significante disponibilidade de carboidratos.

Este processo denominado de cultivo em superfície, encontrou um outro concorrente quando SHU & JOHNSON (1948) estabeleceram a metodologia e os parâmetros adequados à produção do ácido em reatores de grande capacidade denominando o processo de submerso. Ambos os processos apresentam vantagens e desvantagens, sendo que prevalece atualmente o processo submerso devido principalmente ao desenvolvimento de melhores tecnologias de controle do sistema de produção em reatores químicos.

Quanto ao processo de biossíntese, a acumulação de ácido cítrico pelo fungo *Aspergillus niger* é fortemente influenciada pela composição de nutrientes do substrato, e este efeito é mais pronunciado em cultivos por via submersa (SHU & JOHNSON, 1948).

LOCKWOOD (1975) em revisão sobre produção de ácido cítrico por *A. niger*, discutindo os relatos na literatura sobre as influências de fatores do ambiente na produção do metabólito salientou: a) a necessidade de eliminação, na maior intensidade possível, dos metais presentes em concentrações elevadas e, b) o cuidado em se evitar a elevação do pH inicial para 3,5 durante a fermentação, pois há o favorecimento do acúmulo de outros ácidos como o oxálico e o glucônico.

Segundo BIGELIS (1985) dentre os fatores que afetam a produção de ácido cítrico por *Aspergillus niger*, os mais importantes são: acumulação de ácido cítrico, taxa de crescimento, sensibilidade aos metais, resposta ao pH ácido, morfologia celular, capacidade de crescer em fontes de carboidrato alternativas e susceptibilidade à contaminantes.

Como fonte de carboidratos geralmente são utilizados somente açúcares, tais como glicose, frutose, sacarose, pois propiciam um melhor rendimento na produção de ácido cítrico.

Para a produção de ácido cítrico a partir de amido, STEINBOCH et al. (1991) reportaram que a hidrólise prévia do material amiláceo se faz necessária devido a baixa capacidadade de strains de *Aspergillus niger* na utilização do amido como fonte de energia. Entretanto, segundo SARANGBIN & WATANAPOKASIN (1999), se a produção direta de ácido cítrico a partir de material amilácco fosse possível, pré-tratamentos como liquefação e sacarificação poderiam ser otimizados, e como conseqüência o requerimento energético e o custo da produção de ácido cítrico seriam reduzidos.

O requerimento nutricional para a biossíntese de ácido cítrico por *Aspergillus niger* pode ser resumido nos seguintes tópicos prinicpais (CABELLO & LEONEL, 1994):

- alta concentração de açúcar .....140 a 240 g/l
- sais de amônia .....2 a 2,5 g/l
- alta tensão de oxigênio 140mbar
- ausência de metais interferentes
- balanço adequado entre fosfatos e íons Mn^{+2}, Fe^{+2}, e Zn^{+2}
- pH abaixo de 2.0 na fase ativa de produção do ácido

A recuperação do ácido cítrico é feita principalmente por sua precipitação na forma de um sal. Pela adição de hidróxido de cálcio no meio de cultivo a 90°C, forma-se o citrato tricálcio tetraidrato que precipita. Removendo-se este precipitado e adicionando-se solução de ácido sulfúrico, obtém-se sulfato de cálcio que também precipita e libera em solução, o ácido cítrico que numa próxima etapa será tratado com carvão ativo, resinas trocadoras de anions e finalmente concentrado por evaporação à vácuo numa temperatura de 40°C (CABELLO & LEONEL, 1994).

9.3. A MANIPUEIRA COMO SUBSTRATO

Os resíduos agroindustriais, em geral, são potencialmente interessantes como substrato para processos fermentativos, por serem disponíveis a baixo custo e atenderem a necessidade de redução da poluição ambiental. Entretanto, a utilização de resíduos industriais nem sempre alcança produções viáveis, sendo necessário estudos de adaptação de cepas de microrganismos mais adequados.

O barateamento do processo de produção de ácido cítrico por Aspergillus niger envolve a busca por novas fontes de carboidratos, sendo realizados diversos estudos com resíduos industriais como: melaço de frutas cítricas (GADEN

et al., 1977), polpa de maçã (HANG & WOODAMS, 1989), melaço de beterraba (ROUKAS & ALICHANIDS, 1991), água residual de farinheiras de mandioca (CABELLO, 1991, LEONEL, 1993) e bagaço de mandioca (KOLICHESKI, 1995).

O processamento das raízes de mandioca, com a finalidade de produzir farinha ou fécula, dá origem a um resíduo líquido denominado manipucira, ou água de constituição das raízes, que nas farinheiras é gerada na etapa de prensagem da massa ralada e nas fecularias na centrifugação do leite de amido. Portanto, nas farinheiras é gerado cerca de 300 litros de líquido residual por tonelada de mandioca processada, já nas fecularias devido a diluição durante o processamento é gerado cerca de 600 litros por tonelada de mandioca processada (LEONEL & CEREDA, 1995).

Com relação à carga poluente, a manipueira apresenta em média 130ppm de cianeto, quando originária de uma fábrica de farinha, e 280ppm quando originária de uma fecularia. Esta toxicidade é atenuada com o tratamento em lagoas de decantação (CABELLO, 1991).

O custo do tratamento das águas residuárias é elevado, sendo pouco viável para indústrias de médio e grande porte, e totalmente inviável para indústrias pequenas, sendo de grande importância aplicações para a manipueira, fazendo com este resíduo passe a ser rentável para a indústria processadora de mandioca, semelhante ao que ocorre com a água de maceração do milho.

A análise das características físico-químicas da manipueira mostram que com exceção do teor de manganês, a concentração dos elementos apresentam uma proporcionalidade bastante próxima da citada na literatura como adequada para o crescimento do fungo *Aspergillus niger* (KUBICEK & ROHR, 1986, LEONEL & CEREDA, 1996a) (Tabela 9.1).

A possibilidade do uso da manipueira como meio de cultura para a obtenção de inóculo na biossíntese de ácido cítrico foi avaliada por LEONEL et al (1991), que constataram a viabilidade do uso da manipueira recém coletada, diluída com 20% de água e adicionada de 10% de sacarose e ágar, como meio de cultura de linhagens de *Aspergillus niger*.

TABELA 9.1
Características físico-químicas da manipueira armazenada a temperatura ambiente por 24, 48 e 72 h.

	tempo de armazenamento (h)			
variáveis	**0**	**24**	**48**	**72**
umidade %	90,00	89,94	91,80	92,55
pH	6,27	4,00	3,67	3,63
acidez normal %	0,83	9,67	16,09	16,68
CN^- livre ppm	52,20	41,18	29,10	25,34
CN^- total ppm	459,86	351,13	287,88	253,33
amido %	5,71	5,40	4,43	3,42
carboidratos totais %	6,35	6,00	4,92	3,81
açúcares red.total %	2,93	0,45	0,21	0,37
nitrogênio ppm	1421,0	1414,0	1344,0	1386,0
fósforo ppm	293,0	297,0	283,0	283,0
cálcio ppm	220,0	220,0	210,0	210,0
magnésio ppm	340,0	330,0	350,0	340,0
enxofre ppm	74,0	78,0	74,0	70,0
ferro ppm	7,60	7,90	5,50	6,00
zinco ppm	3,20	3,30	2,80	2,90
cobre ppm	0,90	0,90	0,90	0,90
manganês ppm	3,90	3,80	3,50	3,60
potássio ppm	2650,0	2570,0	2590,0	2600,0

Fonte: LEONEL & CEREDA (1996a).

CABELLO (1991) verificou a evolução da produção de ácido cítrico, através de fermentação submersa monitorada por computador, e observou a viabilidade do uso da manipueira recém coletada na fábrica de farinha de mandioca, enriquecida com sacarose, como substrato para a biossíntese de ácido cítrico. Estes resultados também forma observados por LEONEL & CEREDA (1996b).

LEONEL & CEREDA (1995), avaliando a produção de ácido cítrico em meio elaborado com manipueira armazenada a temperatura ambiente por 48 horas, observou o não crescimento do fungo *A. niger* quando o meio de biossíntese apresentava teores de cianeto superiores a 70ppm. Neste trabalho foi verificada a necessidade de uma adaptação do microrganismo a maiores concentrações de manipueira e consequentemente a teores mais elevados de cianeto, bem como a compreensão do mecanismo envolvido na hidrólise da linamarina, gli-

cosídeo ciangênico, visto que os meios elaborados com manipueira armazenada apresentaram uma elevação do teor de cianeto (Figura 9.1).

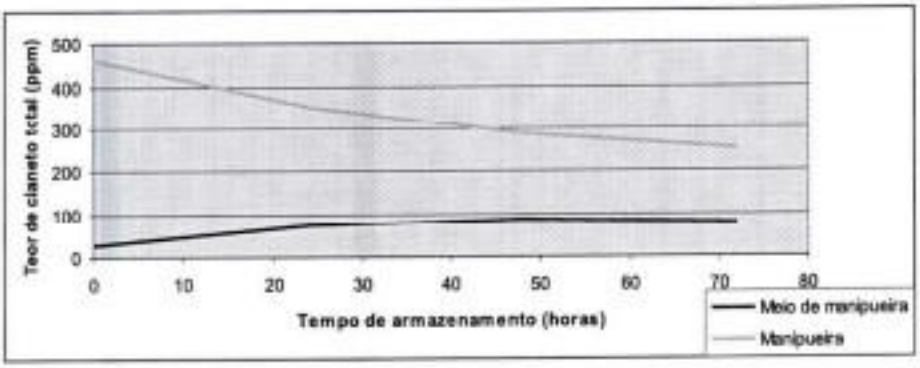


FIGURA 9.1
Variação no teor de cianeto total (ppm) na manipueira e no meio de biossíntese preparado com manipueira armazenada a temperatura por 72 horas.

Portanto, a manipueira apresenta-se como um substrato potencial para a produção de ácido cítrico, produto de elevado valor agregado, sendo necessários maiores estudos para a viabilidade técnico-econômica do processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIGELIS, T. Primary metabolism and industrial fermentation. In: SIKYTA, B.; VANEK, Z. (Ed.). Gene manipulation on fungi. London: Academic Press, 1985.

CABELLO, C. Avaliação do substrato manipueira na biossíntese de ácido cítrico monitorada por computador. 1991. 88p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CABELLO, C. , LEONEL, M.P. Produção de ácido cítrico a partir de manipueira. In: CEREDA, M.P. (Coord). Resíduos da industrialização da mandioca. São Paulo: Editora Paulicéia, 1994. Cap.6, p.109-118.

CHANDA, S.; CHAKRABART, S.; MATIA, S. Citric production in liquid waste from a leaf-protein production plant: effects of sugar and potassium ferrocyanide. Biol.Wastes, India, n.34, v.1, p.77-84, 1990.

CURRIE, J.N. The citric acid fermentation. J.Biol. Chem., London, v.31, p.15-25, 1917.

GADEN, E.L.; PETSIAVAS, P.N.; WINOKER, Y. Citric acid production by citric fruit molasses. J. Agric.Food.Chem., New York, v.2, p.632-35, 1977.

HANG, Y.D.; WOODAMS, E.E. Aplle pomace: a potential substrate for citric acid production by *Aspergillus niger*. Biotechnol.Lett., Letchwortherts, v.6, p.763-764, 1989.

KOLICHESKI, M.B. Produção de ácido cítrico por fermentação no estado sólido utilizando como substrato bagaço de mandioca. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Paraná, Curitiba. 1995.

KUBICEK, C.P.; ROHR, M. Citric acid fermentation. CRC. Crit. Rev. Biotechnol., Boca Raton, v.3, p.331-73, 1986.

LEONEL,M.; HAMADA, C.; CEREDA, M.P. Cultivo de *Aspergillus niger* em água residual de processamento de mandioca (manipueira). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 16, Santos, 1991. Anais..., Santos, 1991. p.215.

LEONEL, M. Manipueira como meio de cultivo e fermentação na produção de ácido cítrico por *A. niger*. 1993. 55p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba.

LEONEL,M., CEREDA,M.P. Manipueira como substrato na biossíntese de ácido cítrico por *Aspergillus niger*. Rev. Sci. Agríc., v.52, n.2, p. 299-304, 1995

LEONEL,M., CEREDA,M.P. Viabilidade de uso da manipueira como substrato de processo biológico. I: caracterização do substrato armazenado a temperatura ambiente. Rev. Bras. Mandioca, v.15, n.1/2, 1996a.

LEONEL,M., CEREDA,M.P. Biossíntese de ácido cítrico em água residual de processamento de mandioca . Rev. Bras. Mandioca, v.15, n.1/2, 1996b.

LOCKWOOD, L.R. Organic acid production. In: SMITH, J.E., BERRY, D.R. The filamentous fungi. London: Edward Arnold Ltda, 1975. v.1, p.140-157.

ROUKAS, T., ALICHANIDIS, E. Citric acid production from beet molasses by cell recycle of *Aspegillus niger*. J. Ind. Microbiol., Amsterdam, v.7, n.1, p.71-74, 1991.

SARANGBIN, S., WATANAPOKASIN, Y. Yam bean starch: a novel substrate for citric acid production by the protease-negative mutant starin of *Aspergillus niger*. Carbohydrate Polymers, v.38, p.219-224, 1999.

SHAH, N.D., CAHTTOO, B.B., BARODA, K., R.M., PATIALA, H., V.M. Starch hydrolysate, na optimal and economical source for the secretion of citric acid by *Yarrow lipolytica*. Starch/ Starke, v.45, p.104-109, 1993.

SHU, P., JOHNSON, M.J. Citric acid production by submerged fermentation with *Aspergillus niger*. Ind. Eng. Che., Washington, v.56, p.577-585, 1948.

STEINBOCH, F.A., HELD, I., CHOOJUN, S., HARMSEN, H., ROHR, M., KUBICEK-PRANZ, E.M., KUBICEK, C.P. Regulatory aspects of carbohydrate metabolism in relation to citric acid accumulation by *Aspergillus niger*. Acta Biotechnol., v.11, p.571-581, 1991.

VANDENBERGHE, L.P.S., SOCCOL, C.R, ASHOK, P., LEBEAULT, J.M. Solid-state fermentation for the synthesis of citric acid by *Aspergillus niger*. Bioresour. Technol., v.74, p.175-178, 2000.

CAPÍTULO 10

TRATAMENTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS DA MANIPUEIRA

Ary Fernandes Júnior[1]

10.1. INTRODUÇÃO

Face aos incrementos na demanda mundial por alimento e energia, torna-se de fundamental importância a implantação de programas e/ou projetos que visam satisfazer tais necessidades. Porém, paralelamente a estes programas, o empreendedor deverá também relacionar formas eficientes, e preferencialmente econômicas, para remoção dos resíduos inerentes a cada processo produtivo.

Neste caso, a literatura mundial relata inúmeros processos de tratamento e/ou aproveitamento de resíduos orgânicos, tendo um destaque maior os processos biológicos, sejam os aeróbios (lodo ativado, lagoas de estabilização aeróbia, etc) como os anaeróbios (biodigestores, lagoas de estabilização anaeróbia, etc).

Também utilizados são os processos físicos e químicos. Dentre estes, é possível destacar alguns que, se não são empregados no tratamento de resíduos agroindustrias, poderiam ser adaptados e otimizados para usos desta natureza. Dentre estes métodos podemos destacar a sedimentação, flotação, filtração, coagulação, etc.

Inúmeros autores destacam as agroindústrias como grandes poluidoras, devido especialmente às elevadas vazões com que geram seus resíduos, avaliadas pela carga orgânica medida através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Em relação às indústrias processadoras de mandioca, para produção de farinha e fécula (polvilho doce e azedo), têm destaque neste quadro por gerarem dentre os vários resíduos (sólidos e líquidos), a manipueira que possui carga orgânica elevada e variável de acordo com o tipo de processo e ainda potencial

---

[1] Professor Doutor, Departamento de Microbiologia e Imunologia IB/UNESP Botucatu-SP

tóxico devido à presença do glicosídeo cianogênico conhecido como linamarina. Este resíduo é gerado na proporção de 300 litros na fabricação de farinha de mesa ou 600 litros durante o processo de extração da fécula, por tonelada de raízes processadas. Segundo HIEN et al.(1999), a proporção de resíduos por kg de amido produzido é de 3 kg de sólidos e 12 litros de resíduo líquido. Estes dados são de indústrias processadoras no Vietnam do Sul, porém aplicáveis também no Brasil.

No caso do Brasil, a produção anual de raízes de mandioca é ao redor de $2,3x10^7$ toneladas. Deste total, cerca de 80% é processado nas farinheiras e fecularias, gerando um volume de manipueira extremamente elevado. Utilizando-se de cálculos para equivalente populacional, este volume potencial de manipueira gerada corresponde a um número de aproximadamente $5,1x10^9$ habitantes. Para a maioria das indústrias, a manipueira gerada tem como destino final os rios e córregos, ocasionando sérios prejuízos, principalmente para os criadores de gado, que se os animais beberem desta água, sendo freqüentes os casos de intoxicação e morte.

As farinheiras e fecularias no país geralmente estão localizadas de forma concentrada, devido principalmente às características edafoclimáticas, agravando o problema de poluição nessas regiões.

Uma medida paliativa que vem sendo utilizada é o depósito por tempo indeterminado em valas de deposição, as quais geralmente não atendem a vazão com que a manipueira é gerada, tendo novamente o excesso como destino os mananciais. A redução da carga orgânica neste caso é nula ou muito reduzida.

Portanto, considerando o elevado volume gerado deste resíduo e mais importante ainda as implicações ambientais envolvidas, desenvolveremos a seguir alguns comentários referentes a disposição final da manipueira. Convém salientar que, especificamente para alguns tipos de tratamentos físicos, trata-se de possibilidades que talvez ainda careçam de estudos mais aprofundados para uma perfeita adequação e otimização para o resíduo em questão.

10.2. TRATAMENTOS FÍSICOS DA MANIPUEIRA

Algumas fábricas de farinha recuperam o amido da manipueira em canaletas de decantação ou ainda pelo uso de centrífugas, obtendo uma quantidade aproximada de 10kg de fécula por tonelada de raiz processada. Este procedimento poderá ser prontamente difundido entre as indústrias, devido a simplicidade e

ao baixo custo de implantação e manutenção do sistema de recuperação. Neste caso, o procedimento adotado é a sedimentação ou decantação.

Este sistema, embora seja mais uma forma de aproveitar melhor a matéria prima que um tratamento propriamente dito, certamente pode contribuir para a redução da carga orgânica da manipueira, especialmente para a fração suspensa uma vez que os sólidos solúveis ainda permanecem no resíduo.

No caso dos sólidos solúveis, é possível lançar mão de métodos que podemos considerá-los como físico-químicos, onde a matéria orgânica inicialmente sofre interferência de uma substância dita eletrólito (ex. sais de cálcio como cal ou gesso) que é capaz de neutralizar as cargas elétricas das partículas de matéria orgânica presente no resíduo, impedindo assim a repulsão entre as partículas com cargas elétricas de mesmo sinal, responsáveis pelo estado coloidal da matéria orgânica dissolvida. Neste caso, haverá uma tendência de aproximação das partículas dissolvidas, tendo isto como conseqüência a coagulação (ou floculação) da matéria orgânica, o que facilita posteriormente a decantação da mesma e com isto a remoção de parte considerável da DQO (Demanda química de oxigênio) do resíduo. Porém, é importante salientar que após este procedimento de separação da matéria orgânica presente no resíduo, esta deverá sofrer o processo de tratamento propriamente dito, especialmente através de sua oxidação, que neste caso recomenda-se os processos biólogicos de oxidação, que veremos a seguir.

Segundo MEIDL (1997), no caso de resíduos líquidos contendo elementos tóxicos, é possível associar ao processo de coagulação do resíduo o carvão ativado, sendo em seguida procedido a decantação. Portanto, embora ainda se desconheça estudos nesta linha para a manipueira, isto poderia ser feito visando um tratamento físico-químico da mesma. Porém relatam os autores que este tipo de tratamento tem sido feito especialmente para indústrias petroquímicas. Recebendo a designação de PACT (Powdered Activated Carbon Treatment) (figura 10.1). Neste caso, inicialmente e na seqüência se faz a adição do carvão ativado ao tanque de tratamento, consequentemente ao resíduo a ser tratado, aeração e por fim a adição do polieletrólito. Em seguida ocorre a coagulação e sedimentação da matéria orgânica, permitindo a retirada da matéria orgânica sedimentada no fundo do tanque, a qual terá um destino de acordo com a planta de tratamento. Paralelamente à retirada do material sedimentado, o sobrenadante também é retirado do tanque, sendo opcional qualquer outro tipo de processamento posterior (ex. filtração), o qual possibilita a reutilização desta água assim obtida na própria planta industrial ou ainda a disposição final em cursos d'água.

No caso específico da manipueira, a matéria orgânica dissolvida e/ou sus-

pensa é composta basicamente por carboidratos (amido e açúcares solúveis) que poderão ter um destino nobre, conforme é possível constatar nos vários capítulos deste livro, que simplesmente ser desperdiçada com a disposição final do resíduo, embora, as vezes, o industrial tenha em mente unicamente o tratamento do referido resíduo visando cumprir a legislação ambiental vigente.

10.3. TRATAMENTOS BIOLÓGICOS DA MANIPUEIRA

Para que um resíduo qualquer possa ser decomposto por atividade biológica é necessário que sirva de substrato para alguns tipos de organismos que possuam enzimas capazes de promover a quebra do mesmo, obtendo assim a energia necessária para as atividades pertinentes ao organismo bem como matéria de construção de suas estruturas.

Normalmente, o tipo de metabolismo energético envolvido, especialmente para as bactérias e fungos, depende do aceptor final de hidrogênio e/ou elétrons, que acaba caracterizando a chamada respiração aeróbia (aceptor final é o oxigênio), respiração anaeróbia (aceptor final é um composto inorgânico diferente do oxigênio) e a fermentação (aceptor final é um composto orgânico gerado durante o próprio processo fermentativo).

Por isso, será possível destacar dentre os processos biológicos a oxidação aeróbia, sendo necessário a introdução de oxigênio no recipiente de tratamento, e a digestão anaeróbia, realizada especialmente em reatores fechados e com isso desprovido de oxigênio no meio.

10.3.1. TRATAMENTO AERÓBIO

Tratando-se de uma processo em que o oxigênio e o principal fator limitante, a forma de fornecê-lo tem de ser considerada. Basicamente há duas possibilidades para fornecimento: utilizar uma fonte física de oxigênio (ar atmosférico por exemplo) ou uma fonte bioquímica (a fotossíntese) (BRANCO & HESS, 1975).

No caso do ar atmosférico, este pode ser utilizado de duas maneiras básicas como fonte de oxigênio para um ambiente líquido, seja aumentando a superfície líquida em relação ao seu volume, de modo a oferecer a maior área possível de contato direto com o ar ou ainda promovendo uma agitação (turbulência) na água, de modo a misturar continuamente uma película superficial saturada com

oxigênio com o restante da massa líquida. Existe uma possibilidade intermediária que é introduzir ar por borbulhamento no seio da massa líquida, o que promove também uma ampliação na superfície de contato ar-água. Estes processos de turbulência ou borbulhamento são conhecidos como aeração forçada, muito utilizados em processo de tratamento aeróbio denominado lodo ativado. Este tipo de processo é utilizado especialmente para esgotos sanitários bem como para despejos industriais (ex: indústrias de celulose, amidonarias de mandioca, milho e batatas, de cervejarias, de indústrias de cosméticos e farmacêuticas, de destilarias e muitas outras).

O grande inconveniente dos processos aeróbios é que, com poucas exceções, existem gastos substanciais de energia para promover a introdução do oxigênio na massa líquida.

Outra forma de fornecimento de oxigênio é aquele através de uma fonte bioquímica. Neste caso, o fornecimento é efetuado pela fotossíntese realizada principalmente por algas microscópicas. Este processo ocorre em lagoas de estabilização conhecidas como lagoas de fotossíntese, especialmente para tratamento de águas poluídas e esgotos. A função das algas é unicamente fornecer o oxigênio para as bactérias aeróbias responsáveis pela degradação, sem qualquer participação ativa no processo de estabilização.

No tocante ao tratamento aeróbio de manipueira, a literatura a respeito é extremamente restrita, destacando-se o trabalho de HESS(1962), que foi um dos pesquisadores pioneiros a realizar este tipo de processo. Segundo o autor, a disposição final da manipueira vinha sendo feito sem sucesso, seja por infiltração no solo ou fermentação em tanques abertos. Estes procedimentos provocam a liberação de cheiro desagradável, que certamente deveria ser resolvido.

Estes estudos, realizados em escala de laboratório, através de aeração contínua por borbulhamento na massa líquida, mostraram-se animadores quando procedeu-se uma decantação prévia do amido residual. Neste caso, foram obtidas reduções de até 98% na DBO e até 90% para o cianeto quando realizou-se diluição com água de lavagem das raízes. Para manipueira sem diluição, a redução atingiu até 96% para a DBO, porém foi necessário um tempo de aeração significativamente maior.

Um aspecto importante desde estudo, destacado pelo autor, é que a coloração do resíduo durante o tratamento presta-se como forma simples e segura para determinar a eficiência do processo de tratamento e com isto as condições ótimas de funcionamento. Quando a coloração apresentou-se cinzenta, os valores de pH estavam em torno de 7. Isto aconteceu devido à formação de lodo ativado

na instalação. Por outro lado, quando a coloração apresentava-se clara (amarelada), significava que houve sobrecarga da instalação ou os valores de pH baixaram por alguma razão a ser corrigida. Baixos índices do pH promoviam sérios problemas de formação de espuma.

Relata o autor que, na época em que estes estudos foram feitos, 11 unidades de tratamento estavam em vias de instalação para tratamento em escala industrial em fábricas de farinha, todas baseadas em variantes do processo por lodo ativado, denominadas valas de oxidação. Em termos numéricos, sugeriu-se que para uma indústria que processasse 50 toneladas de raízes/dia, havia necessidade de um tanque de aeração com 125 m^3 para tratamento da manipueira. Para o despejo combinado (água de lavagem e manipueira), o volume necessário seria de 200 m^3, para um tempo de aeração de 50 horas.

Em continuidade aos estudos realizados por HESS (1962), BRANCO (1967) realizou alguns ensaios, também em escala laboratorial, visando uma maior compreensão dos fenômenos biológicos envolvidos na estabilização da manipueira durante os processos aeróbios, especialmente sobre a dinâmica de populações microbianas no processo de lodo ativado. Relata o autor que os flocos, normalmente pouco compactos, são constituídos de massa microbiana em que predominam fungos filamentosos. Neste caso era comum o fenômeno de "Bulking", quando os flocos sofriam um processo de intumescimento que resultava numa perda excessiva de material biológico do tanque de aeração por arraste durante a saída do resíduo tratado. Este fenômeno pode ser resolvido através da adição de fósforo ao meio, possibilitando assim o predomínio de populações bacterianas no tanque de aeração. Comenta ainda que durante o tratamento da manipueira houve seleção de microrganismos resistentes ao cianeto bem como até mesmo capazes de utilizá-lo como nutriente.

Como seu antecessor, BRANCO (1967) também procurou fornecer elementos físico-químicos que, de forma simplificada, pudessem avaliar as sucessivas etapas da estabilização do resíduo. Neste caso, relata serem válidas as observações feitas por HESS (1962) sobre a coloração apresentada pelo líquido em fermentação. Neste caso acrescentou outro parâmetro que era o odor do material em tratamento. Segundo o autor, o odor passava de cianídrico, com pH entre 4 e 5 a cheiro característico de "leite azedo" após 2 dias de aeração. Em seguida, ocorria o odor típico de "mofo", que correspondia a um aumento considerável do pH do sistema. Quando o processo de estabilização da matéria orgânica atingia um grau elevado, observou-se um cheiro amoniacal, que foi atribuído como sendo decorrente da citólise bacteriana e conseqüente liberação de matéria ni-

trogenada que, por formação de amônia, promovia aumento considerável do pH para valores ao redor de 9.

Em termos práticos, cita o autor que o tempo para remoção de 55 a 60% da DQO foi de 24 horas de aeração, e que a partir de 17 a 20 dias, sem recarga orgânica, os flocos passam a degenerar-se, inferindo que a matéria orgânica do resíduo em tratamento havia atingido seu mais alto nível de estabilização.

Em estudo mais recente, PATZA et al.(1981) levaram a efeito estudo para tratamento de despejos de fecularias por lodos ativados. Este estudo baseou-se novamente no trabalho realizado por BRANCO (1967), especialmente no tocante à adição de fósforo ao resíduo. Em termos operacionais, o estudo fora realizado em escala de laboratório, utilizando-se de manipueira diluída obtendo-se uma DQO de 2000mg/litro e uma vazão de 0,5 litros/hora, obtendo-se um tempo de retenção hidráulico (TRH) de 18 horas no tanque de aeração, sendo esta obtida através do borbulhamento do ar na massa líquida. O sistema como um todo compreendia também a existência de um decantador para reciclagem dos flocos biológicos, acarretando um TRH de 36 horas no sistema. Relatam os autores que, nestas condições, a redução foi ao redor de 95% para a DQO. É importante salientar que durante todo o período de experimentação (120 dias) o pH do sistema se manteve na faixa de 6,8 a 8,3 sem necessidade de qualquer tipo de controle externo. Também vale ressaltar que a temperatura do processo foi controlada na faixa de 26° C.

Outro estudo, realizado pela mesma equipe descrita acima (GABARDO et al. 1981), procedeu-se, também em escala de laboratório, o tratamento de despejo de fecularia por lagoa anaeróbia e aerada em série, sendo que a lagoa aerada serviu como um pós-tratamento do efluente da lagoa anaeróbia. Neste estudo, a remoção da DQO para o sistema como um todo, de acordo com cada ensaio realizado, variou de 96,45 a 99,06% tendo sido utilizado o resíduo com uma concentração na faixa de 7.192 a 8.137 mg/l para a DQO do mesmo. Outro dado importante é o TRH utilizado para as duas lagoas: 2,04 dias para a lagoa anaeróbia e 1,16 dias para a lagoa aerada. No caso específico da lagoa aerada relatam os autores que a eficiência de remoção da DQO foi de 79,87% para um TRH de um dia.

Conforme é possível verificar, o tratamento aeróbio mostra-se importante para o tratamento de resíduos, especialmente a variável de lodo ativado. Porém, conforme exposto, este exige um gasto substancial de energia para promover a aeraçao do sistema tornando-o, principalmente sob o aspecto financeiro, desvantajoso em relação a outros sistemas de tratamento. Outro aspecto técnico da

oxidação aeróbia é o elevado rendimento energético, neste caso representado pela respiração aeróbia dos microrganismos, que tem como conseqüência uma produção de lodo extremamente elevada, o que pode resultar num problema subsequente quanto a sua disposição final.

Portanto, como ocorre com qualquer resíduo, o empresário tem que relacionar todos os prós e contras de qualquer processo de tratamento, visando utilizar aquele que mais se enquadra as suas necessidades, tanto no aspecto operacional quanto financeiro. Neste sentido, torna-se importante o conhecimento de outros processos a exemplo do tratamento anaeróbio.

10.3.2. TRATAMENTO ANAERÓBIO

Os conhecimentos sobre a digestão anaeróbia como processo de estabilização da matéria orgânica e geração de energia datam do século XVIII, com as descobertas de Volta a respeito dos gases dos pântanos (MEYNELL, 1976; POHLAND, 1982). Hoje, o interesse pela aplicação da digestão anaeróbia é confirmado pelos inúmeros trabalhos publicados na literatura pertinente. Este interesse se deve em grande parte à crise energética que teve início em 1973 mas também ao desenvolvimento de uma consciência ambiental e desenvolvimento de modelos de biodigestores mais avançados e mais eficientes. Esses aspectos permitiram o uso mais amplo deste tipo de tratamento, englobando agora não somente resíduos urbanos e rurais, mas também resíduos agro-industriais (MEYNELL, 1976; Van den BERG, 1980; LETTINGA et al, 1980).

O processo de tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos, conhecido como digestão anaeróbia, ocorre devido interações simbiônticas de populações microbianas distintas tanto quanto às exigências nutricionais como na fisiologia (figura 10.2).

Segundo vários autores, o processo desenvolve-se em diversas etapas de interação entre microrganismos e substrato. Inicialmente, os compostos orgânicos complexos são hidrolisados através da ação de enzimas produzidas por bactérias fermentativas, resultando na produção de compostos menores. Em seguida, a acidogênese, ocorre a produção de compostos (acetato e outros ácidos orgânicos voláteis, hidrogênio, dióxido de carbono, etc.) que serão utilizados em etapas seguintes. Numa terceira etapa, a acetogênese, ocorre a conversão dos ácidos orgânicos pelas bactérias acetogênicas em hidrogênio e acetato, enquanto que parte do hidrogênio e dióxido de carbono disponíveis são convertidos em acetato pelas bactérias homoacetogênicas. Por fim, na quarta e última etapa,

ocorre atividades de um grupo de bactérias denominadas metanogênicas que são capazes de reduzir o dióxido de carbono e/ou descarboxilar o acetato para formar metano. É sabido que esta última etapa é o ponto crítico do processo visto que as metanogênicas são extremamente sensíveis às condições desfavoráveis do meio.

Normalmente, este processo é bastante compacto por ser realizado em tanques denominados reatores ou biodigestores, que permite a recuperação e aproveitamento do biogás que pode ser utilizado na própria instalação fabril além de permitir o uso do efluente tratado na forma de biofertilizante. Este processo também pode ser realizado nas chamadas lagoas de estabilização anaeróbia, que tem como principal inconveniente a necessidade de grandes áreas para sua instalação.

Embora a literatura sobre digestão anaeróbia de resíduos agro-industriais seja abundante, ainda é restrita quanto aos trabalhos específicos sobre digestão anaeróbia de manipueira. Assim é possível destacar alguns realizados na Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista- UNESP - Campus de Botucatu.

Dentre estes estudos podemos relacionar: MOTTA (1985), TAKAHASHI & CEREDA (1986); CEREDA et al. (1986), FERNANDES JR. (1989), LACERDA (1991), BARANA (1996), FERNANDES JR. (1995). Outros também foram realizados, porém desvinculado aos trabalhos realizados na FCA: ANRAIN (1983), SAMPAIO (1996).

De maneira geral, estes trabalhos mostraram ser viável o tratamento anaeróbio da manipueira, inclusive com índices consideráveis para redução da DQO. Inicialmente, observou-se que o processo tendia para o desequilíbrio quanto a produção e consumo dos ácidos orgânicos, o que tornava impossível a realização do mesmo em sistemas convencionais de tratamento, ou seja, aqueles cujas etapas do processo ocorrem num único reator. Neste sentido, ficou evidente a necessidade de realização do processo em sistema com separação de fases, utilizando-se de reatores ligados em série, sendo um para o desenvolvimento da fase acidogênica, onde são mantidas as condições ideais para os microrganismos responsáveis por esta fase e o outro para a fase metanogênica, onde as condições ideais são mantidos para as bactérias metanogênicas (figura 10.3).

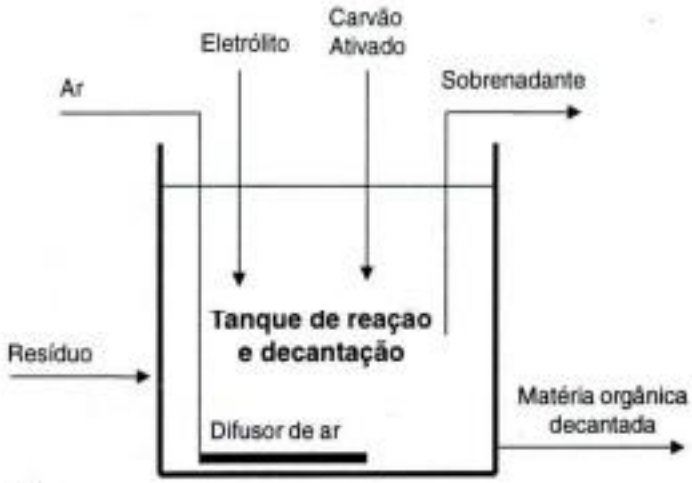
Em termos práticos, concluiu-se que neste tipo de procedimento o tratamento pode ser realizado com um Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) total de 4 a 5 dias, sendo 1 dia para a fase acidogênica (FERNANDES JR, 1995) e entre 3 e 4 dias para a metanogênica (LACERDA, 1991), obtendo-se reduções acima de 90% para a DQO de entrada no sistema, tendo este apresentado um grau de

estabilidade considerável, mostrando que o sistema empregado é o mais recomendável para a manipueira.

Importante destacar também, que sendo a manipueira um resíduo tóxico devido a presença do cianeto, este parâmetro também foi considerado nos estudos realizados, especialmente quanto a redução do mesmo durante o processo de tratamento. Neste caso específico, no trabalho realizado por SAMPAIO (1996), relata o autor que foi possível no sistema com separação de fases obter uma redução de cianeto livre na ordem de 96%, sem que tenha sido observado qualquer interferência no processo em questão.

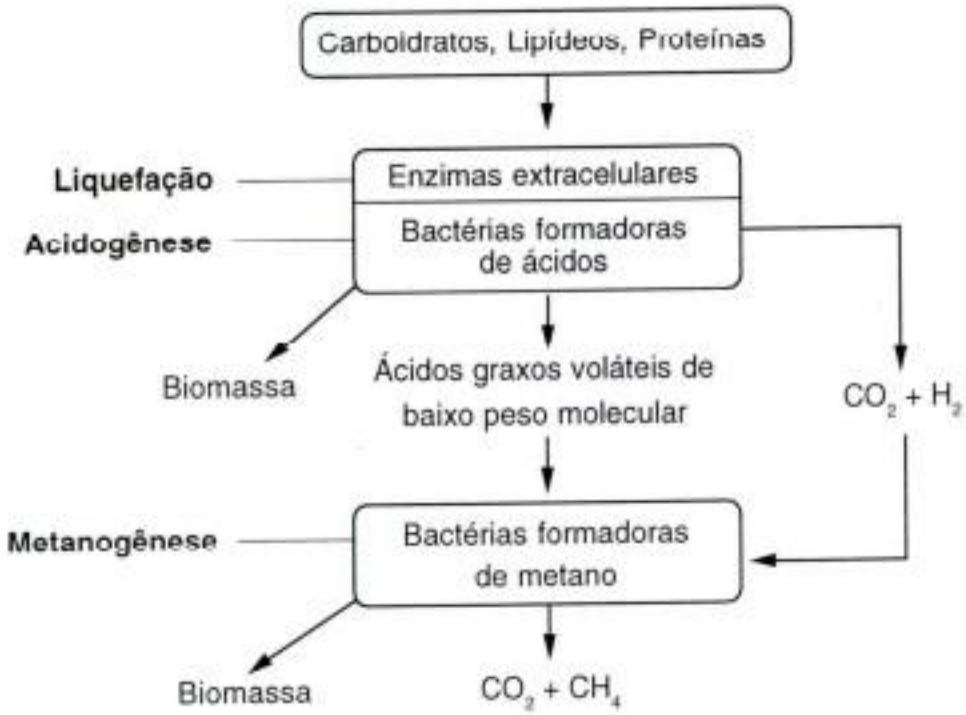
Isto tudo, confirmou que a digestão anaeróbia, especificamente usando separação de fases, pode ser amplamente difundido para este tipo de resíduo, necessitando apenas de estudos que visem adaptá-lo para a utilização de materiais de baixo custo para sua construção, o que certamente pode facilitar a difusão da tecnologia desenvolvida.

É importante salientar que, tal como exposto para o tratamento aeróbio, valem os comentários quanto a escolha do método adequado por parte do empresário, o qual deverá procurar uma assistência técnica com larga experiência para que o sistema seja implantado dentro das mais rígidas técnicas científicas, pois sendo este um processo biológico, tal como descrito para o processo aeróbio, no qual ocorre intensa atividade de microrganismos, às vezes uma planta de tratamento mal dimensionada ou mal executada pode levar ao fracasso do processo de tratamento, acarretando assim problemas, especialmente quanto à credibilidade do sistema em questão.



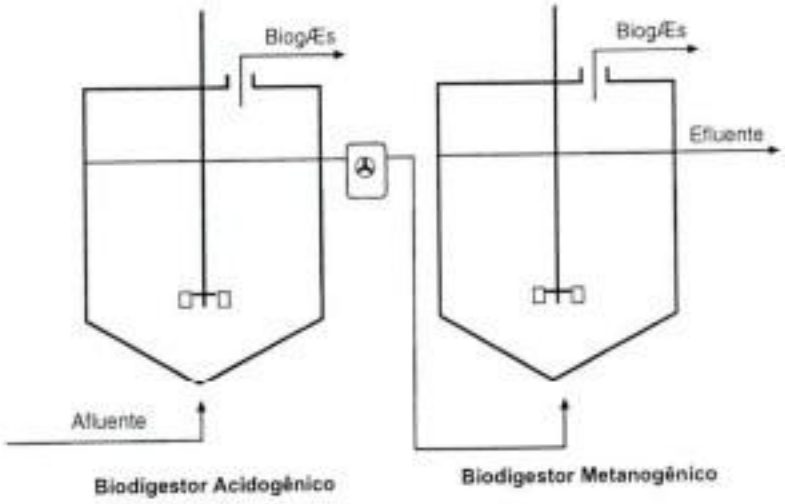
Fonte: MEIDL, 1997

Figura 10.1
Esquema do sistema PACT (Powdered Activated Carbon Treatment) para tratamento de resíduos orgânicos



Fonte: ZOETEMEYER et al, 1982

Figura 10.2
Microbiologia e bioquímica geral do processo de estabilização anaeróbia da matéria orgânica



Fonte: PARIS et. al. (1983)

Figura 10.3
Biodigestores ligados em série para o processo de digestão anaeróbia com separação de fases para etapas de acidogênese e metanogênese

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANRAIN, E. Tratamento de efluentes de fecularias em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, 1983, Camboriú. Anais... Camboriú: FATMA, 1983, p.1-21.

BARANA, A.C. Estudo de carga orgânica de manipueira na fase metanogênica de reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo. 1996. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

BRANCO, S.M. Investigations on biological stabilization of toxic wastes from manioc processing. Prog. Wat. Technol., v.11, p.51-54, 1979.

BRANCO, S.M.; HESS, M.L. Tratamento de resíduos. In: AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, U.A. Biotecnologia: - tópicos de microbiologia industrial. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de Sao Paulo, 1975. Capítulo 3, p.47-76.

BRANCO, S.M. A dinâmica de populações microbiológicas na estabilização aeróbia de resíduos orgânicos de fecularias de mandioca. Rev. Saúde Públ., v.1, p.126-140, 1967.

CEREDA, M.P., FLORS, A., VALLÉS, S., ALBEROLA, J. Tratamiento anaerobio en dos fases de suspensiones amiláceas: I- Fase acidogenica. Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment., v.26, p.101-108, 1986.

FERNANDES JUNIOR, A. Ocorrência de instabilidade e forma de seu controle na digestão anaeróbia de manipueira, em reator de bancada de mistura completa. 1989, 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

FERNANDES JUNIOR, A. Digestão anaeróbia de manipueira em separação de fases: cinética da fase acidogênica. Botucatu, 1995. 140 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

GABARDO, M.T., PAWLOWSKY, V., PATZA, M.G.B., BORIO, T.M.T. Tratamento de despejo de fecularia por lagoa anaeróbia e aerada em série. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, 1981, Fortaleza, Anais... Curitiba, SUREHMA, 1981, p. 1-55.

HESS, M.L. Tratamento de despejos de fecularias por oxidação biológica. Rev. D.A.E., v.23, p.29-35, 1962.

HIEN, P.G.; OANH, L.T.K.; VIET, N.T.; LETTINGA, G. Closed wastewater system in the tapioca industry in Vietnam. Wat. Sci. Technol., v.39, p.89-96, 1999.

LACERDA, T.H.M. Estudo cinético da fase metanogênica de substrato de manipueira. 1991. 91p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LETTINGA, G.; VAN VELSEN, A.F.M.; HOBMA,S.W.; DE ZEEUW, W.; KLAPWICK, A. Use of up flow sludge blanket (UASB) reactor concept for biological waste water treatment, especialey for anaerobic treatment. Biotechnol. Bioeng., v.22, p.699-734, 1980.

MEIDL, J.A. Responding to changing conditions: How powdered activated carbon systems can provide the operational flexibility necessary to treat contaminated groundwater and industrial wastes. Carbon, v.35, p. 1207-1216, 1997.

MEYNELL, P.J. Understanding the process and its requirements. In:_____. Methane: planing a digester. New York, Schoker, 1976. p.6-19

MOTTA, L.C. Utilização de resíduos industriais de farinha de mandioca em digestão anaeróbia. 1985. 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

PARIS, J.M.; LEMA, J.M.; CASAS, C. Criterios de selección de tecnologia en la digestion anerobia de agua residuales. Ingen. Quim., v.175, p.143-10, 1983.

PATZA, M. da G., OLIVEIRA, E.A.; PAUWLOWSKY, U. Tratamento de despejo de fecularias por lodos ativados In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, 1981, Fortaleza. Anais... Curitiba, SUREHMA, 1981, p. 1-47.

POHLAND, F.E. Anaerobic stabilization. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 1, São Paulo, 1982. São Paulo, Sociedade Brasileira de Microbiologia; Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1982. 92p. (mimeografado).

SAMPAIO, B.M.L. Viabilidade do processo de tratamento anaeróbio do resíduo da industrialização da mandioca em sistema de duas fases. 1996. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)-Universidade Estadual de Maringá. Maringá.

TAKAHASHI, M., CEREDA, M.P. Métodos para avaliação de rendimento de manipueira na produção de metano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 4, 1986, Camboriú, Resumos..., Camboriú: SBM, 1986, p.72.

VAN DEN BERG, L. Methane from wastes. Ottawa: Division of Biological Sciences, National Research Council of Canada, 1980. 16p.

ZOETEMEYER, J.R.; MATTHIJSEN, AJ.C.M.; COHEN, A.; BOELHOWER, C. Production inhibition in the acid forming stage of anaerobic digestion process. Wat. Res., v.16, p.633-639, 1982.

CAPÍTULO 11

DIGESTÃO ANAERÓBIA DE MANIPUEIRA

Ana Cláudia Barana *

11.1. INTRODUÇÃO

No contexto de poluição ambiental, as indústrias processadoras de mandioca têm grande responsabilidade, pois sem uma fiscalização rígida por parte do governo sobre o destino do efluente obtido no processo, acabam despejando seus resíduos em rios e terrenos próximos. Para piorar a situação, essas indústrias costumam se concentrar em determinadas regiões, geralmente próximas à fonte de matéria-prima, agravando ainda mais o problema.

Um dos resíduos gerados por essas indústrias é a manipueira, líquido que nas farinheiras é proveniente da etapa de prensagem da massa de mandioca descascada e ralada. Esse resíduo é poluente devido ao elevado teor de matéria orgânica, que pode chegar a 100g DQO/L, e potencialmente tóxico devido a presença do glicosídeo cianogênico linamarina, que pode gerar 140mg/L de cianeto.

As farinheiras tradicionalmente utilizam enorme quantidade de lenha na secagem da farinha, em fornos de baixa eficiência, ocasionando gastos com transporte e queima que poderiam ser evitados. Del Bianchi (1998) estabeleceu o balanço de massa e de energia de uma farinheira de médio porte localizada no município de Santa Maria da Serra – SP, constatando que para cada tonelada de raiz de mandioca processada gera-se de 267 a 419 L de manipueira e consome-se 4,6 x 10^5 kcal pela queima de lenha para secagem da farinha. Segundo o mesmo autor, mais de 70% da energia gerada pela combustão da lenha não é aproveitada devido à baixa eficiência dos fornos (23,48 a 27,28%).

* Professora do Departamento de Zootecnia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa – Praça Santos Andrade, Ponta Grossa - PR CEP: 84001-970 E-mail: demiate@interponta.com.br.

Na tentativa de solucionar os dois problemas, relacionados à poluição e consumo de energia, uma linha de pesquisa relacionada à biodigestão anaeróbia da manipueira vem sendo realizada no CERAT (Centro de Raízes e Amidos Tropicais – UNESP) desde 1985 (Motta, 1985; Fernandes Júnior, 1989; Lacerda, 1991; Fernandes Júnior, 1995; Barana, 1995; Barana 2000). Além da redução da carga orgânica, a produção de biogás pode substituir parte da lenha no processo de secagem da farinha.

11.2. A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Biodigestão anaeróbia é um processo fermentativo microbiano de flora mista onde a matéria orgânica, na ausência de oxigênio livre, é convertida a gases, compostos predominantemente de metano e dióxido de carbono (Massey & Pohland, 1978). Ocorre naturalmente em diversos ecossistemas, como por exemplo nos pântanos, sedimentos de lagos e rios, aparelho digestivo dos animais superiores, inclusive do homem, e em regiões profundas do subsolo, onde leva à formação de grandes quantidades de biogás (Ruiz, 1992).

A digestão anaeróbia é utilizada no tratamento de efluentes para estabilização de grande parte da matéria orgânica. São vários os benefícios deste processo, como os higiênicos (eliminação de parasitas, bactérias e vírus), energéticos (produção de energia renovável e limpa), redução de poluição (tratamento parcial de resíduos) e produção de biofertilizantes estabilizados (Tentscher, 1995; Borja & Banks, 1996).

O processo de digestão anaeróbia se inicia com a ação das bactérias fermentativas (bactérias acidogênicas) que hidrolisam as moléculas complexas através da produção de enzimas extracelulares até seus correspondentes monômeros, que podem ser assimilados pela célula bacteriana. No interior da célula, através de processo de oxi-redução, resulta a formação de dióxido de carbono, hidrogênio e ácidos graxos voláteis tais como ácido acético, fórmico, propiônico, butírico e lático, além do etanol (Nogueira, 1986).

Ácidos graxos e etanol formados, entram em ação as bactérias produtoras de hidrogênio. A função desses microrganismos é degradar esses ácidos e álcoois dando origem a acetato, H_2 e CO_2 (Labib et al., 1992).

Segundo Ghosh (1981) a etapa acidogênica da fermentação assume um importante papel na conversão de matéria orgânica em energia na forma de metano, pois a velocidade de conversão do substrato em acetato deve ser rápida para

que a produção de energia venha a ser economicamente viável, já que o acetato é o principal precursor do metano. Foresti et al. (1999) citam que, não havendo essa conversão, tampouco haverá metanogênese, ocorrendo o acúmulo dos produtos da fase de hidrólise e fermentação no reator.

O metano é produzido por um único grupo de procariontes, as metanobactérias, que, de acordo com a árvore filogenética universal, estão dentro do domínio arquea, grupo distinto das bactérias (Madigan et al., 1997). O domínio das arqueas está mais próximo das eucárias que das bactérias. As metanobactérias convertem o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono, principalmente em metano e dióxido de carbono (Souza, 1984; Nogueira, 1986). São microrganismos anaeróbios estritos, crescendo somente na ausência de oxigênio, muito sensíveis a choques de temperatura, pH e a altas concentrações de ácidos orgânicos (Lema et al., 1981).

Diversos trabalhos têm mostrado que cerca de 70% do metano formado na digestão anaeróbia é produzido pela descarboxilação do acetato (Equação I).

$$CH_3COO^- + H_2O \leftrightarrow CH_4 + HCO_3^- \qquad \text{Equação I}$$

O restante do metano é formado a partir do dióxido de carbono e do hidrogênio (Equação II).

$$4\,H_2 + HCO_3^- + H^+ \leftrightarrow CH_4 + 3H_2O \qquad \text{Equação II}$$

Bryant (1979) cita que a matéria orgânica destruída está diretamente relacionada com a produção de metano. Buswell & Mueller (1962), citados por Bryant (1979), desenvolveram uma equação para se determinar a quantidade de metano que será produzida a partir da composição química do afluente (Equação III).

$$C_aH_bO_c + x\,H_2O \leftrightarrow y\,CH_4 + z\,CO_2 \qquad \text{Equação III}$$

A partir da Equação III tem-se que, na digestão de carboidratos, obtém-se 0,35 L de CH_4/g DQO destruída. McCarty & Smith (1986) afirmam que, teoricamente, 64g de DQO podem ser convertidas em 1 mol de CH_4.

Os grupos de microrganismos envolvidos no processo de biodigestão constituem um complexo e esta diversidade depende basicamente do tipo de material orgânico adicionado ao digestor (Yang & Guo, 1990; Clarens & Moletta, 1990; Labib et al., 1992; Marchain & Krause, 1993).

As populações de microrganismos presentes num biodigestor são interdependentes, simbióticas. As bactérias formadoras de ácidos asseguram que o meio do biodigestor esteja livre de oxigênio e produzem o alimento básico para as metanobactérias. Além disso, produzem enzimas que degradam proteínas e aminoácidos, havendo formação de sais de amônia, única fonte de nitrogênio das metanobactérias. Estas, por sua vez, convertem os produtos finais das primeiras em gases que escapam do sistema. Se esta conversão não ocorresse, o biodigestor seria tão ácido que destruiria as próprias bactérias formadoras de ácidos. As metanobactérias e as bactérias redutoras de sulfato também auxiliam na remoção de hidrogênio do meio, tornando termodinamicamente possível a conversão dos ácidos propiônico, butírico e outros em acetato (Massey & Pohland,1978; Ghosh & Klass, 1978; Bryant, 1979; Villen et al., 1981; Ghosh, 1981; Souza, 1984).

11.3. O TRATAMENTO ANAERÓBIO NA ESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

Originalmente, o propósito da digestão anaeróbia foi o de diminuir a poluição causada pela disposição descontrolada de efluentes no meio ambiente. Depois, durante a Primeira e Segunda Guerra, o objetivo desse processo foi a obtenção de energia. Com a crise do petróleo na década de 70, novamente aumentou a procura por energias alternativas. O período de altos preços e falta de estoque de petróleo foi seguido pela queda dos preços e pelo excesso de oferta do mesmo na década de 80, desestimulando a busca por outros combustíveis (Hobson & Wheatley, 1993).

Hoje, o principal interesse por processos de digestão anaeróbia é devido à necessidade cada vez maior de se preservar o meio ambiente e sua viabilidade não é mais medida em termos de produção de combustível, mas em capacidade de estabilização de resíduos (Hobson & Wheatley, 1993; Seghezzo et al., 1998).

Segundo Andrade Neto & Campos (1999), em locais de clima quente os processos anaeróbios são eficientes na remoção de matéria orgânica e sólidos em suspensão com grandes vantagens: ocupam pequenas áreas, produzem pouco lodo estabilizado, não consomem energia, não necessitam de equipamentos eletromecânicos e requerem construção simples e de fácil operação. Como limitação, não removem completamente os microrganismos patogênicos e nutrientes eutrofizantes, havendo necessidade de um pós-tratamento do resíduo.

11.4. MODELOS DE REATORES PARA O TRATAMENTO ANAERÓBIO DA MANIPUEIRA

A digestão anaeróbia é adequada ao tratamento de efluentes facilmente degradáveis, incluindo, portanto, os efluentes de indústrias produtoras de amido. Apesar disso, várias são as dificuldades que podem se apresentar no tratamento deste tipo de resíduo. Quando se emprega reator de fluxo ascendente, torna-se difícil e oneroso manter o pH dentro dos limites de segurança, pois esse tipo de resíduo fermenta tão rápido que pode ocasionar a acidificação do reator (Cereda et al., 1990). Os reatores que operam com resíduos amiláceos costumam apresentar baixa taxa de aplicação da biomassa, que se traduz na perda de lodo e instabilidade dos mesmos (Borja et al., 1995).

A digestão anaeróbia em duas fases foi proposta pela primeira vez por Ghosh & Pohland (1971). Esses autores comentam que o projeto tradicional dos reatores de digestão anaeróbia coloca os dois grupos de microrganismos (acidogênicos e metanogênicos) no mesmo ambiente físico e químico. Consequentemente, a operação desse processo depende inteiramente das características de sensibilidade e cinética de crescimento das metanobactérias, com tempo de geração estimado entre 2 e 11 dias, sob condições do processo convencional. Em razão da baixa velocidade de crescimento das metanobactérias, o TRH (Tempo de Retenção Hidráulica) deve ser alto para que não sejam arrastadas do processo, a não ser que haja reciclagem de biomassa (Ghosh et al., 1975; Borja & Banks, 1994; Borja & Banks, 1996). Além disso, outra desvantagem deve-se à possibilidade de desequilíbrio na atividade dos microrganismos formadores de ácidos, cujo controle e prevenção pode ser difícil, ou até mesmo impossível, levando ao colapso do processo (Ghosh et al., 1975; Borja & Banks, 1994; Borja & Banks, 1996).

Digestores de fase única não são viáveis no tratamento de efluentes com altas cargas orgânicas, devendo haver separação das mesmas em dois ambientes fisicamente separados (Ghosh et al., 1985). Segundo os mesmos autores, o teor de metano no biogás proveniente de digestor de duas fases é maior que no de fase única, significando menor custo no processo de purificação do mesmo. Outra vantagem do processo de duas fases é que pode-se trabalhar com TRHs menores, obtendo-se a mesma ou até maior redução de DQO, refletindo numa drástica redução no volume do reator e consequente redução do custo de implantação (Cohen et al., 1979; Ghosh et al., 1985).

O sistema de digestão de duas fases consiste em dois reatores que operam

em série, separados fisicamente, onde em cada um se processa uma fase bioquímica, acidogênica e metanogênica. O desenvolvimento do primeiro reator é controlado para promover o crescimento e proliferação de bactérias formadoras de ácidos, enquanto que o segundo reator recebe o produto do primeiro e tem as condições ajustadas para serem ótimas às metanobactérias (Ghosh et al., 1975; Paris et al., 1983; Borja & Banks, 1996).

Para se conseguir a separação das fases, várias técnicas têm sido empregadas, tais como a separação por membranas, controle cinético e de pH. A combinação das duas últimas, por serem mais eficientes, são as utilizadas para se conseguir essa separação (Ince, 1998).

Barbosa (1981), Ghosh et al. (1985) e Ince (1998) citam alguns benefícios da separação dos processos em duas fases, em comparação com o processo de fase única:

- possibilidade de manutenção de condições ambientais ótimas para cada grupo de microrganismos com o consequente aumento da velocidade de conversão do substrato, permitindo uma redução no volume total do reator;
- possibilidade de controle apropriado da taxa de aplicação do reator metanogênico, possibilitando a adaptação entre os formadores de ácido e os produtores de metano, evitando-se prejuízos decorrentes da redução do pH ou acúmulo de ácidos voláteis ;
- remoção de lodo formado pela população de microrganismos formadores de ácidos, de crescimento rápido, sem que ocorra redução das bactérias produtoras de metano, de crescimento lento.

Cereda et al. (1986), reconhecendo as diferenças fisiológicas entre os dois grupos de microrganismos, acidogênicos e metanogênicos, sugerem a adoção da digestão anaeróbia com separação de fases para o tratamento da manipueira.

Fernandes Júnior (1989), estudando a digestão anaeróbia de manipueira em reatores de bancada de mistura completa, verificou a instabilidade do processo devida à excessiva acidificação do meio, atribuída ao modelo de reator empregado. Na conclusão do trabalho, o autor também sugere a separação física das fases, acidogênica e metanogênica, como alternativa para tratamento desse resíduo.

Lacerda (1991), fazendo o estudo cinético da fase metanogênica, tendo manipueira como substrato, concluiu que o TRH ótimo para essa fase é de 3 dias. A fase acidogênica foi conduzida em processo de batelada à temperatura e pressão ambiente, com pH mantido entre 5,5 e 6,0 através da estabilização pela adição de NaOH. O efluente da fase acidogênica, após diluído e ter pH corrigido para 7,95, foi utilizado como substrato para a fase metanogênica, mantida a

32°C. O mesmo autor conseguiu 80% de eficiência na remoção da carga orgânica, com TRH de 3 dias, e produção de 0,68 L de gás/g DQO destruída, com 75,5% de metano, ou seja, 0,555 L de metano/g DQO destruída. Quanto a remoção de cianeto, para este TRH, obteve 37,5%.

Fernandes Júnior (1995), utilizando manipueira como substrato, fez o estudo cinético da fase acidogênica em reator anaeróbio de mistura completa, variando o TRH de cinco até um dia, e a carga orgânica diária de 1,1 a 3,3g DQO/L de reator. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,0 pela adição de NaOH 30% e a temperatura em 35°C. Concluiu que o TRH de um dia era adequado para a fase acidogênica, onde a conversão da matéria orgânica a ácidos foi de 57%, superior aos outros TRHs estudados (dois, três, quatro e cinco dias), onde a conversão foi 39%, 39%, 40% e 35%, respectivamente.

Barana (1995) realizou estudo de carga de manipueira na fase metanogênica em filtro anaeróbio de fluxo ascendente. A fase ácida foi feita em batelada, sem adição de inóculo, com bactérias próprias da manipueira, à temperatura e pressão ambiente, com pH mantido entre 5,5 e 6,0 pela adição de NaOH 50% (p/v). O pH do afluente da fase metanogênica foi de 6,9. Fez-se correção dos teores de sais minerais, para que ficassem próximos à concentração da manipueira sem diluição. Constatou-se que, com TRH fixo em três dias e temperatura de 32°C, o biodigestor não apresentou sinais de instabilidade com cargas orgânicas diárias de entrada de 0,33g, 1,10g, 2,25g, 5,24g e 8,48g DQO/L reator. Na análise cromatográfica não foram detectados ácidos lático, acético, propiônico, butírico, iso-butírio, valérico e iso-valérico no efluente dessa fase, pois provavelmente foram totalmente convertidos a gases.

Segundo Borja & Banks (1994), reatores anaeróbios de filme fixo são mais eficientes na remoção da matéria orgânica e produção de metano que os reatores que não possuem suporte para fixação das bactérias. Chua et al. (1997) complementam que reatores anaeróbios de filme fixo têm sido a opção mais fácil para tratar resíduos, além de suportar melhor a choques de carga hidráulica. Sua estabilidade e habilidade de recuperação se devem à imobilização do biofilme, pois a biomassa retida se restabelece quando suas condições voltam a ser favoráveis.

Sampaio (1996) trabalhou com digestão anaeróbia de manipueira em biodigestor de duas fases. A fase acidogênica ocorreu em reator de mistura completa, TRH de 1 dia, pH mantido entre 5,5 e 6,0 através da adição de $NaHCO_3$ 1N, e a metanogênica em reator do tipo híbrido, com 50% do volume preenchido com bambu, TRH de 4 dias, pH do afluente mantido entre 7,0 e 7,5 através da adição

de NaOH 0,5N. Ambos os reatores foram operados a temperatura ambiente. Obteve redução de DQO, acidez volátil e cianeto livre de 94%, 87% e 97%, respectivamente, e produção de 0,32L de metano/g DQO destruída.

Técnicos da CETESB (1994) recomendam o uso de biodigestores anaeróbios para o tratamento de manipueira, devido ao consumo de energia dos tratamentos aeróbios e à necessidade de grandes áreas para o tratamento em lagoas de estabilização.

11.5. A FASE ACIDOGÊNICA DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA COM SEPARAÇÃO DE FASES

A fase acidogênica da biodigestão anaeróbia constitui-se numa etapa onde microrganismos de diversas espécies degradam matéria orgânica complexa a ácidos orgânicos, CO_2 e H_2 (Eastman & Ferguson, 1981; Ghosh et al., 1985).

Segundo Eastman & Ferguson (1981), a fase acidogênica é vista como dois processos ocorrendo em série. No primeiro, sólidos degradáveis são hidrolisados a moléculas menores, solúveis. No segundo processo, as bactérias formadoras de ácidos usam esses compostos intermediários solúveis como fonte de energia e para o crescimento, resultando em produtos de fermentação e biomassa celular. Yang & Guo (1990) citam que, para formação do acetato, o propionato e o butirato são as duas substâncias intermediárias mais encontradas em digestores anaeróbios, seguidos de lactato e etanol.

A pressão parcial de hidrogênio do reator acidogênico deve ser mantida baixa para favorecer as condições termodinâmicas de conversão de ácidos voláteis e álcoois em acetato (sob condições de 1 atm de H_2). Caso contrário haverá acúmulo de ácidos propiônico e butírico (Speece, 1983).

Segundo Foresti et al. (1999), a conversão dos compostos intermediários a acetato é termodinamicamente desfavorável, ou seja, só ocorrerá no sentido de formação de acetato e hidrogênio se, ao mesmo tempo, esses dois componentes forem removidos do meio, o que acontece pela ação das metanobactérias.

Eastman & Ferguson (1981) afirmam que a etapa que pode limitar a fase ácida é a hidrólise do substrato solúvel particulado. Já a produção de carbono solúvel é significativamente afetada pela queda do pH. O carbono orgânico produzido nesta fase consiste basicamente de ácidos orgânicos, que são de 85 a 95% da DQO medida, sendo os mais importantes o acético e o propiônico. A distribuição dos ácidos voláteis é afetada pelas condições de operação e princi-

palmente pelo pH. Segundo Zoetemeyer et al. (1982), nesta fase, a perda de DQO na forma de gás é restrita a menos de 10%, e quando o efluente a ser tratado é rico em glicose, sacarose ou amido, a hidrólise não é mais a etapa limitante do processo, pois esses carboidratos são facilmente hidrolisados.

Os microrganismos da fase acidogênica são distintos daqueles da metanogênica quanto à cinética e requerimentos nutritivos (Eastman & Ferguson, 1981; Ghosh et al., 1985). McCarty & Smith (1986), Anderson et al. (1994) e Ince (1998), citam que o pH mais apropriado para o crescimento das bactérias acidogênicas está entre 5,0 e 5,5. Segundo Raynal et al. (1998) o pH de 5,5 na fase acidogênica, além de propiciar melhores condições de crescimento para as bactérias hidrolíticas, desestimula a ação das metanobactérias, o que permite aumento da concentração de ácido acético.

Chanakya et al. (1992), estudando tratamento anaeróbio de lixo urbano em reator de duas fases, conseguiram notar claramente a separação das fases quando a quantidade total de ácidos orgânicos dentro do biodigestor acidogênico era de 5 a 6 g/L e pH 5,0. Os mesmos autores sugerem que a eficiência dos digestores de duas fases pode ser calculada baseando-se na quantidade de ácidos orgânicos produzidos na fase ácida.

Cohen et al. (1979) obtiveram em fermentação ácida de meio contendo 1% (p/v) de maltose produção de 1,1g de ácidos graxos voláteis e etanol, 1,1 g de células secas, 1,8 L de H_2 e 1,3 L de CO_2. Não se detectou traços de metano.

Beeftink & Heuvel (1987) estudaram a fermentação de meio contendo glicose a 55,5 mmol/L como única fonte de carbono, pH de 5,8, mantido através de correção automática de pH com NaOH e temperatura de 30° C. Notaram que a glicose foi convertida completamente a acetato (15 mmol/L) e butirato (16 mmol/L) e, em menor quantidade, a propionato (3 mmol/L). Observaram também grande produção de ácido valérico, que foi atribuído a processos de lise celular, pois este não é produto comum da fermentação da glicose, mas sim da fermentação de macro moléculas mais complexas.

Segundo Elefsiniotis & Oldham (1994), o perfil de formação de ácidos orgânicos é influenciado por vários fatores como pH, tempo de retenção hidráulica, temperatura, potencial de oxi-redução, configuração do reator, características do substrato, minerais disponíveis, etc.

Cereda et al. (1986) notaram que o processo fermentativo de uma suspensão amilácea de composição definida, elaborada à base de fécula de batata e sais para assemelhar-se à manipueira, originou ácido acético, propiônico e butírico, e quantidades menores de iso-butírico, valérico e iso-valérico.

Fernandes Júnior (1995), estudando a cinética da fase acidogênica e utilizando manipueira como substrato, obteve concentrações elevadas de ácido lático, acético e propiônico no efluente de um reator anaeróbio de mistura completa com TRH de 1 dia.

Barana & Cereda (2000), fazendo estudo de carga de manipueira na fase acidogênica em um reator de mistura completa, notaram que a produção de ácido acético e lático é diretamente proporcional à carga orgânica de entrada. Já a produção dos ácidos propiônico, butírico e valérico, apresentaram tendência de aumento proporcional à carga de entrada até de 50 g DQO/L.dia. Com cargas acima desse valor, a produção desses ácidos apresentou tendência a diminuir.

11.6. A FASE METANOGÊNICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DUAS FASES

Na fase metanogênica da biodigestão anaeróbia ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, produzidos durante a fase acidogênica, a metano, CO_2 e água. Segundo Foresti et al. (1999), a metanogênese pode ser realizada por bactérias acetotróficas, a partir da redução do ácido acético, ou por bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do dióxido de carbono com H_2. Cerca de 70% do metano gerado nesta fase é proveniente da redução do acetato, e os outros 30% vêm, principalmente, da redução do CO_2 com H_2 (Yang & Guo, 1990).

Sendo o acetato o principal precursor do metano, Anderson et al. (1994) citam que atenção especial deve ser dada às espécies metanogênicas *Methanothrix soenhngenii, Methanosarcina barkeri* e *Methanosarcina mazei*, que apresentam grande afinidade com esse substrato. Wiegant (1987), citado por Anderson et al. (1994), explica que as espécies *Methanothrix* , apesar de sua afinidade com acetato, predominam em condições de baixa concentração desse componente, enquanto que *Methanosarcinas* prevalecem em altas concentrações.

As espécies metanogênicas são sensíveis a baixos valores de pH, recomendando a manutenção de reatores com valores próximos à neutralidade (McCarty & Smith, 1986; Anderson et al., 1994; Ince, 1998; Foresti et al., 1999).

Anderson et al. (1994), fazendo o estudo microbiológico de um biodigestor de duas fases, utilizando efluente de laticínio como substrato, constataram que o número de metanogênicas e não-metanogênicas é diferente no reator acidogênico e metanogênico. Na fase acidogênica, com pH mantido entre 5,0 e 5,5, a concentração de espécies metanogênicas foi de 0,01 a 1%, enquanto na fase

metanogênica, com pH mantido entre 7,2 e 7,5, essa concentração ficou entre 1 e 9% da biomassa total.

11.7. O PROCESSO DE PARTIDA DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO

Chama-se de partida de um biodigestor ao início do processo que envolve a inoculação do sistema, a adaptação do lodo ao resíduo e às condições de carga e vazão específicas para esta fase.

A partida de um biodigestor é ponto de crucial importância, pois uma partida mal feita pode levar o sistema à falência antes mesmo de começar o processo de tratamento (Stronach et al., 1987). O maior problema na partida de biodigestores reside, em muitos casos, no desconhecimento da composição do efluente, o que não possibilita a seleção de culturas apropriadas para digerir o substrato desejado (Hobson & Wheatley, 1993).

A partida de um biodigestor significa uma operação em regime transiente, onde se está alterando condições de cultivo e, portanto, incorre-se no risco de uma inibição das metanogênicas. Um *start-up* (partida) executado de forma inconveniente pode levar a errônea conclusão de que o material a ser tratado não é biodegradável (Schmidell et al., 1986).

Uma das causas de falência de um biodigestor ocorre durante a partida do mesmo, porque a flora metanogênica, que geralmente leva um tempo maior que a acidogênica para se reproduzir, não consegue metabolizar todo o ácido orgânico a metano, causando queda do pH. Valores baixos de pH inibem a metanogênese e a situação tende a piorar. Assim, cargas orgânicas de entrada baixas previnem a formação de grandes quantidades de ácido (Hobson & Wheatley, 1993).

Um dos maiores problemas da partida consiste na adaptação dos microrganismos ao efluente, principalmente se este for complexo e heterogêneo. Uma vez estando a biomassa estabilizada, o reator também está, por isso, recomenda-se introdução gradual do resíduo até a carga desejada (Stronach et al., 1987). Hobson & Wheatley (1993) consideram a partida de um biodigestor relativamente fácil, pois as bactérias presentes no inóculo aumentam de número, sofrem mutações e expressam diferentes atividades enzimáticas conforme se adaptam ao substrato.

Nogueira (1986) cita duas maneiras de se iniciar a biodigestão: com ou sem a colocação de um inóculo rico em metanobactérias. A vantagem da inoculação é reduzir o tempo de partida e o período necessário para a estabilização do

biodigestor com produção normal de biogás. No caso de não haver inoculação, alimenta-se continuamente o biodigestor com o substrato a ser tratado, até a obtenção de flora bacteriana desejável. Como prevenção, deve-se também partir com um tempo de retenção hidráulica elevado, diminuindo-o gradativamente de modo que não se acumulem ácidos voláteis no reator (Craveiro, 1982).

Uma maneira de se monitorar a partida é medir a produção de gás, verificar se é inflamável ou não, analisar os componentes do gás, medir a produção de ácidos e pH (Hobson & Wheatley, 1993).

Smith et al. (1977) iniciaram a partida de um filtro anaeróbio, alimentando-o e esperando que houvesse produção de gás. Fazia-se então um teste de chama queimando-o e verificando se havia formação de uma chama azul. Em caso afirmativo, fazia-se nova alimentação com uma carga maior, e assim por diante até se chegar ao valor de carga desejado.

Stronach et al. (1987) promoveram, com sucesso, a partida de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, para tratamento de efluente de indústria farmacêutica rico em n-propanol e dimetilformamida, com taxas crescentes de carga orgânica, que era aumentada com o aumento da DQO do afluente concomitante à redução do TRH.

Ruiz et al. (1997), tratando resíduo de abatedouros em um reator do tipo UASB, fizeram a partida com cargas orgânicas crescentes de efluente, iniciando-se a alimentação com 0,5 kg DQO/m^3.dia. Após 20 dias, aumentou-se a carga para 1 kg DQO/m^3.dia (TRH de 7 dias) e, a partir disso, a carga orgânica foi aumentada gradualmente até o valor de 4 kg DQO/m^3.dia.

Lacerda (1991), trabalhando com biodigestor anaeróbio de duas fases para o tratamento de manipueira, utilizou como inóculo do reator metanogênico, um filtro anaeróbio de fluxo ascendente mantido a 32°C, esterco bovino diluído e aclimatado ao substrato através da adição de pequenas cargas de manipueira.

Fernandes Júnior (1995), fazendo o estudo cinético da fase acidogênica em um reator anaeróbio de mistura completa para tratamento de manipueira, utilizou como inóculo fluido ruminal extraído de bovino fistulado, o qual foi filtrado e adicionado ao reator numa quantidade correspondente a 13,3% do volume útil do mesmo. O processo de partida foi feito com aumento progressivo de carga diária de 1,1 a 3,3g DQO/L de reator, simultaneamente à diminuição de TRH, de 10 para 6 dias. Em todo esse período o pH foi mantido entre 5,5 e 6,0, pela adição de NaOH 30% no reator.

Barana (1995), para fazer o estudo de carga de manipueira na fase metanogênica de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente, utilizou um reator que estava

inativado há 4 meses. Não houve adição de inóculo e o reator começou a produzir biogás uma semana após a partida. A adaptação foi feita com TRH fixo em três dias e cargas crescentes de manipueira a partir de 0,33 g DQO/L.dia, que eram aumentadas a cada quatro TRHs.

Camilleri (1988), utilizando reator anaeróbio de leito fixo e fase única para tratamento de resíduos de abatedouro, notou que a "repartida" do reator foi fácil depois que o mesmo ficou paralisado por alguns meses. Segundo Yang & Guo (1990) as metanobactérias, quando imobilizadas, recuperam sua atividade em uma semana, mesmo estando sem alimentação de matéria orgânica há meses.

Sampaio (1996), estudando a viabilidade do processo de tratamento anaeróbio de manipueira em sistema de duas fases, utilizou como inóculo, em ambos os reatores, lodo proveniente de reator anaeróbio de leito fixo de uma Estação de Tratamento de Esgoto da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), da cidade de Maringá - PR. A partida do reator acidogênico, que possuía cinco litros de volume útil, foi feita preenchendo-o com quatro litros de inóculo e um litro de manipueira com 450 mg O_2/L, 15% da DQO final desejada. A cada dois dias, retirava-se um litro do sobrenadante e adicionava-se outro litro de manipueira com 450 mg O_2/L, até se chegar à DQO de entrada de 3000 mg O_2/L.

Para o lodo inserido no reator metanogênico, Sampaio (1996) realizou a adaptação fora do digestor, em um recipiente plástico com capacidade para 10 litros, onde foram adicionados nove litros de lodo e um litro de manipueira fermentada. Após cada TRH (quatro dias) retirava-se um determinado volume de sobrenadante e adicionava-se o mesmo volume de manipueira acidificada, até se chegar a adição de 5 litros de manipueira fermentada. Feita a adaptação, preencheu-se 33% do reator metanogênico com o lodo aclimatado. A partir daí a alimentação foi contínua e o pH mantido entre 7,0 e 7,5 com adição de NaOH 0,5N no afluente. Sampaio (1996) obteve, com o processo em regime contínuo, redução de 90,33% de cianeto e de 89% de DQO.

11.8. MONITORAMENTO E CONTROLE DO PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

Segundo Chernicharo et al. (1999), os objetivos de qualquer sistema de tratamento de efluentes, sejam eles proteção à saúde da população ou ao meio ambiente, só serão alcançados se o processo for bem concebido, bem detalhado,

bem implantado e, também, corretamente operado. Os mesmos autores sugerem o fluxograma ilustrado na Figura 11.1 para se alcançar os resultados desejados.

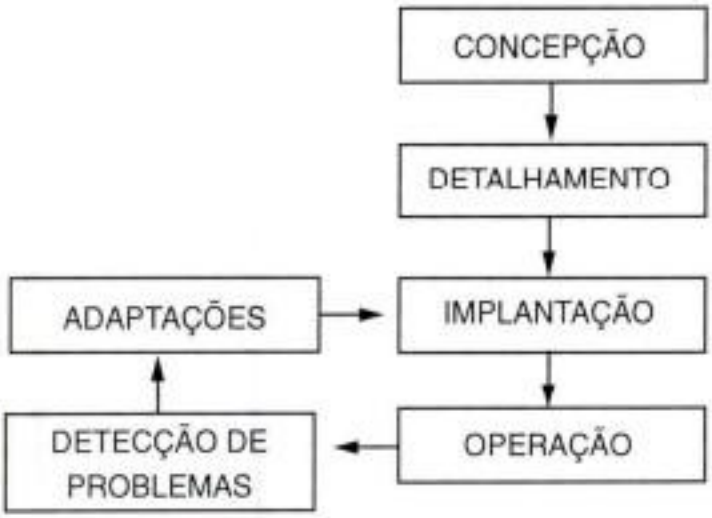


Figura 11.1
Fluxograma de ações para a consecução de um sistema de tratamento de efluentes (Fonte Chernicharo et al., 1999)

Tendo como objetivo a transformação em biogás da maior quantidade possível de matéria orgânica contida no substrato, um sistema de digestão anaeróbia deve trabalhar dentro de estreitos limites operacionais, que o tornam vulnerável a desequilíbrios provocados por variações que afetam diretamente as metanobactérias. Estas são facilmente inibidas por agentes químicos, variações de temperaturas, concentração do substrato na fonte de carbono e adjuntos, de modo que um sistema que pretenda controlar este processo deve eleger certas variáveis de controle e a manutenção constante de outras, considerando-se a estratégia a ser aplicada.

Segundo Pullammanappallil et al. (1991), o planejamento da estratégia de controle busca reduzir a extensão da dificuldade em se controlar sistemas onde por exemplo, uma carga de alimentação acima da média, produziria um pico de produção de biogás que fugiria à capacidade de destino do produto, além de colocar fora de operação os sensores que monitoram o sistema. De qualquer modo os sistemas de controle não são efetivos quando há agentes inibidores junto com a alimentação dos biorreatores e este problema torna-se uma exceção que não é considerada em projetos.

Um aumento na taxa de alimentação num processo contínuo de digestão anaeróbia já estabilizado, provocará um aumento da concentração de ácidos voláteis, hidrogênio molecular e dióxido de carbono no reator acidogênico. O desequilíbrio produzido se reflete na queda do valor de pH e consequente diminuição do efeito tampão produzido pela concentração de carbonatos que tendem a desaparecer em soluções com pH menor que 4,0. Esta taxa por sua vez afeta a atividade das bactérias hidrolíticas, que neste processo convertem os açúcares contidos na manipucira em oligossacarídeos, disponibilizando-os às acidogênicas. Como consequência, num primeiro momento, observa-se um aumento da concentração de ácidos orgânicos, seguido de um consistente decréscimo desta concentração devido à diminuta atividade microbiana (Pullammanappallil et al., 1991).

A correção para um desequilíbrio como este, seria a adição de substâncias de reações básicas para aumentar o pH e tamponar o meio de fermentação. Rozzi et al. (1988) adotam semelhante estratégia, utilizando bicarbonato de cálcio e de sódio para manter estáveis as condições em um reator UASB.

Assim que o resultado do tratamento de efluentes esteja dentro do planejado, deve-se monitorar o sistema constantemente através de variáveis previamente estipuladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, G. K.; KASAPGIL, B.; INCE, O. Microbiological study of two-stage anaerobic digestion during start-up. Wat. Res. v.28, n.11, p. 2383-2392, 1994.

ANDRADE NETO, C. O.; CAMPOS, J. R., Introdução. In: Tratamento de esgotos por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro : PROSAB 1999. 435p.

BARANA, A.C. Estudo de carga de manipueira em fase metanogênica em reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo. 1995. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BARANA, A. C. Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica. 2000. 95p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade estadual Paulista, 2000.

BARANA, A. C. ; CEREDA, M. P. Perfil de ácidos orgânicos no efluente da fase acidogênica de um biodigestor anaeróbio com separação de fases para tratamento de manipueira. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, Porto Seguro, 2000. (CD-ROM).

BARBOSA, R. A. Novas tecnologias em biodigestores. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO, 5, 1982, Viçosa. Anais...Viçosa.

BEEFTINK, H. H.; VAN DEN HEUVEL, J. C. Novel anaerobic gas-lift reactor (AGLR) with retention of biomass: start-up and establishment of hold up. Biotechnol. and Bioeng., v.30, p.233 -238, 1987.

BORJA, R.; BANKS, C. J. Kinetic study of anaerobic digestion of fruit processing wastewater in immobilized-cell bioreactors. Biotechnol. Appl. Biochem., v.20, p.79-92, 1994.

BORJA, R.; BANKS, C. J.; MARTIN, A. Influence of the organic volumetric loading rate on soluble chemical oxygen demand removal in a down-flow fixed-bed reactor treating abattour wastewater. Chem. Biotechnol., v.64, p.361-366, 1995.

BORJA, R. ; BANKS, C. J. Evaluation of instability and performance of an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor treating high-strength ice-cream wastewater. Biotechnol. Appl. Biochem., v.23, p.55-61, 1996.

BRYANT, M. P. Microbial methane production - theorical aspects. J. Anim. Sci., v.48, p.193-201, 1979.

CAMILLERI, C. Anaerobic digestion of food processing wastewater: industrial performance of fixed-film technologies for methane recovery and pollution abatement. In: FIFTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF ANAEROBIC DIGESTION, 5, 1988, Bologna, Procedeings... Bologna: 1988. p.473-476.

CEREDA, M.P.; FLORS, A.; VALLÉS, S.; ALBEROLA, J. Tratamiento anaerobio en dos fases de suspensiones amiláceas. I. Fase acidogênica. Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment., v.26, p.101-108, 1986.

CEREDA, M.P.; BONET, A. F.; VALLÉS, S.; ALBEROLA, J. Tratamento anaeróbio en duas fases, de suspensões amiláceas. II. Fase metanogênica. Influência da adição de CN-. Rev. Microbiol., v.21, p.73-8, 1990.

CETESB. Caracterização de efluentes de indústria de farinha de mandioca. São Paulo, 1994. 53p. mimeogr.

CHANAKYA, H. N.; BORGAVONKAR, S.; RAJAN, M. G. C.; WAKI, M. Two-phase anaerobic digestion of water hyacinth or urban garbage. Bioresour. Technol., v.42, p.123-131, 1992.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HANDEL, A.; CAVALCANTI, P. F. F. Controle operacional de reatores anaeróbios. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: PROSAB, 1999. 435p.

CHUA, H.; HU, W. F.; YU, P. H. F.; CHEUNG, M. W. L. Responses of an anaerobic fixed-bed film reactor to hydraulic shock loadings. Bioresour. Technol., p.79-83, 1997.

CLARENS, M.; MOLETTA, R. Kinetic studies of acetate fermentation by Methanosarcina sp MSTA-1. Appl. Microbiol. Biotechnol, v.33, p.239-44, 1990.

COHEN, A.; ZOETEMEYER, R. J.; VAN DEURSEN, A.; VAN ANDEL, J. G. Anaerobic digestion of glucose with separated acid production and methane formation. Wat. Res., v.13, p.571-580, 1979.

CRAVEIRO, A. M. Considerações sobre projetos de plantas de biodigestão. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 1, 1982, São Paulo: Sociedade Brasileira de Microbiologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1982. 39p. (Mimeogr.).

DEL BIANCHI, V. Balanço de massa e de energia do processamento de farinha de mandioca em uma empresa de médio porte do estado de São Paulo. 1998. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

EASTMAN, J. A.; FERGUSON, J. F. Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion. J. WPCF, v.53, p. 352-366, 1981.

ELEFSINIOTIS, P.; OLDHAM, W. K. Anaerobic acidogenesis of primary sludge: the role of solids retention time. Biotech. Bioeng., v.44, p.7-13, 1994.

FERNANDES JÚNIOR, A. Ocorrência de instabilidade forma de seu controle na digestão anaeróbia de manipueira, em reator de bancada de mistura completa. 1989, 118p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

FERNANDES JÚNIOR, A. Digestão anaeróbia de manipueira com separação de fases: cinética da fase acidogênica. 1995. 139p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Ed. PROSAB, Rio de Janeiro, Campos, J. R., 435p., 1999.

GHOSH, S.; POHLAND, F. G. Development anaerobic stabilization of organic wastes - the two phase conception. Environ. Lett., v.l, n.4, p.255, 1971.

GHOSH, S.; CONRAD, J. R.; KLASS, D. L. Anaerobic acidogenesis of wastewater sludge, J. WPCF, v.47 (1), p.30-45, 1975.

GHOSH, S.; KLASS, D. L. Two phase anaerobic digestion. Process. Biochem., v. 13, p. 15-25, 1978.

GHOSH, S. Kinetics of acid-phase fermentation in anaerobic digestion. Biotechnol. Bioeng., v. I I, p. 301-313, 1981.

GHOSH, S.; OMBREGT, J. P.; PIPYN, P. Methane production from industrial wastes by two-phase anaerobic digestion. Wat. Res., v.19, p.1083-1088, 1985.

HOBSON, P. N.; WHEATLEY, A. D. Anaerobic digestion: Modern theory and practice. Londres: Elsevier Applied Science, 1993. 269p.

INCE, O. Performance of a two-stage anaerobic digestion system when treating dairy wastewater. Wat. Res., v.32, n.9, p.2707-2713, 1998.

LABIB, F.; FERGUSON, J. F.; BENJAMIN, M. M.; MERIGH, M.; RICKER, N. L. Anaerobic butyrate degradation in fluidized-bed reactor. Effects of increased concentration of H2 and acetate. Environ. Sci. Technol., v.26, p.369-76, 1992.

LACERDA, T. H. M. Estudo cinético da fase metanogênica de substrato de manipueira. 1991. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LEMA, J. M.; PARIS, J. M.; CASAS, C. Depuración de águas residuales con un alto contenido en acetato por digestion anaerobia: Estudio cinético. In: CONGRESO SOBRE CONTROLE DE BAJO COSTO PARA LA DEPURACIÓN DE ÁGUAS RESIDUALES, 1, 1981, Madri, 18-20, Noviembre, 1981, p.1-9.

MADIGAN, M. T., MARTINKO, J. M., PARKER, J. Brock: biology of microrganisms. 8. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 986p.

MARCHAIN, U.; KRAUSE, C. Propionic to acetic acid ratios in overloaded anaerobic digestion. Biores. Technol., v.43, p.195-203, 1993.

MASSEY, M. L.; POHLAND, F. G. Phase separation of anaerobic stabilization by kinetic controls. J. Water Pollut. Control. Fed., v.50, p.2204 -22, 1978.

McCARTY, P. L.; SMITH, D. P. Anaerobic wastewater treatment. Environ. Sci. Technol., v.20, n.12, p.1200-6, 1986.

MOTTA, L. C. Utilização de resíduos de industrialização de farinha de mandioca em digestão anaeróbia. 1985. 119p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

NOGUEIRA, L. A. H. Biodigestão alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986. 93p.

PARIS, J. M.; LEMA, J. M.; CASAS, C. Critérios de selección de tecnologia en la digestion anaerobia de águas residuales. Ingen. Quim., v.175, p. 143-50, 1983.

PULLAMMANAPPALLIL, P.; HARMON, J.; CHYNOWETH, D. P.; LYBERATOS, G.; SVORONOS, S. A. Avoiding digester imbalance through real-time expert system control of dilution rate. Appl. Biochem. Biotechnol., v.28-29, p.33-42, 1991.

ROZZI, A., LIMONI, N., MENEGATTI, S., BOARI, G., LIBERTI, L., PASSINO, R. Influence of Na and Ca alkalinity on UASB treatment of olive mill effluents. Part 1: preliminary results. Proc. Biochem., June, p. 86-90, 1988.

RUIZ, I.; VEIGA, M. C.; SANTIAGO, P.; BLÁZQUEZ, R. Treatment of slaughterhouse wastewater in a UASB reactor and an anaerobic filter. Biores. Technol., v.60, p.251-258, 1997.

RUIZ, R. L. Microbiologia zootécnica. São Paulo: Roca, 1992. 314p.

SAMPAIO, B. M. L. Viabilidade do processo de tratamento anaeróbio de resíduos da industrialização da mandioca em sistemas de duas fases. 1996, 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

SCHMIDELL, W. ; CRAVEIRO, A. M. ; VARELLA, R. F. ; PERES, C. S. ; HIRATA, Y. S. Início de operação de biodigestores para resíduos sólidos. Rev. Microbiol, v.17, p.162-72, 1986.

SEGHEZZO, L.; ZEEMAN, G.; VAN LIER, J. B.; HAMELERS, H. V. M.; LETTINGA, G. A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. Biores. Technol., v.65, p.175-190, 1998.

SMITH, R. E.; REED, M. J.; KIKER, J. T. Two-phase anaerobic digestion of swine waste. Trans. of the ASAE, p. 1123-28, 1977.

SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. Rev. DAE., v.44, p.88-94,1984.

SPEECE, R. E. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. Environ. Sci. Technol, v.17, p.416A-427A, 1983.

STRONACH, S. M.; RUDD, T.; LESTER, J. N. Start-up of anaerobic bioreactors on high strength industrial wastes. Biomass, v.13, p.173-197, 1987.

TENTSCHER, W. K. Biogas technology as a component of food processing systems. Food Technol., jan., p.80-85, 1995.

VILLEN, R. A.; CRAVEIRO, A. M.; ROCHA, B. M.; NETO, W. S. Tratamento de vinhoto por digestão anaeróbia. Sistema de fluxo ascendente. Energia, v.3, p.22-4, 1981.

YANG, S. T.; GUO, M. kinetics of methanogenesis from whey permeate in packed bed immobilized cells bioreator. Biotechnol. Bioeng., v.36, p. 427-436, 1990.

ZOETEMEYER, R. J.; VAN DEN HEUVEL, J. C.; COHEN, A. pH influence on acidogenic dissimulation of glucose in an anaerobic digestor. Wat. Res., v.16, p.303-11, 1982.

CAPÍTULO 12

UTILIZAÇÃO DA MANIPUEIRA PARA PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Gilvan Wosiacki [1]
Ada Marina C. Fioretto [2]
Mareci Mendes de Almeida [3]
Marney Pascoli Cereda [4]

12.1. INTRODUÇÃO

A manipueira constitui, quantitativamente, o mais importante resíduo líquido do processamento de mandioca. Sua produção, estimada em 30% do peso da matéria-prima em fábricas de farinha, é bastante rápida se relacionada à capacidade ambiental de absorvê-la, o que acarreta um forte impacto ecológico. Carregada de amido, de compostos cianogênicos e de sais minerais, com baixos teores de nitrogênio, possibilita o desenvolvimento de microrganismos anaeróbicos facultativos, que consomem o oxigênio aquático e que potencializam a destruição da vida aeróbica, incluindo peixes e vegetais.

Derivados exclusivamente da raiz, os resíduos industriais compreendem a casca, a crueira e o calcanhar, a fibra e a poeira enquanto sólidos, e a água de lavagem, de extração e a de prensa, enquanto líquidos. Essa última denominada manipueira. A diferenciação dos resíduos de fábricas de farinha dos de fecularia ocorre tanto em nível qualitativo quanto quantitativo, por unidade. No global, ambos são importantes, considerando-se a quantidade de farinheiras e o tamanho de fecularias.

---

[1] Professor Titular da Universidade Estadual de Ponta Grossa – PR.
[2] Bacharel em Biologia, mestre em Agronomia pela Faculdade em Ciências Agronômicas da UNESP de Botucatu - SP.
[3] Professora Assistente da Universidade Estadual de Ponta Grossa – PR.
[4] Professora Titular da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP de Botucatu – SP.

Os resíduos sólidos têm uma utilização garantida em nutrição animal, com perspectivas de enriquecimento proteico por processo fermentativo misto. A reincorporação ao solo, via compostagem, é outra alternativa possível, assim como a utilização das fibras remanescentes do processamento da fécula. A poeira constitui-se numa perda sem quantitativos determinados e representa 100% de fécula.

Já os resíduos líquidos são observados praticamente sob o ponto de vista de saneamento. Lagoas de decantação, digestão anaeróbica e aeróbica são algumas possibilidades para tratamento da manipueira, quando esgotadas as possibilidades de aproveitamento agrícola. A utilização agrícola abrange a reincorporação hidro-mineral ao solo e o controle de ervas daninhas e microrganismos fitopatogênicos em diversas culturas de interesse econômico.

A permanência em lagoas, anaeróbicas ou não, em digestores e em fermentadores, possibilita o desenvolvimento e a ação metabólica de microrganismos, capazes de degradar o amido e utilizar seu potencial energético, decompor os compostos cianogênicos aproveitando o radical CN ou liberando-o rapidamente na atmosfera, contribui com a diminuição da demanda química e bioquímica de oxigênio do efluente industrial, com a produção de biomassa, rica em proteína e lipídeos e com a possibilidade de utilização da manipueira tratada, fonte de sais minerais, na agricultura.

Algumas linhagens de fungos unicelulares, notadamente *Trichosporon* sp, são capazes de se desenvolver neste tipo de ambiente, respirando por uma via alternativa, independente de citocromo C e assim, indiferente ao cianeto. A elevada razão carbono/nitrogênio favorece a lipogênese, induzindo ao acúmulo de triglicerídeos intracelulares.

O processo fermentativo, visando a produção de biomassa, apresenta características peculiares. Em virtude da presença de compostos cianogênicos, particularmente interessantes são os microrganismos capazes de *respirar* por uma via alternativa, independente de citocromos. Esta respiração habilita o microrganismo a obter energia necessária ao crescimento a partir do amido residual. Como estes microrganismos, via de regra, não são amilolíticos, há necessidade de *mosturar* o amido, viabilizando sua utilização. Os agentes amilolíticos empregados são microbianos (comerciais) e vegetais (batata-doce, cará). O processo fermentativo deve ser *otimizado*, fundamentalmente em função do teor do amido, de nitrogênio, de aeração e de tempo. O produto final, uma biomassa com elevados teores de proteína e lipídeo, apresenta boa qualidade para fins alimentícios com alto valor nutricional e promissor valor econômico.

12.2. PRODUÇÃO DE BIOMASSA OLEAGINOSA

O crescente aumento na relação entre a população mundial e os animais e vegetais usados como matéria-prima na obtenção de lipídeos, bem como a recente cogitação do emprego de óleos e gorduras vegetais como combustíveis e lubrificantes, trazem de volta o interesse no estudo da obtenção de lipídeos de microrganismos, que já alcançou importância durante a 1ª Guerra Mundial (AQUARONI & FREY, 1983).

O conteúdo normal de lipídeos em microrganismos é geralmente pequeno (bem abaixo dos 10% da matéria seca), e é representado por material que forma parte da estrutura celular e principalmente por material de reserva. Em condições especiais, diversos microrganismos passam a produzir quantidades muito maiores (mais de 60% da matéria seca), fazendo a lipogênese a partir de carboidratos.

Os requisitos básicos para a formação de gordura por microrganismos foram conhecidos primeiramente por Lindner (HESSE, 1949) e são eles: suprimento abundante de carboidratos, sendo que a escolha da fonte de carbono é crucial para a viabilidade econômica da produção de bio-óleo por fermentação, e suprimento de oxigênio, que é um requerimento básico para produção de ácidos graxos insaturados (WHITWORTH & RATLEDGE, 1974).

Os açúcares assimilados são convertidos principalmente em constituintes da parede celular, especialmente proteínas, e posteriormente em gordura. Durante o desenvolvimento do microrganismo observa-se, portanto, duas fases: a primeira, onde são formadas principalmente proteínas, e a segunda, onde são formados os lipídeos (HESSE, 1949).

Enquanto o nitrogênio estiver presente no meio de cultura, o produto principal é a proteína e essa fase é denominada "geração de proteína". Mais tarde, com a exaustão do nitrogênio, o excesso de açúcar é desviado para síntese de gordura e essa fase é então denominada "geração de gordura" (HESSE, 1949; ILINA *et alii*, 1970; WOODBINE, 1959; STEINER, 1938; WHITWORTH & RATLEDGE, 1974).

Além do teor de gordura em relação à matéria seca do microrganismo, deve-se levar em consideração o coeficiente lipídico, representado pelo número de gramas de gordura produzido a partir de 100g de carboidrato, e que teoricamente deve ser de 40g (AQUARONI & FREY, 1983) para ser considerada uma produção eficiente. Deve-se levar em conta também a espécie microbiana, o pH do meio, a temperatura e o tempo de incubação, a agitação e a aeração, sendo

que, neste último requisito, pode-se trabalhar em bandejas ou em tanques com borbulhamento de ar.

Também são importantes no meio de cultura, os fosfatos, compostos de potássio, magnésio, sódio, ferro e enxofre, sendo que estes dois últimos devem encontrar-se em quantidades mínimas para determinados microrganismos.

O óleo produzido pelo microrganismo é freqüentemente estocado no interior da célula na forma de gotas, facilmente observadas ao microscópio (HESSE, 1949; ILINA *et alli*, 1970; WHITWORTH & RATLEDGE, 1974).

Os fatores importantes na produção microbiana de proteína, também o são para produção de óleo, isto é, os microrganismos devem ser de crescimento rápido para fornecer alta densidade celular, além de ser de fácil recuperação, extração e manutenção. O produto oleaginoso obtido deve ser de alta concentração, não ser tóxico e ser aceitável como um substituto da gordura vegetal ou animal. Por razões econômicas, deve ter propriedades equivalentes às dos óleos mais caros (WHITWORTH & RATLEDGE, 1974).

Sendo a síntese microbiana de lipídeos um processo aeróbico, três métodos gerais de cultivo podem ser utilizados (HESSE, 1949).

1º) Cultivo em superfície de soluções nutrientes

O meio nutriente é colocado em bandejas esmaltadas, em camada de 1 a 2 cm, e armazenadas em estantes que permitam a circulação de ar. Após dois a três dias, a solução de nutrientes é trocada, evitando-se molhar a película, uma vez que isso poderia ocasionar má aeração.

Após o período de crescimento máximo, que varia conforme o microrganismo utilizado, a superfície inferior da película é lavada sucessivamente com água, antes de ser coletada.

As dificuldades dessa técnica são óbvias: alta demanda de mão-de-obra e alto risco de contaminações. Esses fatores inviabilizam tal meio de produção, pois deve-se levar em conta o custo de produção para que haja posterior viabilidade comercial do bio-óleo.

2º) Cultivo em meios semi-sólidos

Microrganismos oleaginosos já eram cultivados por esse método desde a época da 1ª Guerra Mundial. Para tanto é necessária a utilização de suportes que podem ser de diferentes naturezas, como, por exemplo, palha cortada, batatas, lascas de madeira, farelo de mandioca, entre outros.

Após remoção da poeira de lavagem, o suporte deve ser umedecido com a

solução nutriente que pode ser tanto solução elaborada a partir de fórmulas como líquido residual proveniente de processo industrial, tal como a manipueira, que é obtida na indústria de produtos de mandioca. A utilização de manipueira como solução nutriente tem a vantagem da inibição de certos microrganismos que não são resistentes ao cianeto que esse líquido possui. Contudo, a separação do microrganismo produzido do suporte é bastante difícil, o que inviabiliza esse método se a separação for imprescindível.

Microrganismos como o *Trichosporon* sp que necessitam um teor de umidade maior que aquele requerido pelos bolores no processo "mold bran" não se desenvolvem bem em cultivo com suportes do tipo farelo, porque se a quantidade de água fosse aumentada se perderia a estrutura física do meio que garante a aeração das células.

3º) Cultivo submerso aerado

É um método que requer um espaço relativamente pequeno e apresenta risco de contaminações reduzido, porém, deve-se levar em conta os custos com a aeração do meio.

A primeira tentativa de cultivo submerso de *Trichosporon pullulans*, que obteve êxito, foi efetuada por BERNHAUER *et alii* em 1949; até então esse microrganismo estava sendo cultivado em superfície de soluções nutrientes.

Trichosporon sp cultivado em manipueira, em fermentador que mantenha constante a aeração e a agitação do meio, apresenta um aumento da massa celular até o terceiro dia, marcando a fase de geração de proteína; o teor máximo de lipídeo é alcançado no quinto dia, marcando então a fase de geração de gordura. O teor de lipídeo que esse microrganismo produz quando cultivado em manipueira é considerado baixo, o que é explicado pelo fato de que o nitrogênio presente no meio, ao final do cultivo, representa 85,7% do teor inicial, indicando excesso desse elemento no meio. O consumo foi de 14,3%, ao invés de 95%, pois a lipogênese é mais intensa quando o nitrogênio é exaurido do meio. Contudo, não é só o teor de nitrogênio no meio que deve ser levado em conta para sustentar o crescimento do fungo, mas também o teor de fósforo, necessário na concentração de 31 a 124 ppm no meio, do potássio e do magnésio, nas concentrações de 0,001 a 0,004 M, e do ferro (traços). As vitaminas, principalmente as do grupo B, são muito importantes para o sistema enzimático dos microrganismos e os microelementos devem estar na concentração entre 0,001 e 0,5 ppm (MOORE-LANDECKER, 1972).

12.3. CONDIÇÕES PARA CRESCIMENTO DE *TRICHOSPORON* SP

A variação no consumo dos elementos quando a manipueira é utilizada como meio de cultura *in natura* e suplementada com farelo de arroz, importante fonte de vitaminas do grupo B, é demonstrada nas tabelas 12.1 e 12.2.

O fato de determinados elementos haverem sido consumidos enquanto outros sofreram acréscimo em relação ao teor inicial no meio, observado na manipueira *in natura*, deve-se à excreção durante o metabolismo microbiano, devido ao fato do meio de cultura ser desbalanceado. Essa excreção não foi observada e aumentou o consumo de todos os elementos do meio quando suplementado, indicando que o farelo de arroz é um bom complemento para o balanceamento da manipueira.

TABELA 12.1
Resultados da análise quantitativa dos elementos minerais inicialmente presentes na manipueira sem suplementação e suplementada com farelo de arroz, inoculada com a cepa 7906

ELEMENTOS	MANIPUEIRA	
	Sem suplementação	Suplementada com farelo de arroz
Açúcares redutores*	9,42	20,40
Nitrogênio Total**	0,15	0,19
P (ppm)	159,56	563,91
K (ppm)	1750	2050
Ca (ppm)	200,0	212,5
Mg (ppm)	390	672
Fe (ppm)	16	20
Zn (ppm)	2,7	4,5
Cu (ppm)	1,25	1,75
Mn (ppm)	2,75	6,50

* g glucose/100 mL

** g/100 mL

Em pH superior a 4, a proporção entre a concentração interna (celular) de potássio e a externa (meio de cultura) é de 5000:1; contudo, essa proporção varia com o pH do meio, pois, em pH 4 altera-se para 4000:1. O que explica o aumento de potássio na manipueira sem suplementação. Não houve excreção desse elemento para o meio, no caso da manipueira suplementada, apesar de o

pH final ter sido 3,8 porque o farelo de arroz forneceu componentes que evitaram perda de potássio pela célula. Um dos elementos mais importantes nesse caso foi o cálcio que, além de auxiliar na manutenção da integridade da membrana celular, previne o aumento da perda de soluto da célula. Esse cultivo foi submetido a quatro dias de fase estacionária, o que leva a um aumento na absorção de potássio pela célula (ROTHSTEIN, 1965).

TABELA 12.2
Resultados da análise quantitativa dos elementos restantes na manipueira sem suplementação e suplementada com farelo de arroz, após 14 dias de cultivo, inoculada com a cepa 7906

	MANIPUEIRA					
	Sem suplementação			Suplementada com farelo de arroz		
	Teores	Consumo (%)	Produção (%)	Teores	Consumo (%)	Produção (%)
Açúcares Redutores*	5,10	45,86	—	5,10	75,00	—
Nitrogênio Total**	0,134	10,670	—	0,131	37,89	—
P (ppm)	129,83	18,63	—	281,46	50,09	—
K (ppm)	2000,00	—	14,29	225,00	89,02	—
Ca (ppm)	262,50	—	31,25	50,00	76,47	
Mg (ppm)	438,00	—	12,31	174,00	74,11	—
Fe (ppm)	16,00	0,00	—	0,50	75,00	—
Zn (ppm)	2,80	—	3,70	0,75	83,33	—
Cu (ppm)	1,00	20,00	—	0,50	71,43	—
Mn (ppm)	1,25	54,50	—	2,25	65,38	—

* g glucose/100 mL

** g/100 mL

O magnésio é importante particularmente na respiração aeróbica e anaeróbica dos microrganismos (MOORE-LANDECKER, 1972) e, sendo parte integrante da carboxilase, necessária para a conversão do ácido pirúvico para acetaldeído, sua perda acarreta sérios problemas ao desenvolvimento do fungo (HESSE, 1949). A absorção do Mg pelas células na manipueira suplementada deve-se a anterior absorção de fósforo (H_2PO_4) em elevados teores, aumentando a conversão de ácido pirúvico para acetaldeído, levando a uma maior necessidade de carboxilas.

A pequena produção de biomassa (14,74 g/L) em relação àquela obtida por MOON & HAMMOND (22 g/L) pode ser explicada pela toxidez do meio cau-

sada pelo excesso de microelementos (máximo admitido 0,5 ppm) (MOORE-LANDECKER, 1972).

Apesar do aumento de eficiência com a suplementação com farelo de arroz, uma vez que aumentou a produção de biomassa de 2,18 g/L para 14,74 g/L (Tabela 12.3), deve-se considerar o destino dessa biomassa. Caso haja necessidade de separação da biomassa, a manipueira poderá tornar-se impraticável pois sua separação é difícil.

TABELA 12.3
Resultados de produção de biomassa fornecidos em g de peso seco/100 mL de meio, obtidos no ensaio de fermentação, com manipueira sem suplementação e suplementada com 3% de farelo de arroz, inoculada com a cepa 7906

MANIPUEIRA	BIOMASSA (g/100 mL) Dias de amostragem			
	Peso inicial	6º	10º	14º
Sem suplementação	0,042	0,482*	0,734*	0,218*
Com farelo de arroz	3,666	1,814*	1,474*	1,474*

* Resultados obtidos após subtração do peso seco inicial correspondente aos sólidos contidos no meio de cultura no início do ensaio.

As condições ambientais para a produção de biomassa da cepa de *Trichosporon* sp foram objetos de estudo utilizando-se técnicas de fermentação submersa a fim de verificar a influência de certos fatores possíveis de serem controlados. Com a utilização de um meio de cultura de composição semelhante ao da manipueira (CEREDA *et alii*, 1981), foram analisados simultaneamente os efeitos do tempo de cultivo, dos teores de carboidrato, nitrogênio e de fosfato. A biomassa, considerando o tempo de 10 dias, foi produzida em maiores quantidades quando os teores iniciais de carboidrato, sulfato de amônio e fosfato de potássio foram de 90 g/L, 10 g/L e 1 g/L, respectivamente. Nas condições ótimas houve o consumo de 98% dos açúcares iniciais, o que é um indicador de sucesso deste microrganismo em termos de redução da demanda bioquímica de oxigênio. O microrganismo manifestou-se como anaeróbio facultativo uma vez que nas melhores condições de aeração apresentou a maior produção de massa celular (WOSIACKI *et alii*, 1995).

Este microrganismo já havia sido submetido a ensaios com relação à assimilação de açúcares, tendo demonstrado carecer de atividade amilásica pois assimilou glucose mas não amido solúvel, e mostrou bom crescimento quando o

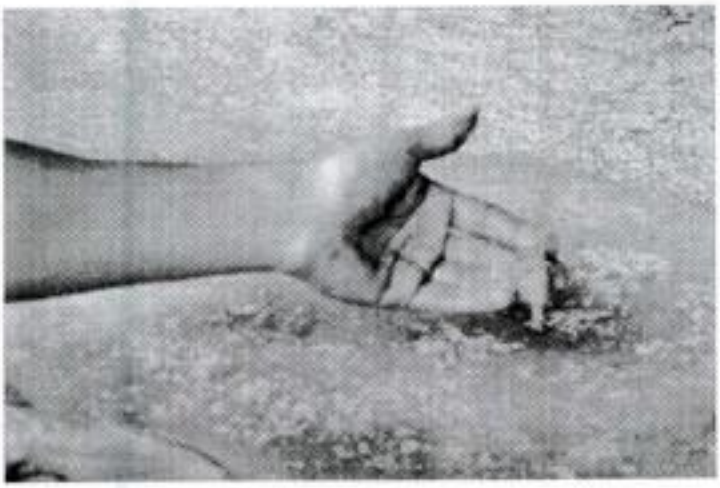
substrato era dextrinas obtidas com o uso de α-amilase, malte, amiloglucosidase, isoladamente ou em conjunto.

É interessante observar que, neste estudo, a produção de biomassa foi uniforme em todos os tratamentos mas a produção de lipídeos foi maior quando os carboidratos disponíveis eram dextrinas obtidas por tratamento enzimático (FIORETO *et alii*, 1985).

TABELA 12.4
Produção de biomassa oleaginosa em meio tratado com diferentes enzimas amilolíticas

Tratamento	Biomassa (g/100 mL)	Lipídios (g/100g)
Amiloglucosidase	0.1362	4.795
Beta amilase	0.2563	2.152
Alfa amilase	0.2623	3.798
Amiloglucosidase + alfa amilase	0.7620	3.425
Amiloglucosidase + beta amilase	0.7260	9.080
Alfa + beta amilase	0.2447	3.447
Glucose	0.7028	1.69
Amido	nd	nd

Com o intuito de estabelecer as melhores condições de produção de massa celular, protéica ou lipídica, foi estudada outra cepa de Trichosporon sp, isolada na região de usinas de farinha de mandioca, através de fermentação em superfície.



Ref.: KIRCHNER *et alii*, 2000

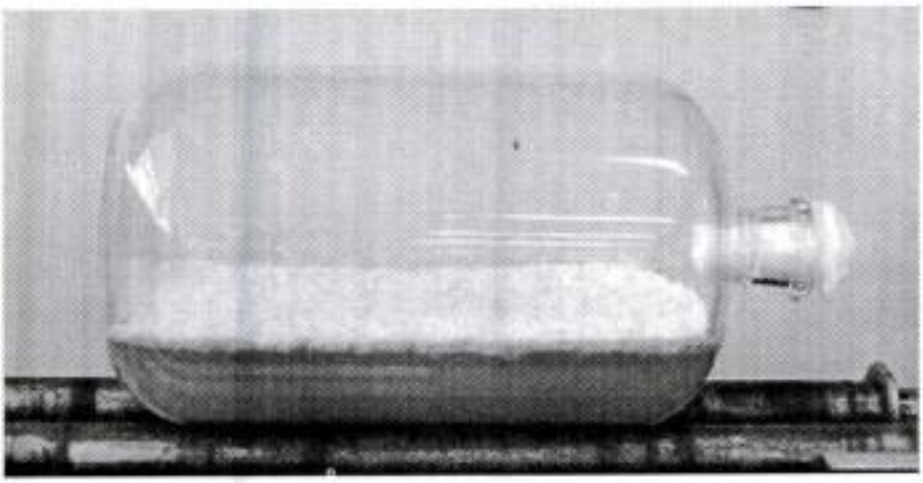
Efing & Wosiacki (1998) procuraram estabelecer estas condições de cultivo com vistas a obter a maior quantidade de biomassa e o máximo aproveitamento do amido hidrolisado do meio de cultivo. Para a operacionalização dos objetivos foi utilizado um meio de composição definida contendo 20 g/L de amido hidrolisado e 20 ppm de ácido cianídrico, além de 5 g/L de extrato de levedura, 3,77 g/L de $(NH_4)_2SO_4$; 0,11 g/L de KH_2PO_4; 3,7112 g/L de $MgSO_4.7H_2O$; 3,1915 g/L de KCl; 0,6223 g/L de $CaCl_2$; 0,1096 g/L de $FeSO_4.7H_2O$; 0,0106 g/L de $ZnSO_4.7H_2O$; 0,0081g/L de $CoCl_2.6H_2O$; 0,0049 g/L de $MnSO_4.H_2O$; 0,0039 g/L de $CuSO_45H_2O$. Os experimentos programados contemplaram como variáveis de saída a quantidade de biomassa produzida e o açúcar residual, e os resultados comprovaram que este microrganismo apresenta um metabolismo oxidativo necessitando de oxigênio para o seu desenvolvimento, que é semelhante tanto a 20°C quanto a 30°C; em presença de KCN, seu desenvolvimento é mais lento porém atinge os mesmos patamares que foram apresentados na fermentação conduzida na sua ausência.

Foi também verificada a influência da razão superfície:volume no processo fermentativo utilizando diferentes frascos e volumes, sobre a produção de biomassa e o teor residual de açúcares, tendo observado que as melhores condições ocorrem quando esta razão aumenta.

TABELA 12.5
Influência da razão superfície/volume sobre as variáveis de saída

Tipo de frasco	Área em cm² [A]	Volume em cm³ [V]	Razão A/V	Biomassa em g/L	Açúcar residual em g/L	Açúcar consumido em g/L	Conversão	Indicador
1 becher	86	900	0,096	4,0	11,6	8,40	0,476	0,345
2 becher	86	750	0,115	3,0	10,2	9,80	0,306	0,294
3 becher	86	500	0,170	4,0	10,4	9,60	0,417	0,385
4 balão	130	480	0,270	6,0	8,6	11,40	0,526	0,698
5 becher	86	250	0,344	5,6	10,4	9,60	0,583	0,538
6 erlenmeyer	73	180	0,400	7,5	7,8	12,20	0,610	0,962
7 garrafa 4 L	336	680	0,494	7,3	7,8	12,20	0,598	0,936
8 garrafa 2 L	256	440	0,580	9,1	7,8	12,20	0,746	1,167
9 becher	86	100	0,860	3,3	6,4	13,60	0,243	0,515
Média				5,53	8,96	11,00	0,500	0,646
Desvio				2,12	1,64	1,71	0,149	0,307
Coeficiente de variação, %				38,36	18,27	15,53	29,860	47,530

Em continuidade ao estabelecimento das melhores condições de fermentação para a formação de massa microbiana e esgotamento dos açúcares disponíveis, Efing & Wosiacki (1999) utilizaram o método simplex modificado com quatro variáveis de entrada. Os experimentos programados visaram o estabelecimento de condições apropriadas para o cultivo de *Trichosporon sp* por fermentação em superfície em um meio líquido de composição definida à semelhança da composição da manipueira. O meio foi eficaz na condução da fermentação de *Trichosporon sp.* com a adição de nutrientes como fontes de carbono, nitrogênio, fosfato e cianeto. A produção média da biomassa microbiana foi de 1,17 ± 0,34 g/100 mL tendo, entretanto, atingido o valor máximo de 1,85 g/100 mL quando foi utilizado o nível mais elevado de cianeto de potássio, de 0,020 g/100 mL, e níveis medianos dos demais compostos, como 4,86 g/100 mL de amido hidrolisado, 1,150 g/100 mL de sulfato de amônio e 0,069 g/100 mL de fosfato de potássio. O consumo máximo de açúcar foi de 85%. As condições onde foram observadas as maiores taxas de bioconversão, de 1,146 e de 1,153 g de biomassa produzida por grama de açúcar consumido, foram de 9,92 e 4,86 g/100 mL de amido hidrolisado, 1,865 e 1,150 g/100 mL de sulfato de amônio, 0,057 e 0,069 g/100 mL de fosfato de potássio, e 0,0162 e 0,0200 g/100 mL de cianeto de potássio. As condições onde se observou a maior produção de biomassa e o menor teor de açúcar residual compreenderam o teor de 2,00 g/100 mL de amido hidrolisado, 1,652 g/100 mL de sulfato de amônio, 0,048 g/100 mL de fosfato de potássio e 0,0140 de cianeto de potássio (EFING & WOSIACKI, 1999).



Ref.: KIRCHNER *et alii*, 2000

Seguindo uma linha de pensamento semelhante e utilizando-se do método de fermentação em superfície, Kirchner *et alii* (2000) procuraram averiguar a influência do grau de hidrólise de amido na produção de massa microbiana e na utilização de açúcares disponíveis no meio de cultura. Face às vantagens experimentais, este trabalho foi realizado com meio sintético de composição definida por meio de fermentação em superfície, buscou-se verificar a influência de diferentes níveis de hidrólise do amido sobre a produção de biomassa e sobre o consumo dos açúcares presentes. Foi verificado que o grau de hidrólise do amido de mandioca influenciou no processo fermentativo, contribuindo com a produção de biomassa e com a diminuição do teor de açúcar residual, e nos valores de conversão de açúcar em biomassa, que diminuem à medida que aumenta a disponibilidade de açúcares redutores. O comportamento do *Trichosporon sp* frente à dextrina de amido foi irregular e atípico; o microrganismo apresentou-se cíclico em relação à produção de biomassa e o consumo de açúcares foi comprometido pela qualidade e disponibilidade dos açúcares, influenciando diretamente o processo fermentativo, o que se reflete nos baixos valores obtidos do indicador de desempenho. A cultura de *Trichosporon sp* demonstrou que pode utilizar as fontes de carbono disponíveis e presentes no resíduo manipueira entretanto há necessidade de que as fontes de carbono sejam previamente hidrolisadas para que sejam disponibilizados ao microrganismo. Os resultados dos experimentos demonstram que esta cultura apresenta dificuldade de hidrolisar as dextrinas e dá preferência por açúcares solúveis de menor peso molecular.

TABELA 12.6
Influência do grau de hidrólise do amido na produção de biomassa e utilização dos açúcares

Hidrólise		Biomassa	Açúcares			Conversão	Indicador
Tempo min	Grau %	g/L	Residual g/L	Consumido g/L	Consumo %		
50	42,56	11,20	28,00	5,60	16,67	2,00	0,40
100	61,45	11,80	25,30	7,90	23,80	1,49	0,47
150	66,48	11,80	19,60	10,90	35,74	1,08	0,60
200	84,37	14,90	16,10	15,90	49,74	0,94	0,93
330	100,00	17,10	9,90	21,90	68,87	0,78	1,73
Média		13,36	19,78	12,44	38,96	1,26	0,83
Desvio		2,54	7,23	6,54	20,90	0,49	0,54
C.V.%		19,01	36,55	52,57	53,64	38,88	65,06

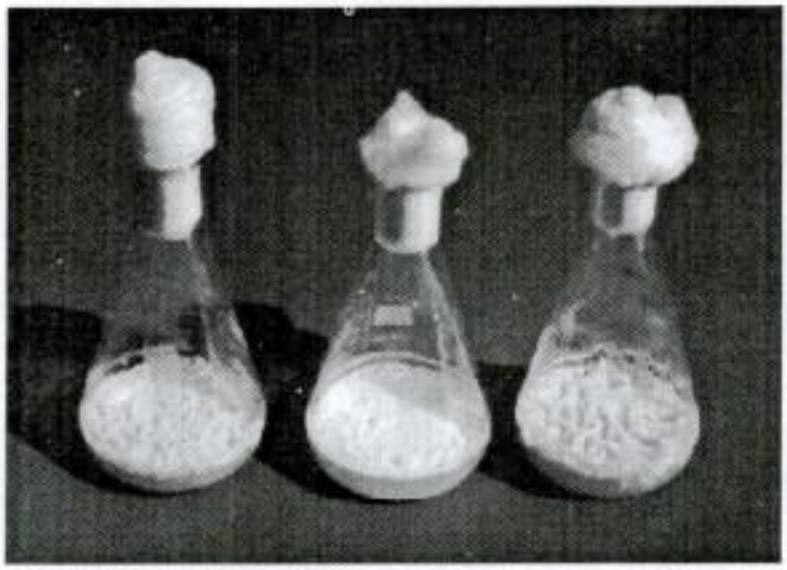
Muitos estudos foram realizados para avaliar o crescimento deste microrganismo em meio sintético semelhante à manipueira e verificar suas exigências nutricionais básicas. Para averiguar o seu comportamento na própria manipueira Almeida et alii (1998) investigaram processos de formação de biomassa de *Trichosporon pullulans*, suplementada ou não com nitrogênio.

Foi observado que esta suplementação beneficia o processo de formação de biomassa, que pode atingir o nível de 22,00 g/L que, comparado ao processo controle representa um aumento de 138%. O sulfato de amônio apresentou-se como a melhor fonte de nitrogênio, em todos os aspectos. A razão entre carbono e nitrogênio de 5,15 mostrou-se adequada para aumentar a produção de biomassa e para diminuir o teor do açúcar residual. Os teores de nitrogênio no meio mostraram-se correlacionados aos teores de proteínas na biomassa.

TABELA 12.7
Influência da suplementação com sulfato de amônio no processo fermentativo

Razão C/N	N Total g/L	Biomassa g/L	Açúcar			Conversão	Indicador	pH final
			Residual g/L	Consumido g/L	Consumo %			
24,1	0,6	9,40	8,80	22,20	71,61	0,42	1,07	5,44
14,1	1,0	18,12	7,10	23,90	77,10	0,76	2,55	8,04
9,6	1,5	21,08	6,40	24,60	79,36	0,86	3,29	8,04
7,2	2,0	22,08	6,40	24,60	79,36	0,86	3,45	5,76
5,8	2,5	20,95	6,40	24,60	79,36	0,90	3,27	5,00
4,8	3,0	21,78	7,00	24,00	7742	0,91	3,11	4,65
4,1	3,5	22,05	6,60	24,40	78,71	0,90	3,34	4,46
Média	19,35	6,96	24,04	77,56	0,80	2,87	5,91	
Desvio	4,59	0,86	0,86	2,79	0,18	0,85	1,51	
Variação%	23,72	12,36	3,58	3,60	22,50	29,62	25,54	

A influência de suplementação com fontes de nitrogênio é visível também considerando o aspecto do meio de fermentação conforme o demonstra a fotografia a seguir, mostrando o frasco com suplementação com uréia, sem suplementação e suplementação com sulfato de amônio, respectivamente (ALMEIDA *et alii*, 1998).



Para se estabelecer condições adequadas de processos fermentativos controlados, produtivos e padronizados com o microrganismo, foi investigada a influência de tratamentos térmicos sobre a microbiota da manipueira. Os tratamentos levaram em consideração as temperaturas de empastamento do amido buscando processamento mínimo em termos de simplicidade e custos. A manipueira foi analisada sem tratamento térmico, esterilizada e exposta a temperaturas de 60 e 70°C por 30 minutos. O tratamento térmico mais brando acarretou diminuição de aproximadamente 99% das células viáveis. Todos os tratamentos mostraram-se eficientes, tratar termicamente a manipueira mostrou-se interessante para a produção de biomassa de melhor qualidade, mas não é adequado em se considerando apenas o consumo de açúcar (ALMEIDA *et alii*, 1998).

Para produzir biomassa de *Trichosporon* sp em manipueira foram desenvolvidos reatores adaptáveis às condições do ambiente industrial. Destes experimentos, conduzidos em nível de laboratório com uma admissão contínua de meio de cultura, foi possível observar que é viável a produção de biomassa microbiana em sistema contínuo, com uma diminuição de 30% da carga inicial de demanda química de oxigênio do substrato, no caso, a manipueira (WOSIACKI *et alii*, 1996).

Estas investigações visam gerar conhecimentos para modificar a abordagem operacional da manipueira, valorizando-a como subproduto agro-industrial passível de ser usado como substrato na produção de proteína microbiana ou de óleo unicelular.

BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, M.M.; KANUNFRE, C.C.; KIRCHNER, C.L.; WOSIACKI, G. Produção de biomassa de *Trichosporon sp.* Fermentação em manipueira utilizando diferentes fontes de nitrogênio. Bol. CEPPA, Curitiba, v.16, n.2,p.247-262, jul./dez.1998.

AQUARONI, E.; FREY, G. Obtenção de lipídeos por microorganismos. In: AQUARONI, E. Alimentos e bebidas produzidaos por fermentação. São Paulo: Edgard Blucher, 1983. p.202-12.

BERNHAUER, K.; NIETHAMMERA, A.; RAUCH, J. Beitrage zur Mikrobiologischen Eiweiss- und Fettsynthese. Biochem. Z., v.319, p.94-101. 1949.

CEREDA, M. P.; BRASIL, O.G.; FIORETTO, A.M.C. Microrganismos resistentes ao cianeto isolados de líquido residual de fecularia. Phyton, Buenos aires, v.41, n.1-2, p.197-201, 1981.

EFING, L.M.C; WOSIACK, G. Estabelecimento de condições de cultivo de uma cepa de *Trichosporon sp* isolada de manipueira. Bol. CEPPA, Curitiba, v.16, n.1, p.23-36, jan./jun.1998.

EFING, L.M.A.C.; WOSIACK, G. Produção de biomassa de *Trichosporon sp.* Influência do teor de carboidratos, de nitrogênio, de fosfato e de cianeto. Publicatio - Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, v.5, n.1, p.7-26, jan.1999.

FIORETTO, AM. C.; WOSIACK.; BRASIL, ºG.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa de *Trichosporon sp* a partir de amido. 1-Pré tratamento enzimático. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, São Paulo. Anais... São Paulo: Sociedade Brasileira de Mandioca, 1985.

HESSE, A. Industrial bioyntheses. Part I. Fats. Adv. Enzymol., v.9, p.653, 1949.

ILINA, L.D.; KIVA, E.V.; SVIROVSKAYA, L.N. Fat Brosyntheses by yeast-like Jungi of the *Trichosporon genus* during submerged cultivation. Mikrobiologija, v.39. p.453-56, 1970.

KIRCHNER, C. L.; ALMEIDA, M.M.; WOSIACK, G. Porduction of *Trichosporon sp* Biomass. Surface fermentation with dextrin as carbon source. Braz. Arch. Biol. Technol. Curitiba. (in press).

MOORE-LANDECKER, E. Fundamental of the Jungi. New York: Prentice-Hall, 1972. 482p.

ROTHSTEIN, A. Uptake and translocation. In: AINSWORTH, G.C.; SUSSMAN, A. S. The fungi: an adcance treatise. New York: Academic Press, 1965. Cap. 15, p.429-52.

STEINER, M. Ernahrung und fettbildung bei Endomyces vernalis. Ber. Dt.bol. Ges., v.56, p.73-83, 1938.

WHITWORTH, D.A.; RATLEDGE, C. Microrganismos as a potencial source of oils and fats. Process Biochem., v.9, p.14-22, 1974.

WOODBINE, M. Microbiol fat; microrganisms as potential fat producers. Prog. Ind. Microbiol., v.1, p.179-245, 1959.

WOSIACK, G., SOKOLOSKIA, A., DUARTE, F. Construção de um protótipo de reator para a produção de bomassa oleaginosa de *Trichosporon sp.* MARATONA DE PESQUISA EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 1996. Ponta Grossa: 1996.

WOSIACK, G.; SICHIERI, V.L.F.S.; CEREDA, M.P.; SILVA. R.S.F.; BRINS, R.E. Improved submerged fermentation conditions for *Trichosporon sp.* Arq. Biol. Tecnol., Curitiba, v.38, n.2, p.406-416, jun., 1995.

CAPÍTULO 13

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE LAGOAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS

Armin Feiden[1]

13.1. INTRODUÇÃO

O uso de lagoas de tratamento para estabilização de resíduo orgânicos e esgotos é uma tecnologia conhecida e amplamente utilizada no Brasil e no mundo. Inúmeros trabalhos de pesquisa e aplicações em larga escala forneceram parâmetros de referência para operação e manejo de vários esquemas de tratamento de resíduos, principalmente de esgotos. São várias as publicações como SILVA (1977), SILVA e MARA (1979), TCHOBANOGLOUS e SCHROEDER (1985), METCALF e EDDY (1991), VON SPERLING (1996a) e VON SPERLING (1996b), que abordam o tema com detalhes e fornecem os dados básicos para seu dimensionamento, implantação e controle.

Porém, no caso específico dos resíduos líquidos da industrialização da mandioca, que possui certas características muito particulares, as experiências são reduzidas. São poucos os trabalhos de pesquisa disponíveis e as aplicações em indústrias são recentes. A grande diversidade de processos industriais adotados para obtenção de diferentes produtos como fécula, polvilho azedo e farinha, bem como os diferentes níveis tecnológicos encontrados, dificultam a generalização dos resultados obtidos nas poucas pesquisas existentes. É comum as empresas buscarem adaptações locais às suas necessidades específicas, mesmo sem respaldo de pesquisas. Isto ocorre pela necessidade de resolver imediatamente o problema do acúmulo de resíduos e pela pressão dos orgãos ambientais. São

[1]Professor Assistente, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Endereço Eletrônico: armin@rondonet.com.br).

frequentes as soluções provisórias, algumas de custo elevado, como bombeamento e transporte de resíduos, enquanto não se consegue uma solução definitiva. A localização de muitas indústrias também não é adequada para a implantação de um sistema de lagoas, por estarem situadas em locais baixos, muitas vezes às margens de rios ou riachos. A falta de espaço para implantar lagoas de tamanho e forma apropriada também impõem, em alguns casos, a adoção de práticas complementares para que as mesmas cumpram a sua finalidade.

Na sequência buscaremos explanar as principais características do sistema de tratamento de resíduos líquidos do processamento da mandioca, através de lagoas de estabilização, adotado por indústrias de fécula de mandioca situadas no oeste do Paraná. Este sistema representa o resultado de experiências locais de várias indústrias orientadas e fiscalizadas pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

13.2. HISTÓRICO

O crescimento da industrialização da mandioca no Brasil e a concentração do beneficiamento industrial em regiões geográficas limitadas tem gerado uma grande concentração de resíduos altamente poluentes.

No estado do Paraná, a cultura da mandioca tem representado importante papel no setor agrícola e agro-industrial, nas últimas décadas. Segundo DORETTO (1993) o estado plantou em 1989 uma área de 85.445 ha, atingindo uma produtividade média de 21 ton/ha. Em alguns municípios do oeste do Paraná a média atinge 25 ton/ha, bem superior a média brasileira, de 12 ton/ha. A produção para fins industriais concentra-se na região Oeste, Noroeste e Norte do estado. A primeira região concentra as indústrias de fécula, abrigando 38% das unidades industriais do estado, mas respondendo por 60% da capacidade instalada de produção de fécula. Já as regiões Noroeste e Norte concentram as indústrias de farinha de mandioca, respondendo por 94% das unidades industriais. Em termos de área colhida, em 1989 as regiões Oeste, Noroeste e Norte respondiam por mais de 50% da produção do estado. A região Oeste sozinha foi responsável por 38% da produção do estado naquele ano, sendo quase a totalidade para fins industriais.

Esta concentração é ainda mais acentuada por se localizar em apenas alguns municípios da região, que sentem de forma mais aguda o problema gerado pelo acúmulo de resíduos, pela contaminação dos recursos hídricos e pela emanação de odores.

As fecularias do Paraná geram em média 2,5 a 5 m^3 de águas de lavagem por tonelada de mandioca processada e, também, cerca de 2 a 3 m^3 de água vegetal, proveniente do processo de extração de amido. Nos últimos anos, graças a reciclagem da água vegetal para uso no lavador de raízes, este volume tem diminuído (PAWLOWSKI et al. 1991).

Em 1997, a média de geração de águas residuárias das dez maiores fecularias da região oeste do Paraná situou-se entre 4 a 5 m^3 por tonelada de mandioca processada (PARIZOTTO, 1999).

Durante as duas últimas décadas, em função de inúmeros problemas ambientais gerados por essa concentração industrial, o IAP (Instituto Ambiental do Paraná) passou a atuar enérgicamente, cobrando soluções efetivas e seguras das empresas responsáveis. Estas, por sua vez, ante o risco real de interdição e altos custos de multas, passaram a encarar a questão ambiental de forma mais atenta, buscando alternativas adequadas a sua realidade.

Dentre as diversas tecnologias de tratamento de resíduos, o sistema de lagoas de estabilização foi o que se adaptou melhor às condições locais, apesar de inúmeras dificuldades enfrentadas nas fases iniciais de implantação. Sistemas mais sofisticados chegaram a ser implantados, como o caso de reatores anaeróbios UASB, trabalhando na faixa dos organismos termofílicos. Infelizmente, as características do resíduo e as oscilações sazonais de sua produção não viabilizaram econômicamente esta alternativa. Sistemas de lagoas sofisticadas, com sistemas de correção de acidez e lagoas aeradas mecanicamente foram utilizadas durante um certo período, mas sua relação custo/benefício não foi favorável. Atualmente, quase a totalidade das indústrias de processamento de mandioca do Oeste do Pananá adota um sistema de lagoas simplificado, com características semelhantes ao Sistema Australiano, como base no seu esquema de tratamento de resíduos líquidos.

Por ser uma tecnologia nova para a região e devido a rápida instalação em função da pressão do órgão ambiental fiscalizador, cada indústria adotou solução própria. Em geral foram empregados fatores de segurança bastante elevados, de forma a garantir a retenção dos resíduos por um tempo mínimo mesmo nas piores condições operacionais.

Em alguns casos, algumas indústrias adotaram sistemas quase fechados, nos quais durante os primeiros anos de operação apenas as primeiras lagoas atingem seu nível normal de operação. As demais lagoas ficam como um fator de segurança para o caso de chuvas intensas ou para permitir futura expansão da capacidade de moagem da indústria.

13.3. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS ATRAVÉS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Os sistemas de tratamento de resíduos líquidos de processamento de mandioca encontrados no Oeste do Paraná podem ser enquadrados em dois tipos: Sistema Convencional e Sistema Simplificado (PARIZOTTO, 1999), cujas características são descritas abaixo:

13.3.1. SISTEMA CONVENCIONAL

É composto por separador de cascas, decantador primário, caixa ou lagoa de neutralização, lagoas anaeróbias, lagoas de aeração mecânica, lagoas facultativas e, opcionalmente, lagoas de polimento. É um sistema complexo, que necessita de operação cuidadosa e atenção constante. Também demanda elevado consumo de energia no sistema de aeração, elevando consideravelmente seu custo.

13.3.2. SISTEMA SIMPLIFICADO

Compõem-se de lagoa de sedimentação, lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e, opcionalmente, lagoas de polimento. Podem ser observadas variantes deste sistema, que ainda incluem algum componente adicional, como o separador de cascas, mas a separação das cascas não é total, pois seu papel é importante na eficiência do processo.

Segundo PARIZOTTO (1999), o sistema convencional foi o mais utilizado na maioria das fecularias antes da adoção das lagoas de sedimentação. Com a comprovação de sua eficiência, ocorreu uma adoção em larga escala e, consequentemente, uma simplificação do processo, com redução dos dispositivos de tratamento e diminuição do custo global.

Considerando que a região oeste do Paraná concentra uma das maiores capacidades de esmagamento de mandioca do Brasil, e que sua experiência no tratamentos de resíduos líquidos desta indústria pode ser útil para outras regiões, na sequência analizaremos as características do mesmo.

13.4. CARACTERÍSTICAS BÁSICA DO SISTEMA

O Sistema Simplificado é, de certa forma, uma variante do chamado Sistema Australiano que, segundo SILVA (1977) e VON SPERLING (1996b), é composto de lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa.

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se na forma mais simples de tratamento de resíduos. VON SPERLING (1996b) lista quatro sistemas indicados para as condições brasileiras, com diferentes níveis de simplicidade operacional e necessidade de área. O primeiro deles, mais simples, é o de lagoas facultativas, mas que proporcionalmente ocupa maior área. O segundo, conhecido como Sistema Australiano, de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, cuja área total (lagoa anaeróbia + facultativa) é de cerca de 2/3 de uma lagoa facultativa única. O terceiro, lagoas aeradas facultativas, caracteriza-se por ocupar uma menor área, mas tem custo operacional superior. Por último, o quarto sistema é mais complexo, compreendendo lagoas aeradas de mistura completa seguidas por lagoas de decantação, cujo custo operacional é o maior de todos.

O chamado sistema simplificado descrito por PARIZOTTO (1999), diferencia-se do Sistema Australiano por possuir uma lagoa de sedimentação na fase inicial do sistema, antes das lagoas anaeróbias. Esta lagoa, porém, comporta-se na prática como uma lagoa anaeróbia, pois mantém-se em constante estado de anaerobiose. Isto ocorre em função da elevada carga orgânica recebida, da presença de uma camada flutuante que diminui a oxigenação da massa líquida e, em muitos casos, por apresentar uma profundidade elevada.

Neste sistema, cada tipo de lagoa caracteriza-se por cumprir uma determinada função. SILVA (1977), SILVA e MARA (1979) e VON SPERLING (1996b) abordam com detalhes as características e funções de cada tipo de lagoa.

Para entender o funcionamento do sistema, é importante conhecer a função de cada tipo de lagoa componente do sistema:

13.4.1. LAGOAS DE SEDIMENTAÇÃO

Os solos predominantes no oeste do Paraná são solos argilosos e, consequentemente, as raízes de mandioca processadas carregam impregnadas na casca uma camada de argila que se desprende durante o processo de lavagem. Esta argila é um dos principais componentes sólidos carreados para o sistema de

tratamento e necessita ser separada. Esta é a função primordial da lagoa de sedimentação.

Nestas lagoas é comum a formação de uma camada flutuante espessa de espuma misturada com restos de resíduos sólidos, principalmente a casca marrom, e que contribui para manter o ambiente anaeróbio. Esta camada diminue a área superficial exposta, minimizando a aeração superficial e auxiliando no isolamento térmico da massa líquida. Esta camada pode ser mais ou menos densa de acordo com a carga orgânica recebida, das características de tensão superficial da massa líquida e da intensidade de produção de gases. A presença de argilas devido a mistura da água de lavagem das raízes aos demais resíduos liquidos também contribui para a formação da crosta flutuante.

Em geral as lagoas de sedimentação possuem uma eficiência média de remoção de cerca de 91% dos sólidos sedimentáveis e mantém esta capacidade de remoção mesmo quando ocorrem elevados picos de contribuição. PARIZOTTO (1999) relata que altas eficiências de remoção foram obtidas independentemente da amplitude do tempo de retenção hidráulica da lagoa, considerados tempos de retenção de 2,5, 4 e 13 dias.

Além da remoção dos sedimentos, as lagoas de sedimentação também contribuem no processo de degradação da carga orgânica presente nos despejos. Esta degradação, porém, é dependente do tempo de retenção da massa líquida no interior da lagoa. PARIZOTTO (1999) relatou eficiências de remoção de DBO de 17% para um TRH (tempo de retenção hidráulica) de 2,5 dias, 64% para um TRH de 4 dias e 95% para um TRH de 13 dias.

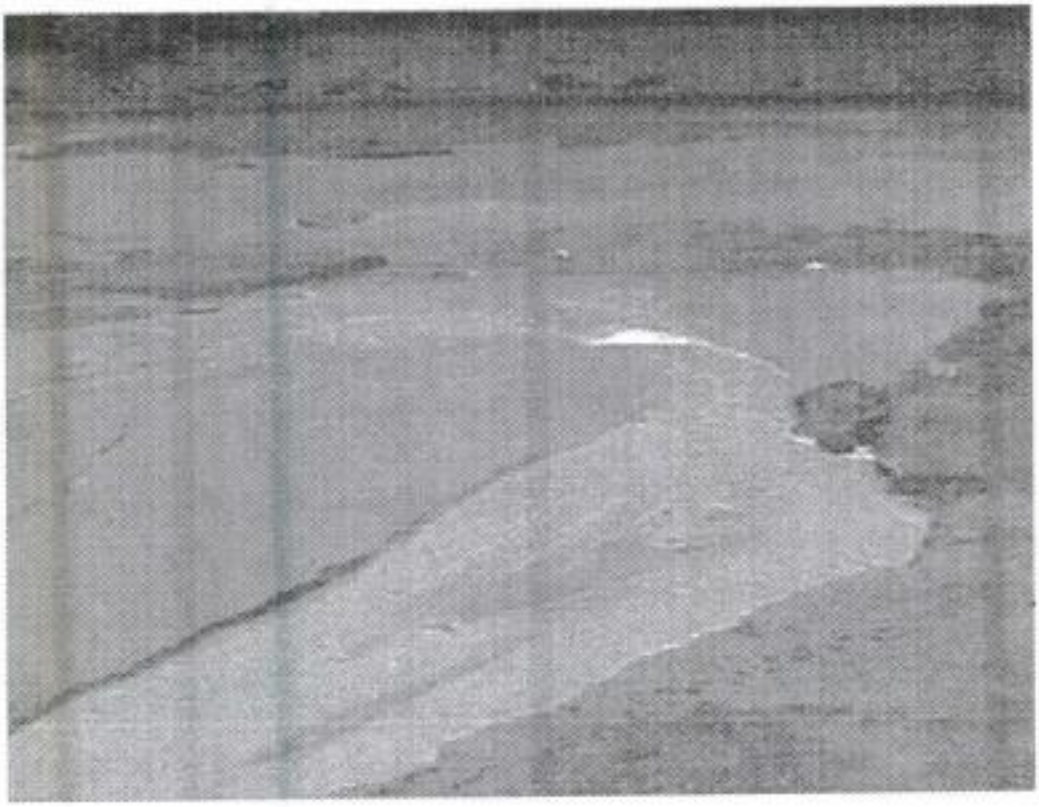


Figura 13.1
Lagoa de Sedimentação na MCR-Alimentos, Município de Mercedes, Paraná.

PARIZOTTO (1999) também relata o importante papel deste tipo de lagoa na remoção de nutrientes, tendo observado redução de 33% para o potássio, 50% para fósforo, 86% para nitratos e 45% para nitritos.

Em função do acúmulo de sedimentos que ocorre a medida que a safra avança, observa-se uma diminuição do volume útil da lagoa. Para contornar este problema, PARIZOTTO (1999) recomenda a implantação de duas lagoas independentes, para que uma possa receber os despejos enquanto a outra recebe manutenção e limpeza.

13.4.2. LAGOAS ANAERÓBIAS

Segundo SILVA (1977), são classificadas como lagoas anaeróbias aquelas onde não há oxigênio livre na massa líquida, de maneira que os organismos predominantes que existem no meio utilizam-se do oxigênio combinado existente nas moléculas de matéria orgânica. Em geral são profundas, de 4 a 6 m, ocupando proporcionalmente uma menor área superficial que os demais tipos de lagoas. São capazes de receber elevadas cargas orgânicas, geralmente acima de 400 kg DBO/ha/dia. Bem dimensionadas e operadas de forma adequada, podem reduzir a carga orgânica em até 70% de DBO.

Seu mecanismo de estabilização é o da fermentação anaeróbia e se assemelham, no funcionamento, aos digestores anaeróbios e aos tanques sépticos (SILVA, 1977).

Segundo VON SPERLING (1996a), a estabilização em condições anaeróbias é lenta devido a baixa taxa de crescimento e reprodução das bactérias anaeróbias. Isto é explicado pela menor produção de energia obtida pelas bactérias anaeróbias a partir da matéria orgânica, devido a ausência de oxigênio livre no meio. Assim, para obter energia as bactérias necessitam converter a matéria orgânica em gás carbônico e metano, em um processo que é pouco eficiente em termos energéticos. Por outro lado, é gerado um menor volume de lodo, o que facilita a fase de tratamento posterior.

A temperatura do meio tem grande influência nas taxas de reprodução e estabilização, limitando o uso deste tipo de lagoas a regiões com clima favorável, com temperaturas médias superiores a 20°C (VON SPERLING, 1996a). De uma forma geral as condições de temperatura na região Oeste do Paraná são favoráveis a este tipo de lagoas e, na sua maioria, as indústrias da região utilizam com sucesso este tipo de dispositivo.

Apesar da remoção de grande parte dos sólidos nas lagoas de sedimentação, as lagoas anaeróbias ainda recebem uma certa quantidade de material, principalmente casca marrom, que contribui para formação de uma camada flutuante. Esta auxilia na manutenção das condições de anaerobiose e no isolamento térmico da massa em fermentação.

Segundo SILVA (1977), as lagoas anaeróbias são geralmente empregadas como primeiro estágio do Sistema Australiano. Devido ao efluente ainda conter significativa carga orgânica não estabilizada, ela é seguida de uma lagoa facultativa ou de uma lagoa aeróbia. A vantagem de sua utilização é a redução do tamanho das unidades subsequentes e, portanto, redução do tamanho global do sistema.

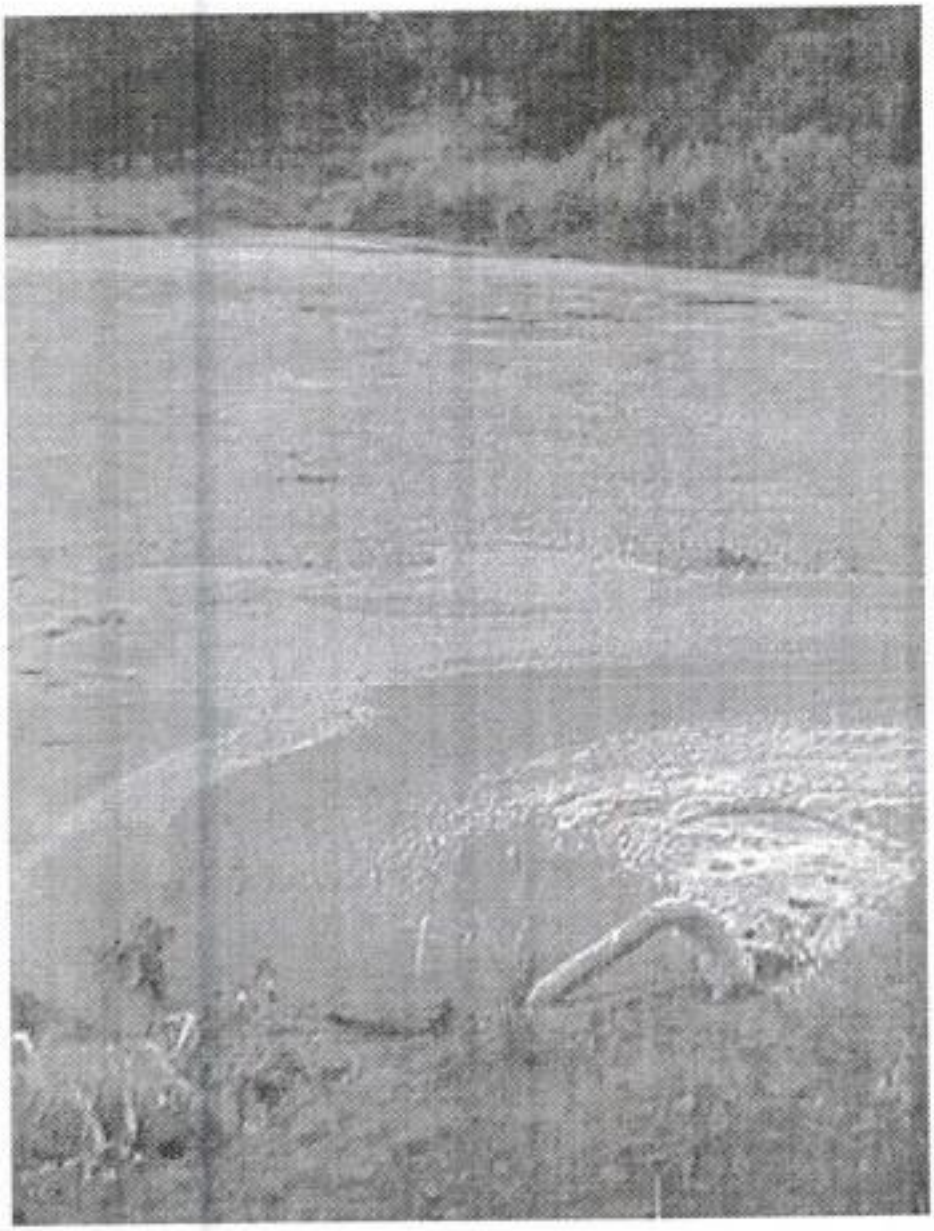


Figura. 13.2
Lagoa Anaeróbia na MCR-Alimentos, Município de Mercedes, Paraná.

As lagoas anaeróbias não necessitam de nenhum equipamento especial e não necessitam de energia para seu funcionamento. Em geral sua carga e descarga é realizada por diferença de carga hidráulica (VON SPERLING, 1996b).

Uma das desvantagens do uso deste tipo de lagoas é a possibilidade de emanação de maus odores. SILVA (1977) recomenda tempos de detenção de no mínimo 5 dias para controlar este problema. VON SPERLING (1996b) recomenda a recirculação de parte do efluente de uma lagoa aeróbia para a lagoa anaeróbica. Segundo o autor, o efluente recirculado tem temperatura superior e pH mais elevado, e portanto se concentra na superfície da lagoa anaeróbia. Assim, o gás sulfídrico responsável pelo odor desagradável é eliminado nesta camada superior.

Outra preocupação que tem surgido recentemente é a própria emissão dos gases metano e bióxido de carbono devido a serem gases apontados como responsáveis pelo efeito estufa. Esta emissão poderá ser considerado um problema no futuro.

13.4.3. LAGOAS FACULTATIVAS

Em função de suas características, as lagoas facultativas depuram os resíduos orgânicos utilizando o processo aeróbio e o anaeróbio de forma simultânea. Na parte superior da lagoa, onde ocorre a penetração de oxigênio e a produção do mesmo por algas, predomina o processo aeróbio. Já na parte inferior, onde não há oxigênio disponível, ocorre o processo anaeróbio (SILVA, 1977).

Segundo OLIVEIRA (1993), as lagoas facultativas possuem uma região aeróbia superficial onde ocorre a fotossíntese, devido à presença de algas e também devido a penetração de oxigênio por difusão. Esta penetração é favorecida pela aeração natural devido a ação do vento sobre a superfície exposta. Nesta região, atuam os microorganismos aeróbios, que usufruem do oxigênio presente para oxidar a matéria orgânica. Numa região logo abaixo, ocorre uma região de transição, onde as condições variam em função da presença de oxigênio e/ou substâncias mais ou menos reduzidas. Predominam nesta faixa microorganismos facultativos que, quando conseguem oxigênio, utilizam-no rapidamente. Porém, na ausência deste, são capazes de modificar seu metabolismo para as condições anaeróbias, menos eficientes mas que lhes garante a sobrevivência. Abaixo desta camada, predominam as condições anaeróbias, geralmente próximas do fundo, junto com a camada sedimentada do lodo e de detritos.

Segundo SILVA (1977), as partículas coloidais que se precipitam e atingem a zona anaeróbia são degradadas em sais minerais, nutrientes orgânicos solúveis e gás carbônico, que se difunde na massa líquida. Essa matéria orgânica também é consumida por bactérias aeróbias, resultando em mais gás carbônico como subproduto. As algas, por sua vez, utilizando a luz solar presente nas camadas superficiais, transformam, através da fotossíntese, o gás carbônico em matéria orgânica, necessária ao seu crescimento e multiplicação. Como subproduto, liberam o oxigênio que se difunde no meio e permite a atuação das bactérias aeróbias.

A produção de oxigênio só ocorre durante o dia. A noite, há apenas consumo de oxigênio, através da respiração das algas e das bactérias aeróbias. Assim, uma lagoa em equilíbrio deve ter um saldo de oxigênio para ser consumido à noite, por esses organismos. Portanto, a penetração de luz na superfície e a presença de algas são fundamentais para o bom funcionamento das lagoas facultativas. Quando as condições são favoráveis, as algas produzem cerca de 15 vezes mais oxigênio do que consomem (VON SPERLING, 1996b).

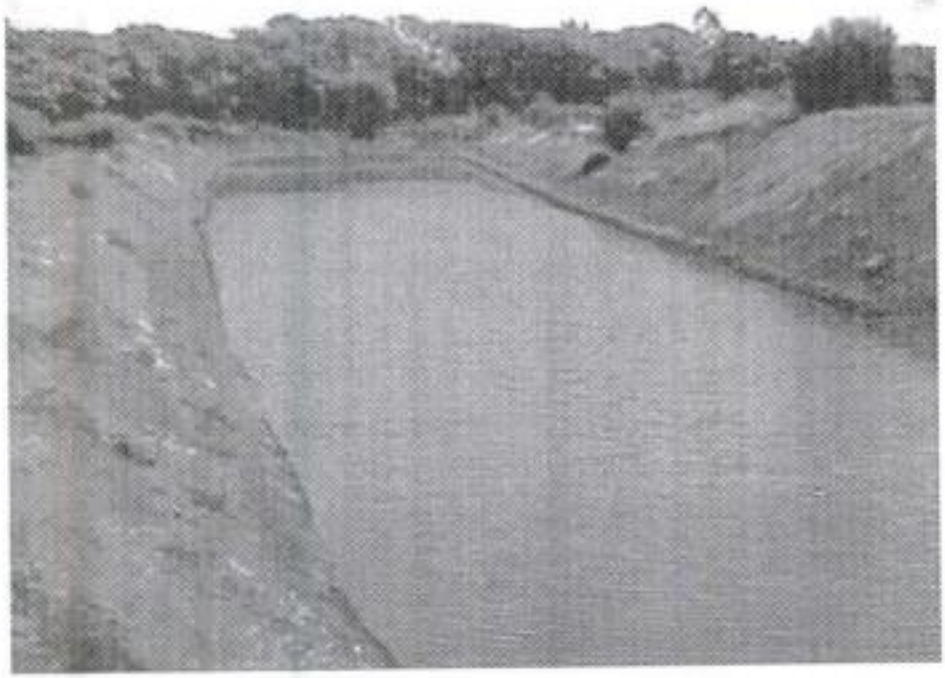


Figura. 13.3
Lagoa Facultativa na Ind. Agro Com. Cassava S/A, Município de Entre Rios do Oeste, Paraná.

Em geral, as lagoas facultativas conseguem remover uma quantidade adicional de carbono na forma de metano, quando comparadas às lagoas aeróbias (OLIVEIRA, 1993).

Muitas indústrias adotam várias lagoas facultativas em série para melhorar o tratamento e também como fator de segurança para casos de sobrecarga do sistema.

13.4.4. LAGOAS DE POLIMENTO

Opcionalmente, algumas indústrias adotam lagoas aeróbias para polimento final antes da descarga do efluente tratado no corpo receptor (PARIZOTTO, 1999).

Estas lagoas, também conhecidas como lagoas de maturação, são lagoas aeróbias, mais rasas, onde penetra a radiação solar e, consequentemente, ocorre uma elevada concentração de oxigênio dissolvido, resultante da fotossíntese. O pH é elevado, geralmente superior a 8,5 (VON SPERLING, 1996b).

Neste tipo de lagoa a volatilização da amônia é favorecida, sendo que em consequência o nitrogênio pode ser reduzido de 70 a 80%. Também ocorre a remoção do fósforo que, com a elevação do pH acima de 8, tende a precipitar. Segundo VON SPERLING (1996b), em lagoas especialmente rasas esta remoção pode chegar a 90%. A redução de organismos patogênicos, especialmente os coliformes, também é elevada.

Algumas vezes são empregados artifícios para aumentar a aeração do efluente da lagoa facultativa, antes da entrada na lagoa de polimento, como ocorre, por exemplo, na MCR-Alimentos (Figura 13.4)

Após a passagem por uma lagoa, ou por uma série de lagoas de polimento, o efluente atinge a condição de ser lançado no corpo receptor, geralmente um rio ou riacho, sem causar danos ao mesmo.

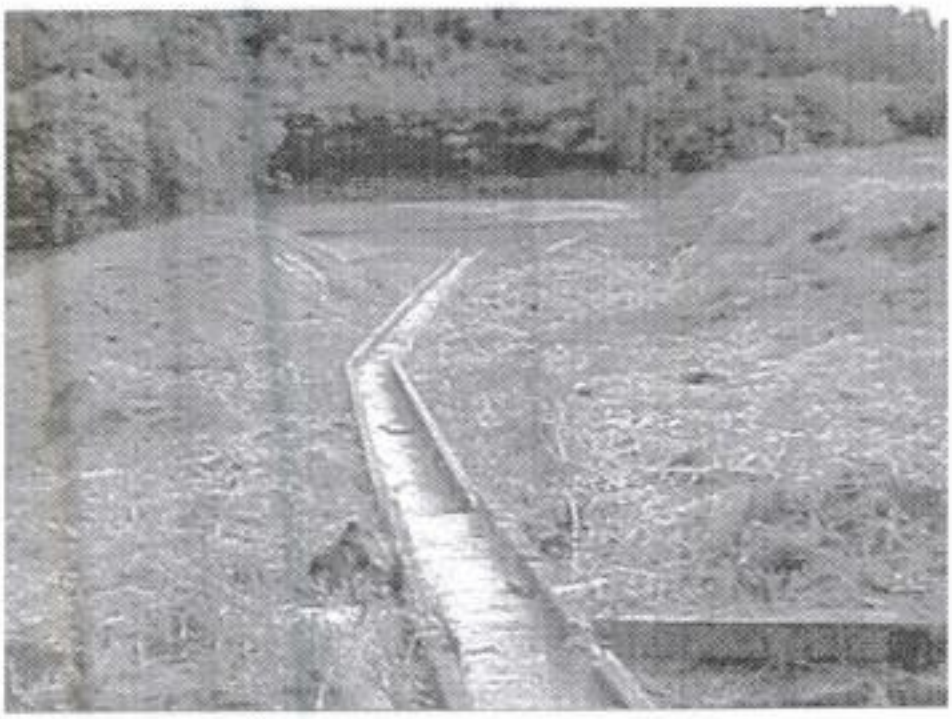


Figura 13.4
Escada para aeração do afluente da Lagoa de Polimento, MCR-Alimentos, Município de Mercedes, Paraná.

13.5. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA

Como vantagens do sistema simplificado de lagoas, podemos citar:

- Simplicidade: Comparado com outros sistemas, é um processo simples e eficiente, que demanda pouca atenção operacional.
- Robustez: É um sistema robusto, que na prática tem se mostrado capaz de suportar variadas condições operacionais, como elevados picos de contribuição e períodos de inatividade, sem afetar significativamente sua eficiência nem entrar em colapso.
- Economia: Comparado ao sistema adotado anteriormente, é um sistema mais econômico.
- Baixo consumo de energia: É um sistema que não requer energia para seu correto funcionamento, desde que implantado em condições topográficas adequadas onde o fluxo de resíduos líquidos possa ser conduzido por gravidade.

Como desvantagens do sistema, temos:

- Demanda de área elevada: Comparado com outros sistemas de tratamento mais intensivos, ocupa uma área significativa.
- Necessita de condições topográficas adequadas.
- Possibilidade de contaminação do lençol freático: Dependendo do tipo de solo, pode ocorrer percolação do material e, consequentemente, a contaminação do lençol freático.
- Emissão de odores: Sobrecargas nas lagoas anaeróbias podem resultar em emissão de odores desagradáveis.
- Emissão de gases causadores do efeito estufa: O gás carbônico e o metano, emitidos pelas lagoas, são considerados causadores do efeito estufa.
- Muitas indústrias estão situadas em condições que dificultam a implantação de lagoas com as características apropriadas.
- Necessita clima adequado para uma operação eficiente.

13.6. CONCLUSÃO

O sistema de lagoas para tratamento de resíduos líquidos do processamento de mandioca tem se mostrado uma solução de fato nas condições do oeste do Paraná. Suas vantagens superam as desvantagens e, desta forma, o mesmo tem conseguido uma ampla aceitação. É evidente que nas atuais circustâncias não há muitas opções, já que a experiência no tratamento deste tipo de resíduo é pequena e necessita ser ampliada. Pesquisas sistemáticas são necessárias para possibilitar a melhoria do manejo deste e possibilitar às indústrias outras opções, que possam ser escolhidas em função de suas condições particulares.

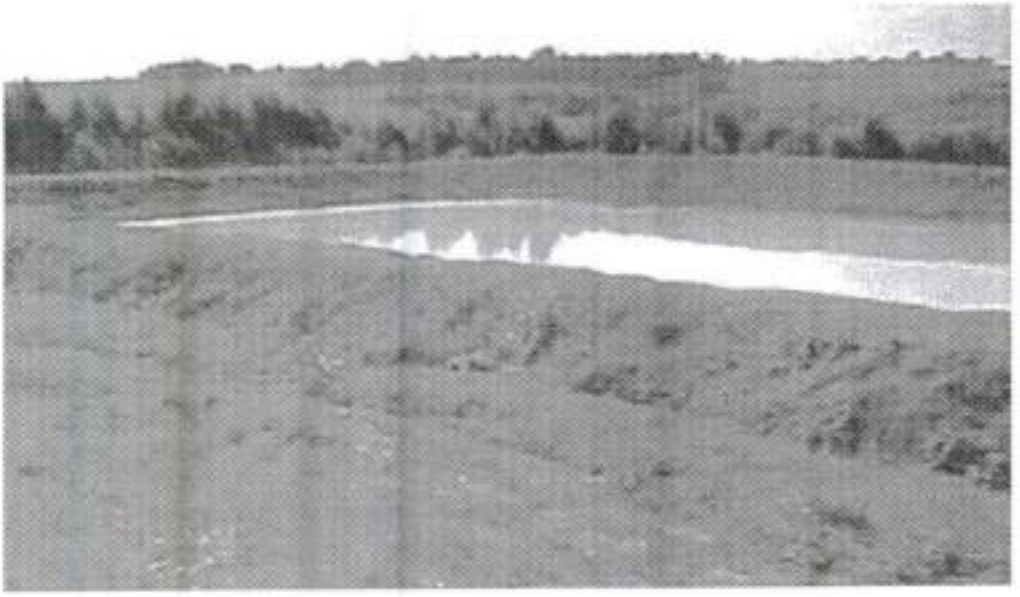


Figura 13.5
Lagoa Facultativa, Fecularia Subida Ltda., Município Nova Santa Rosa, Paraná.

É possível que a experiência paranaense seja útil à outras regiões do Brasil, mas cabe um alerta para que as condições de solo e clima sejam avaliadas com cuidado. As mesmas influem consideravelmente no estabelecimento de um sistema de lagoas. Solos permeáveis podem exigir impermeabilizações custosas e climas frios podem alterar significativamente a eficiência do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DORETTO, M. Distribuição da cultura da mandioca no Paraná nos anos 80. Bol. Téc. Inst. Paraná, Londrina, n.102, 1993.

METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 1991. 1334p.

OLIVEIRA, P.A.V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Doc. Cent. Nac. Pesqui. Suínos Aves. Empres Bras. Pesqui. Agropec., n.27, p.1-188,1993.

PARIZOTTO, A. Eficiência de lagoas de sedimentação na remoção de cargas orgânicas, nutrientes e coliformes totais em despejos industriais de fecularias. 1999. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) UNIOESTE, Cascável.

PAWLOWSKI, U.; RODA, L.S.A.; TOSIN, M. e HEISLER, I. Curso de tratamento de efluentes industriais: Industrialização da mandioca. Curitiba: SUREHMA, 1991. 126p.

SILVA, M.O.S.A. Análises físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos. São Paulo: CETESB, 1977. 226p.

SILVA, S.A. e MARA, D.D. Tratamentos biológicos de águas residuárias: lagoas de estabilização. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140p.

VON SPERLING, V.S. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996a. 211p. (Série Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, Vol. 2)

VON SPERLING, V.S. Lagoas de estabilização. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996b. 134p. (Série Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.3)

TCHOBANOGLOUS, G. e SCHROEDER, E.D. Water quality: characteristics, modeling, modification. Reading, MA: Addison-Wesley, 1985.

CAPÍTULO 14

VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DE BIOGÁS A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DA MANIPUEIRA

Marco Tulio Ospina Patino[1]

14. 1 . INTRODUÇÃO

As agroindústrias de mandioca do Brasil foram afetadas pelas mudanças na economia e enfrentam atualmente mercados muito competitivos, que as obrigam cada vez mais à introdução de processos dinâmicos de gerenciamento da produção. Neste contexto algumas empresas têm enfocado o aproveitamento de seus resíduos como uma forma de tornar mais eficiente processo de produção.

A manipueira é o liquido resultante da prensagem da massa ralada para a produção de farinha e do processo de extração e purificação da fécula (PATZA et al, 1981; TAKAHASHI, 1987; FERNANDEZ JR, 1989) É o resíduo mas problemático, por possuir elevada carga poluente e efeito tóxico, causando sérios problemas ao meio ambiente quando lançada em cursos de água (SOBRINHO, 1975).

O problema do despejo desse resíduo agrava-se em virtude da concentração das indústrias em certas regiões do país, ocasionando alterações ambientais como por exemplo o mau cheiro, a mortandade de peixes e bovinos, além de uma acentuada deterioração da qualidade da água dos corpos receptores (PATZA et al., 1981). Exemplos são as cerca de 150 indústrias de farinha de portes diversos que se concentram no município paranaense de Paranavaí (CEREDA, 1994).

No caso da manipueira existem também muitas alternativas de aproveitamento, atualmente sendo pesquisadas (CEREDA, 1996). Uma alternativa já amplamente estudada e em fase piloto de implantação em indústria de médio

[1] Engenheiro Agrícola Doutor, Rua Sarg. Vilvio Delmar Hollemback, 860 apt. 11 CEP: 14096-590 Ribeirão Preto-SP Tel. 016 6172407, e-mail btospina@zaz.com.br

porte, é a fermentação anaeróbia em fases separadas para produção de biógas. O objetivo fundamental deste processo é substituir parcial ou totalmente a lenha usada na secagem da farinha de mandioca.

Como explicado por VILPOUX, 1997, no Brasil existem milhares de unidades produtoras de farinha de mandioca, a maioria de pequeno porte, sendo que a maior parte esta localizada no Nordeste e no Norte do Brasil um número grande de unidades também está presente no Sul.

A produção de farinha por tonelada de mandioca pode passar de mais de 350 kg no inverno para menos de 300 kg no verão. Como a mandioca representa mais de 50% do custo de produção da farinha, as variações de rendimento têm grandes repercussões na rentabilidade das indústrias.

A grande flexibilidade das farinheiras lhes permite trabalhar alguns dias e parar depressa, de acordo com a demanda do mercado. As indústria maiores têm compromissos com seus clientes e custos fixos maiores. Elas devem manter um mínimo de atividade e portanto têm uma flexibilidade menor.

As águas residuais do processamento de mandioca constituem sério problema para as empresas de farinha e as exigências das entidades responsáveis pelo meio ambiente é e será cada vez maior. Os empresários estão interessados em encontrar uma solução adequada desde o ponto de vista do custo e do retorno. A opção mais barata parece ser a disposição em lagoas, tendo em vista as facilidades obtidas no momento de instalação das indústrias. As prefeituras, ansiosas por acolher a empresa, propõem-se a realizar a terraplenagem necessária à execução das lagoas. Essa opção apresenta diversos limitantes que vão do mal cheiro e aspecto, às grandes áreas comprometidas.

A digestão anaeróbia ainda é uma opção pouco utilizada pelo alto custo de investimento inicial e por falta de conhecimento adequado do sistema. Essa solução é muito mais eficiente que o tratamento em lagoas e fácil de manejar quando bem planejada. Pelas particularidades de apresentar além do cianeto uma elevada carga orgânica de fácil acidificação, as pesquisas mostraram que o melhor projeto é aquele com separação de fases, necessitando dois tanques, um para a fase ácida e um para a fase metanogênica. A fase ácida do tratamento da água residual se completa em um dia e a fase metanogênica demora 3 dias. Quando as duas fases são colocadas juntas em um mesmo tanque, a formação de ácidos é mais rápida que sua transformação em biogás, deixando o sistema instável.

O tratamento de resíduos líquidos ricos em carboidratos (amido e açúcares) em sistemas de duas fases é uma tendência atual em todo o mundo, pelo fato de garantir maiores facilidades de operação e dispensar a necessidade de técnicos

de nível alto. Além de oferecer um melhor tratamento, a digestão anaeróbia permite a produção de biogás, energia que pode ser utilizada pela indústria.

Uma farinheira que processa 1 t. de raízes por dia gera 300 litros de manipueira por dia com uma quantidade de oxigênio quimicamente dissolvido - DQO de 60g/l. A fase acidogênica precisa da adição de 2,9 g de NaOH a cada 100 litros de manipueria por dia. Portanto o biodigestor da fase acidogênica teria um volume de 3000 litros, com tempo de retenção hidráulico (TRH) de 1 dia e a quantidade de NaOH adicionada seria de 87 g/dia. Na fase acidogênica não há redução de DQO, portanto a manipueira que vai para a fase metanogênica possui DQO de 60 g/l. Como o biodigestor metanogênico aceita carga máxima de entrada de 6 g/l deve-se diluir a manipueira 10 vezes. Assim, o volume do biodigestor metanogênico com TRH de 3 dias seria de 90000 litros. A produção de biogás é de 3,54 l/dia para cada litro de resíduo do biodegestor metanogênico. No caso desta fábrica de farinha seriam produzidos 318600 litros de biogás por dia com 68% de metano (BARANA,1998).

NORONHA, (1982) explica que as decisões de investimento são apenas uma de várias partes que constituem o modelo de comportamento de uma empresa. É necessário, portanto, entender os princípios gerais que regem as decisões alocativas da empresa, antes de se discutir o aspecto particular dos projetos de investimento. A tarefa seguinte seria dedicada a mostrar o papel da avaliação de alternativas de investimento do ponto de vista de uma empresa abstrata, pretendendo, com esta formulação teórica, mostrar que qualquer empresa, em dado momento, pode ser vista como um conjunto de projetos de investimento em andamento e que a análise e avaliação de novos projetos é uma condição fundamental para a sobrevivência e o crescimento da mesma.

Teoricamente, as decisões de investimento são parte integrante do processo de organização e gerência dos negócios de uma empresa. Portanto, a avaliação de projetos aparece como parte integrante dos modelos de planejamento que contemplam atividades de investimento (NORONHA, 1987).

O conhecimento dos aspectos ligados aos projetos (duração do projeto, escala do investimento, tempo de retorno, valor relativo do retorno, valor presente dos resultados líquidos), propiciado pelos indicadores de desempenho econômico dos projetos, pode contribuir ao processo de tomada de decisões, na medida que favorece ou pelo menos modifica a formação de expectativas do investidor quanto ao perfil temporal de seu consumo futuro. Isso possibilitará que o processo de ordenação e seleção de projetos por parte do investidor possa ser agilizado (AZEVEDO,1988).

Embora existam vários trabalhos sobre os aspectos técnicos e as vantagens dos processo de aproveitamento da manipueira é sempre oportuno o dimensionamento dos riscos e da viabilidade econômica deste processo. Através desta avaliação será estimada a capacidade das farinheras que poderiam instalar um sistema rentável de produção de biogás a partir da manipueira.

14. 2. AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para o processo de produção de biogás a partir da manipueira, existiu uma fase anterior de avaliação em nível de laboratório (Barana, 1995), que mostrou que é possível a produção de 1,04 litros de metano por grama de DQO destruído da manipueira.

Pesquisas realizadas visando a otimização do processo de biodigestão anaeróbia da manipueira, indicam a necessidade de realização do processo com separação das fases acidogênica e metanogênica (FERNANDES, Jr, 1989). Nesse contexto o projeto consiste na instalação de um biodigestor anaeróbio de duas fases. O tamanho deste biodigestor depende da capacidade de processamento de cada fábrica de farinha.

. Foram realizados levantamentos bibliográficos, para definir os custos de construção do biodigestor. Também foram definidos os custos totais de operação do biodigestor, a quantidade de biogás produzida e calculados os fluxos de caixa, os indicadores de avaliação para empresas de diferente capacidade de produção, simulando o tamanho das farinheras existentes no Brasil. A seguir foi realizada a análise econômica dos projetos simulados.

14.3. SIMULAÇÃO DAS EMPRESAS DE PRODUÇÃO DE FARINHA

Das milhares de unidades de produção de farinha referidas por Vilpoux (1997), e assumindo que cada unidade de produção representa uma empresa, foram simuladas 36 empresas com capacidades de transformação desde 500 até 18.000 toneladas de raízes por ano, deferindo entre si por quantidades equivalentes a 500 toneladas/ano de raízes processadas. Para cálculo da quantidade disponível de manipueira, foram adotados os dados fornecidos por Barana, 1998, segundo os quais uma tonelada de raízes de mandioca produz 250 kg de farinha e 300 litros de manipueira, com DQO de 60 g/l.

Para todas as 36 empresas simuladas foi assumido um período de operação de 1 turno por dia, 8 horas por turno, 20 dias/mês e 10 meses/ano, ou seja 200 dias por ano.

Para definir o valor da construção dos biodigestores levou-se em conta a capacidade que estes deverão ter em cada empresa. O biodigestor acidogênico que tem um TRH de um dia apresenta uma capacidade para conter a produção diária de manipueira de cada empresa. Já o biodigetor metanogênico é construído com volume igual a dez vezes a produção de manipueira em três dias (TRH de 3 dias).

O valor do investimento está representado na construção dos dois biodigestores e do gasômetro. Considerando que não existe uma metodologia específica para efetuar esse cálculo foi utilizado como base o método de cálculo desenvolvido por ORTOLANI, et al, (1991), para construção de biodigestores indianos Usando esse método foi calculado que um biodigestor indiano com volume de 26 metros cúbicos teria um custo de R$ 2600 e portanto o valor usado como índice foi de R$ 100/m^3. Este valor foi multiplicado pela soma dos volumes dos dois biodigestores. Assim adota-se um sistema com queima direta para evitar a construção do gasômetro, o que aumentaria consideravelmente o investimento total.

Os custos financeiros ano a ano para cada empresa foram calculados a partir do valor total do investimento, usando a taxa de juros de 18% a.a.. através do programa ADTEN para desenvolvimento tecnológico, segundo a Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME. (1996), empresa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES. O horizonte do projeto foi definido em 7 anos de acordo com as condições de financiamento da FINAME.

Os custos variáveis de mão de obra e energia elétrica consumida pelos motores não foi considerado assumindo que esse custo é incluído nos custos globais de fabricação de farinha. O único custo variável considerado foi o custo do NaOH cujo preço foi cotado em R$ 7/kg. A lenha apresenta um valor de R$ 15/m^3. Definidos os custos elaborou-se um fluxo de caixa, que foi utilizado para calcular a taxa interna de retorno usada para avaliar economicamente o processo em cada empresa. Estes indicadores foram calculados usando um custo de oportunidade do capital (CO) de 18% anual.

A capacidade de produção das primeiras 9 empresas permite defini-las como pequenas farinheiras com uma produção máxima de 250 t/ano de farinha. As empresas de 3 a 30 podem ser definidas como farinheiras de médio porte com produção máxima de 3.750 t/ano de farinha e as de 31 a 36 consideradas grandes farinheras produzem acima de 3.750 t/ano de farinha.

As duas primeiras empresas produziriam entre 150 e 300 m^3 /ano de mani-

pueira, as empresas de 3 a 30 entre 450 e 4500 e as de 31 a 36 entre 4.650 e 5.400 m³/ano. Segundo os dados de Vilpoux (1998) as empresas 1 a 30 representando a maioria das farinheiras e as empresas 31 a 36 representariam aproximadamente 5 grandes farinheras existentes nos estados do Sul.

Uma outra forma de definir a capacidade das empresas é usando a quantidade de raízes processadas/dia. Assim , a empresa 1 e a 36 teriam uma capacidade de transformação de 2,5 e 90 t de raízes/dia, respectivamente.

No Quadro 14.1 observa-se o investimento para algumas das 36 empresas. Esse investimento é ainda muito elevado comparado com o lucro líquido de cada empresa que está entre 10 e 15% do faturamento anual.

No Quadro 14.2 são apresentadas a produção anual e o valor do biogás produzido em algumas das empresas simuladas. Na simulação, os benefícios anuais, representados pelo valor do biogás produzido em cada empresa, foram muito menores do que os custos financeiros anuais, determinando fluxo de caixa negativo e consequentemente os indicadores de rentabilidade resultaram negativos. Portanto foi necessário definir um nível mínimo de investimento que determine um retorno positivo para a empresa.

Os custos totais resultam da somatória dos custos financeiros e custos variáveis, que neste caso está representado na quantidade de NaOH adicionado aos biodigestores para controle do pH. Assume-se que outros custos variáveis como a mão de obra e a manutenção são incluídos nos custos gerais da farinhera.

Quadro 14.1
Simulação do investimento e volume dos biodigestores em algumas das 36 empresas, para o processo de produção de biogás a partir da manipueira.

Empresa	Faturamento R$/ano	Investimento Total R$	Volume do reator Acidogênico- m³	Volume do reator Metanogênico- m³
1	32500,00	2.325,00	0,75	22,50
5	162500,00	11.625,00	3,75	112,50
9	292500,00	20.925,00	6,75	202,50
12	390000,00	27.900,00	9,00	270,00
18	585000,00	41.850,00	13,50	405,00
24	780000,00	55.800,00	18,00	540,00
30	975000,00	69.750,00	22,50	675,00
36	1170000,00	83.700,00	27,00	810,00

14. 4. VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

No Quadro 03 são apresentados os custos totais do processo de produção de biógas durante os 7 anos do horizonte do projeto, com nível de investimento (Investimento I) que corresponde a 50% do investimento total. O restante do investimento deverá ser assumido pela empresa, o que pode ser feito através de ajuda das prefeitura onde este localizada a indústria, ou tomando esse 50% como capital de investimento a fundo perdido.

Quadro 14.2
Produção anual e valor do biogás produzido no sisitema.

Empresa	Produção de biógas (m^3/ano) *	Valor da lenha (R$/ano) **	Equivalente da lenha em biogás (m^3/ano) ***	Valor relativo do biógas produzido (R$/ano) ****
1	15930	1875,0	34500	862,5
5	79650	9375,0	172500	4312,5
9	143370	16975,0	310500	7762,5
12	191180	22500,0	414000	10350,0
18	286740	33750,0	621000	15525,0
24	382320	45000,0	828000	20700,0
30	477900	56250,0	1035000	25875,0
36	573480	67500,0	1242000	31050,0

* Produção de biógas = Volume do reator (fase 2) x 3,54 x 200 dias (BARANA, 1998)
** Valor da lenha: R$ 15/m^3 (Guillaume,1997)
***Equivalente da lenha = 1 m^3 de lenha eqüivale a 276 m^3 de biogás (CEREDA, 1997)
**** Valor do biógas = 0,46 x Valor da lenha
0,46 = Produção de biogás / Equivalente da lenha em biógas

Como o cálculo do volume do reator metanogênico e do valor do biogás produzido (benefícios) foram realizados usando parâmetros similares para todas as empresas, a viabilidade econômica é igual em todas as fabricas de farinha simuladas.

Com um investimento real correspondente a 50% do investimento total a Taxa Interna de Retorno (TIR) é de 10%. Este valor é ainda menor do que a taxa de juros do crédito (18%), indicando que o retorno é inferior à taxa mínima de oportunidade do capital.

No entanto é importante salientar que não foram valorizados os benefícios sociais que este tipo de investimento determina, diminuindo a capacidade de

contaminação da manipueira. Além disso o empresário estaria eliminando a possibilidade de multas por parte dos orgãos de controle ambiental.

Quadro 14.3
Custos totais do processo de produção de biógas

Empresa	Custos Totais R$				
	ANO 1 - 2 - 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7
1	209,3	499,9	447,6	395,3	342,9
5	1046,3	2499,4	2237,8	1976,3	1714,7
9	1883,3	4498,9	4028,1	3557,3	3086,4
12	2511,0	5998,5	5370,8	4743,0	4115,3
18	3766,5	8997,8	8056,1	7114,5	6172,9
24	5022,0	11997,0	10741,5	9486,0	8230,5
30	6277,5	14996,3	13426,9	11857,5	10288,1
36	7533,0	17995,5	16112,3	14229,0	12345,8

14. 5. CONCLUSÕES:

A avaliação econômica do processo de valorização da manipueira permitiu concluir que:

- a empresa com produção anual de farinha de 4500 toneladas, apresenta um investimento para o sistema de produção de biogás estimado em R$ 69.750,00 e produção de 573480 m^3 de biógas/ano.
- a empresa com produção anual de farinha de 250 toneladas, apresenta um investimento total para o sistema de produção de biogás de R$ 20.925, e produção de biogás de 143370 m^3/ano.
- o biogás produzido nas farinheras permite somente substituir 50% da lenha consumida na secagem da farinha.
- a substituição de 50% da lenha não determina um projeto de investimento rentável resultando em TIR negativa. Portanto 50% do valor do investimento deverá ser conseguido junto às prefeituras onde estiver localizado o projeto. A análise econômica do projeto considerando unicamente 50% do investimento resultou em uma TIR de 10%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPECIAL DE FINANCIAMENTO INDUSTRIAL. Rio de Janeiro, 1996. 14p.

AZEVEDO, F.A.J.B.V. Deterprj: sistema para análise de projetos em condições deterministas: Manual do Usuário. Piracicaba: CIAGRI / USP, 1988 22p.

BARANA, A C. Estudo de carga orgânica de manipueira na fase metanogênica de reator anaeróbio de fluxo ascendente e leito fixo. 1995. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BARANA, A C. Comunicação pessoal. Centro de Raízes Tropicais CERAT. Botucatu. Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. 1998.

CEREDA, M.P. (Coord.). Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia, 1994. 174 p.

CEREDA, M.P. Valorização de resíduos como forma de reduzir custos de produção. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9, 1996, São Pedro. Anais... Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Universidade Estadual Paulista, 1996. p. 25- 43.

FERNANDEZ JUNIOR, A. Ocorrência de instabilidade e forma de seu controle na digestão anaeróbia de manipueira, em reator de bancada de mistura completa. 1989, 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ORTOLANI, F. A ., BENINCASA, M., LUCAS JR., J. Biodigestores rurais modelos Indiano, Chinês e Batelada. FUNEP, Jaboticabal, SP, 35 p, 1991.

PATZA, M. G.; OLIVEIRA, E. A.; PAWLSKY, V. Tratamento de despejos de fecularias por lodos ativados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHERIA SANITARIA E AMBIENTAL, 11, 1981. Fortaleza. Anais...Curitiba, SUREHMA, 1981, p.1-46.

SOBRINHO, P. A. Auto depuração dos corpos d'água. São Paulo: CETESB, ABES, BNH, 1975, CAP. 8, p.6 - 9.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. Inf. Agrop., v.13, p. 83 - 87, 1987.

VILPOUX, O. Coordinations verticales entre enterprises transformatrices de manioc et producteurs agricoles au sud du Bresil. 1997. 215p. These (Doutorado) - Unite de Formation et de Recherche en Genie des Systemes Industriels, Institut National Polytechnique de Lorraine, Lorraine.

NORONHA, J.F. Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade Econômica. São Paulo: Atlas, 1987. 289 p.

CAPÍTULO 15

O FARELO, SUBPRODUTO DA EXTRAÇÃO DE FÉCULA DE MANDIOCA

Magali Leonel[1]

15.1. INTRODUÇÃO

A mandioca é cultivada nas mais diversas regiões do Brasil e sua produção tem sido dirigida tanto para consumo direto quanto para indústria de transformação, onde é utilizada na elaboração de diversos produtos como fécula, farinha de mesa, raspas, farinha de raspas e polvilho azedo.

No Brasil existem cerca de 80 unidades de produção de fécula de mandioca, a maioria localizadas nos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, sendo o número de empresas inferior, pois muitas delas possuem várias unidades.

A produção brasileira de fécula ou mandioca está estagnada em um nível que varia de 22 a 25 milhões de toneladas, desde de 1985. A produção mundial de mandioca é estimada em 160 milhões de toneladas, sendo o Brasil o segundo maior produtor, cabendo o primeiro posto à Nigéria, com cerca de 30,9 milhões de toneladas.

Os resíduos da industrialização da mandioca são partes constituintes da própria planta, gerados em função do processo tecnológico adotado. Tanto a qualidade como a quantidade dos resíduos variam bastante, em função de uma série de fatores tais como o cultivar, idade da planta, tempo após a colheita, tipo e regulagem do equipamento industrial, entre outros (CEREDA, 1994).

Um resíduo importante no processo de extração de fécula de mandioca é o farelo, massa ou bagaço, caracterizado como material fibroso da raiz, contendo parte da fécula que não foi possível extrair no processamento.

---

[1] Pesquisadora Doutora, CERAT/UNESP Fazenda Experimental Lageado, CP 237 CEP: 18603-970 Botucatu-SP. Tel. 014 6802 7158, 6802 7230 e 68219050. E-mail: pesq1cerat@fca.unesp.br

A elevada quantidade de farelo gerado e a sua umidade fazem com que este material se apresente como um problema durante a safra, devido às dificuldades de transporte e armazenamento. Diante disto, o interesse e também a necessidade de utilização desse resíduo, visto os prejuízos causados ao ambiente com a sua disposição, são bastante significativos por parte dos industriais da área. Atualmente, este resíduo tem sido doado a fazendeiros para alimentação animal, depositado em valas próximas às fecularias ou vendido por cerca de US$ 5,00 a tonelada úmido. Algumas indústrias estão conseguindo vender este resíduo após secagem a US$ 100,00 a tonelada, para uso na mineração.

Com o objetivo de reduzir o volume de farelo gerado, existem fecularias que passam esse resíduo por prensas, entretanto, ainda não existe uma conscientização das perdas de amido neste resíduo e das possibilidades de uso do farelo por parte dos feculeiros brasileiros.

15.2. PROCESSO DE OBTENÇÃO DA FÉCULA DE MANDIOCA

O processo de produção de fécula de mandioca, qualquer que seja o grau de tecnologia empregada, consiste das etapas de lavagem e descascamento das raízes, ralação para a desintegração das células e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel e, finalmente, secagem (VILELA & FERREIRA, 1987).

As indústrias de grande porte são automatizadas. A seção de recepção das raízes consta de depósitos abertos de concreto, subdivididos em lotes para controle da ordem de chegada das raízes. Do depósito as raízes são encaminhadas ao lavador, que é dividido em duas seções, uma para lavar as raízes e outra para descascá-las. Apenas a periderme ou camada externa é retirada. A etapa seguinte é a de corte das raízes em pedaços de cerca de 30mm de espessura e desintegração dos pedaços em equipamento,de alta velocidade periférica, que possibilita o máximo de rompimento das células (VILELA & FERREIRA, 1987).

A extração da fécula é realizada em extratores (GLs) cujo princípio de funcionamento se baseia em cones rotativos providos de tela de peneiração, com crivos alongados de 125-250mm de largura. O material desintegrado passa por uma série de extratores cada vez mais finos, originando nesta etapa o farelo e o "leite de fécula". O "leite de fécula" livre das fibras, contém ainda outros componentes solúveis como proteínas, lipídeos e açúcares, que serão separados na etapa de refinação, juntamente com a água. Esta suspensão é denominada "água

vegetal" e deve ser rapidamente eliminada para evitar a fermentação e formação de complexos com a fécula. Para a purificação são utilizadas centrífugas, que apresentam discos cônicos dentro do rotor. A fécula refinada segue para um filtro rotativo à vácuo visando remoção parcial da umidade (40-45%) e após isto, passa por um secador pneumático onde, em tempo bastante curto, é desidratada de acordo com o teor de umidade final desejado (VILELA & FERREIRA, 1987).

15.3. BALANÇO DE MASSA DO PROCESSO

LEBOURG (1996), realizou o balanço de massa de uma fecularia brasileira que processa em torno de 200 ton. de raízes / dia e observou um rendimento industrial de 25,47%, ou seja, para cada tonelada de raiz de mandioca processada foi produzido 254,7 kg de fécula com cerca de 10% de umidade. Com relação ao farelo, gerou-se para cada tonelada de raiz 928,6 kg de farelo com 85% de umidade.

Considerando que a raiz de mandioca apresenta em média 29% de amido na base úmida, o processamento de uma tonelada de raiz inicia-se com 290 kg de amido, portanto, cerca de 70Kg de fécula são perdidos durante o processo. Grande parte da fécula fica retida no farelo e uma parte é carreada com o resíduo líquido.

LEONEL & CEREDA (1999a), avaliando o uso de prensas com o objetivo de reduzir o volume gerado de farelo, observaram que o uso de duas prensas, sendo a primeira de correia e a segunda hidráulica levou à uma redução de cerca de 350kg de farelo para cada tonelada mandioca. Portanto, em uma unidade industrial que processe 200ton. raiz/dia esta redução seria de 70 ton./dia.

15.4. COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO FARELO

A raiz de mandioca é calórica, gerando cerca de 1500 cal/kg, a partir dos carboidratos. As raízes apresentam em média 62% de umidade, 1,55% de fibras, 33,5 de carboidratos e 1% de cinzas (MARTELLI, 1951).

Gerado na etapa de separação da fécula, o farelo de mandioca é composto pela fécula que não foi extraída no processamento e pelas fibras, apresentando um elevado grau de umidade, cerca de 85%.

Segundo CEREDA (1996) a composição média de farelos é: 85% de umidade inicial e 75% de amido, 15% de fibras, 1,6 % de cinzas, 2% de proteína, 1% de açúcares e 0,8% de matéria graxa expressos na base seca. Os teores de pH e acidez são bastante variáveis, devido a fermentações naturais do resíduo úmido.

LEONEL & CEREDA (1995) e CEREDA (1996), caracterizaram o farelo seco quanto à composição mineral e obtiveram resultados bastantes semelhantes. A média observada foi de: 0,06% de nitrogênio, 0,02% de fósforo, 0,13% de potássio, 0,24% de cálcio, 0,11% de magnésio, 0,01% de enxofre, 98 mg/kg de ferro, 4,0 mg/kg de zinco, 1mg/kg de cobre e 10 mg/kg de boro.

O farelo é uma fonte de fibra de boa qualidade, apresentando em média 29% quando determinada por método de detergente neutro, 14 % por detergente ácido e 7% de fibra dietética, sendo 6% insolúvel e 1% solúvel (CEREDA, 1996).

LEONEL et al. (1998), analisando o farelo em microscópio ótico verificou a presença de células de parênquima que não foram rompidas com a moagem com grânulos de amido, fibras e fragmentos de casca e entrecasca da mandioca. Foi observado também uma quantidade elevada de grânulos de amido livres mas que não foram retirados com as lavagens nas GLs.

15.5. USOS POTENCIAIS

O farelo, também chamado de massa ou bagaço é um resíduo que se apresenta como um problema para as fecularias, visto que o único uso que tem se dado a ele é para a alimentação animal, ainda em pequena escala, da forma como é gerado na fecularia.

Infelizmente a indústria processadora de mandioca ainda não atentou que um aproveitamento eficiente de seus resíduos é o fator determinante para a sua diferenciação num futuro bastante próximo.

Muitas possibilidades de uso do farelo de mandioca já foram pesquisadas e não se pode dizer que exista uma solução única, e sim usos potenciais de acordo com a situação de mercado e da fecularia.

Dentre as possibilidades de uso estudadas e algumas já testadas em escala piloto, destacam-se o uso do farelo, juntamente com complementos proteicos, na formulação de rações para bovinos (OSPINA,1998), uso do farelo como matéria prima para produção de etanol (LEONEL,1998; LEONEL & CEREDA, 1998), produção de carvão, enchimento para comprimidos, embalagens biodegradáveis (CASTRO & CEREDA, 1999) e o farelo como base para produtos

dietéticos ricos em fibras (LEONEL et al., 1998; LEONEL & CEREDA, 1999b).

As fecularias de mandioca, como todas as indústrias, também foram afetadas pelas mudanças de economia e enfrentam mercados muito competitivos que as obrigam à um gerenciamento de produção dinâmico. Desta forma, o aproveitamento dos resíduos gerados como forma de tornar mais eficiente o processo de produção de fécula, vêm se tornando o ponto determinante na disputa por mercados alternativos.

Neste contexto, o farelo aparece como um resíduo que apresenta grande potencialidade de vir a se tornar um co-produto das indústrias extratoras de amido de mandioca.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, T.M.R., CEREDA, M.P. Confecção e utilização de embalagens rígidas biodegradáveis, desenvolvidas a partir de fécula de mandioca. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 3, 1999. Campinas. Anais ... Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, 1999. p.196.

CEREDA, M. P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: Resíduos da industrializaçao da mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia, 1994. cap.1, p.11-50.

CEREDA, M. P. Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais - Universidade Estadual Paulista, 1996. 56p.

LEBOURG, C. Brasamide et la fécule: une historie d'amour. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais - Universidade Estadual Paulista, 1996. 59p.

LEONEL, M., CEREDA, M. P. Sacarificação do resíduo fibroso de fecularias. I: seleção da concentração do resíduo. In: JORNADA CIENTÍFICA DA ASSOCIAÇÃO DOS DOCENTES, 19, 1995, Botucatu. Anais ... Botucatu: Associação dos Docentes, Universidade Estadual Paulista, 1995. p.203.

LEONEL,M. Uso de enzimas complementares no processo de produção de etanol a partir de farelo de mandioca. 1998. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Avaliação técnico-econômica da produção de etanol de farelo de mandioca utilizando pectinase como enzima complementar. Energ. Agric., v.13, n.2, p.1-14, 1998.

LEONEL, M. , CEREDA, M. P., ROAU, X. Cassava bagasse as dietary product. Trop. Sci., v.38, p.224-228, 1998.

LEONEL, M. ; CEREDA, M.P. Caracterização do resíduo fibroso da industrialização da mandioca. SINERGIA, 1999, Botucatu. Anais....Botucatu: 1999. p.151-156.

LEONEL, M. , CEREDA, M. P. ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.19, n.2, p.241-245, 1999b.

MARTELLI, H. L. Mandioca - planta de valor. A Fazenda, v.46, p.40, 1951.

OSPINA, M.T. Análise de projeto de investimento aplicado aos processos de secagem e enriquecimento protéico do farelo gerado nas fecularias de mandioca. 1998. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

VILELA, E. R. , FERREIRA, M. E. Tecnologia de produção e utilização do amido de mandioca. Inf. Agropecu., v. 13, n. 145, p. 69 - 74, 1987.

CAPÍTULO 16

APLICAÇÃO DO FARELO DE MANDIOCA COMO DESINTEGRANTE EM COMPRIMIDOS

Ana Dóris de Castro[1]
José Hamilton Ferreira Bueno[2]

16.1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da composição química do farelo de mandioca (amido e fibra) tem incentivado pesquisas visando sua aplicação como excipiente em comprimidos. Com efeito, pode-se considerar o farelo de mandioca como um descarte industrial, o qual tem sido, muitas vezes, indevidamente dejetado no meio ambiente. Assim, a possibilidade de sua utilização em formulações de comprimidos pode significar uma alternativa de baixo custo de excipiente para essas formas farmacêuticas.

16.2. COMPRIMIDOS

A Farmacopéia Brasileira define comprimidos como "formas farmacêuticas sólidas obtidas por compressão. Esta forma farmacêutica deve atender às exigências de desintegração, dissolução, dureza e friabilidade descritas nos métodos gerais e previstas nas monografias específicas" (F. BRAS. 1988). Assim, a Farmacopéia Brasileira, ao definir a forma farmacêutica comprimido, faz referência às provas que atestam a qualidade dos comprimidos.

O principal objetivo de se produzir comprimidos para administração oral é a

[1] Professora Assistente, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP - Araraquara - SP - email adcastro@fcfar.unesp.br
[2] Professor Titular, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, UNESP - Araraquara - SP - email jhfbueno@fcfar.unesp.br

liberação de quantidade adequada de fármaco no organismo num tempo apropriado, previsível e reprodutível. De um modo geral, aceita-se que para estar disponível e ser absorvido, o fármaco deve primeiramente estar em solução. Para a maioria dos comprimidos, o primeiro passo concernente à dissolução dos fármacos é a fragmentação do comprimido em partículas menores, processo conhecido como desintegração ou desagregação (KREMZAR, L. et al. 1988; RUDNIC, E., SCHWARTZ, J.B., 1995). Entretanto, o processo de desintegração, por si só, não garante que o fármaco irá se dissolver adequadamente num tempo previsto. Por esta razão, os testes de dissolução do fármaco são normalmente aplicados aos comprimidos, embora se reconheça que a desintegração controle, ao menos parcialmente, o processo de dissolução.

Quando se dispõe de uma fórmula adequadamente estruturada e de uma técnica de preparação convenientemente otimizada, pode-se considerar que a produção de comprimidos ocorre sem grandes dificuldades. No entanto, para se atingir esse estágio, é imprescindível ajustar parâmetros de formulação e de metodologia que possibilitem a obtenção de comprimidos de adequada capacidade de liberação do fármaco veiculado (BUENO, J.H.F. *et al.* 1998). Para o ajuste dos parâmetros de formulação deve-se considerar os insumos inertes que compõem o excipiente; já a otimização da técnica de preparação envolve, entre outros fatores, a eleição do processo produtivo propriamente dito, tendo-se em conta os materiais que fazem parte da fórmula do medicamento.

16.3. ADJUVANTES EM COMPRIMIDOS

Fórmulas de comprimidos contêm, além do fármaco, insumos inertes ou adjuvantes que compõem o excipiente e que devem desempenhar diferentes funções. Eles são incluídos nas diversas formas farmacêuticas para possibilitar, principalmente, sua produção e permitir que o fármaco exerça a atividade terapêutica esperada no organismo.

16.3.1. DESINTEGRANTES EM COMPRIMIDOS

Dentre os diversos adjuvantes incluídos em fórmulas de comprimidos figuram os desintegrantes ou desagregantes. Eles são incorporados na maioria das fórmulas de comprimidos para facilitar sua desintegração quando em contato

com os fluidos do organismo. Conforme já referido, a desintegração dos comprimidos pode abreviar o tempo de dissolução dos fármacos e, subseqüentemente, o processo de absorção; em outras palavras, a atividade terapêutica pode ser exercida mais prontamente.

Desde o início da industrialização de comprimidos, o amido, das mais variadas origens, tem sido reconhecido como um dos adjuvantes mais utilizados na produção dessas formas farmacêuticas. Sua ação desintegrante tem sido avaliada em numerosas pesquisas (KREMZAR, L. et al. 1988; LOWENTHAL, W., 1972; RUDNIC, E., SCHWARTZ, J.B., 1995).

16.4. APLICAÇÃO DO FARELO DE MANDIOCA COMO DESINTEGRANTE EM COMPRIMIDOS

O fato do farelo de mandioca apresentar em sua composição grande quantidade de amido levou Castro et al. (CASTRO, A.D. et al. 1998) a investigarem, em estudo comparativo com uma celulose microcristalina, a aplicabilidade do resíduo de industrialização da mandioca como excipiente de compressão direta. O menor número de etapas, equipamentos e tempo envolvidos no processo de compressão direta por si só justificam sua escolha para a obtenção de comprimidos. Entretanto, os maiores obstáculos para o sucesso deste processo produtivo são as características inadequadas dos excipientes no que diz respeito às propriedades de fluxo e, principalmente, às más propriedades de aglutinação que, muitas vezes, inviabilizam a produção. Nas condições do referido estudo, os autores sugerem que o farelo de mandioca não apresenta qualidades ideais para ser considerado um diluente de compressão direta. No entanto, os resultados obtidos no ensaio de desintegração dos comprimidos revelaram que o farelo de mandioca apresentou melhores propriedades desintegrantes que a celulose microcristalina.

Diante dos resultados deste estudo, Castro e Bueno (CASTRO, A.D., BUENO, J.H.F. a) estudam o farelo de mandioca como desintegrante em comprimidos obtidos por granulação a úmido. A despeito das vantagens do processo de compressão direta, a granulação a úmido ainda é o processo mais utilizado na obtenção de comprimidos.

Assim, comprimidos de lactose, formulados com amido de milho ou farelo de mandioca como agente desintegrante, foram obtidos pelo método de granulação a úmido, empregando-se como agente aglutinante/granulante solução alcoólica de polivinilpirrolidona a 10%. Nesses comprimidos, além do tempo de

desintegração, avaliou-se a variação de peso, espessura, dureza e friabilidade.

Os autores observaram que os comprimidos formulados com farelo de mandioca apresentaram tempos de desintegração bastante curtos (menos que três minutos). Nas condições do estudo, estes tempos de desintegração foram sempre menores que os comprimidos formulados com amido de milho. O conjunto de resultados levou os autores a concluírem que o farelo de mandioca pode ser utilizado como desintegrante em comprimidos.

Em outra pesquisa, Castro e Bueno (CASTRO, A. D., BUENO, S.H.F. b) compararam farelo de mandioca com amido de milho quanto à ação desintegrante em comprimidos de lactose, porém empregando goma de amido a 10% como agente aglutinante/granulante.

Os resultados desta pesquisa evidenciam novamente a ação desintegrante do farelo de mandioca e sua superioridade em relação ao amido de milho. Deste modo, o farelo de mandioca apresenta-se como um promissor agente desintegrante em comprimidos(CASTRO, A. D., BUENO, S.H.F. b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUENO, J.H.F., CASTRO, A.D., EVANGELISTA, R.C., GREMIÃO, M.P.D. Alguns fatores físicos envolvidos na compressão e suas aplicações na formulação de comprimidos. Rev. Ciênc. Farm., v.19, p.183-196, 1998.

CASTRO, A. D. & BUENO, J. H. F. "Evaluation of manioc residue from industrial processing as a disintegrant for compressed lactose tablets". In: IV PHARMATECH: NEW PERSPECTIVES IN DRUG DELIVERY SYSTEMS, Natal: 1999, p. 102.

CASTRO, AD., BUENO, J.H.F., FISZMAN, C.R. Avaliação preliminar da utilização do resíduo industrial de mandioca (*Manihot esculenta* Granz) como excipiente em comprimidos: características físicas e de compressão. Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo, v.34, p.23-28, 1998.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA, 4. ed. São Paulo: Atheneu, 1988. parte I, p.v.1.1., v.1.1.-2, v.1.3-1.3.2., v.1.4.1, v.2.11, v.2.11-2.VER PAGINAS

KANIG, J.L.; RUDNIC, E.M. The mechanisms of disintegrant action. Pharm. Technol., v.8, p.50-63, 1984.

KREMZAR, L., MOHAR, M., FERCEJ-TEMELJOTOV, D., KOFLER, B. Formulation of dispersible nabumetone tablets. Acta Pharm., v.48, p.187-192, 1998.

LOWENTHAL, W. Disintegration of tablets. J. Pharm. Sci., v.61, p.1695-1711, 1972.

RUDNIC, E., SCHWARTZ, J.B. Oral solid dosage forms. In: GENNARO, A. R. Remington's Pharmaceutical Sciences. 19.ed. Easton: Mack Publishing, 1995.p. 1615, 1623, 1625.

CAPÍTULO 17

CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA E USO DO FARELO DE MANDIOCA COMO BASE PARA PRODUTOS DIETÉTICOS

Magali Leonel[1]

17.1. INTRODUÇÃO

As mudanças na economia fizeram com que as industrias revisassem seus processos e também a qualidade dos seus produtos, frente as exigências de mercados cada vez mais competitivos. Os processos passaram a ser considerados como um todo, onde os resíduos gerados passam a ser vistos como receitas potenciais.

Anualmente cerca de 33 milhões de toneladas de amido são extraídos por agroindústrias em todo o mundo, movimentando um valor aproximado de 14 bilhões de dólares. Estas indústrias extraem amido que pode ser utilizado no preparo de inúmeros produtos alimentícios e não alimentícios (VILPOUX et al., 1996).

Atualmente, o processo de extração de amido, independente da matéria-prima utilizada, consiste das etapas de lavagem, desintegração para a liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e material solúvel e secagem.

Neste processo são gerados dois importantes grupos de resíduos quanto ao volume e composição. Os resíduos líquidos, que consistem na água de constituição da matéria prima e também na água residual do processo, e o grupo dos resíduos sólidos, que são composto por fibras, pedaços de casca e, de acordo com a eficiência do processo de extração, também por parte do amido inicial.

[1] Pesquisadora Doutora - Centro de Raízes e Amidos Tropicais - Universidade Estadual Paulista - Câmpus de Botucatu-SP. Fazenda Experimental Lageado , CEP: 18603-970 e-mail: pesq1cerat@fca.unesp.br

O aproveitamento dos resíduos gerados em processo industrial tem sido um dos principais parâmetros de avaliação no que concerne à introdução de uma nova linha de produção. É preciso avaliar não somente os custos do processo e do produto, mas também caracterizar os seus resíduos, de forma a se estabelecer quais as possibilidades destes se tornarem co-produtos do processo.

17.2. FIBRAS ALIMENTARES

As mudanças econômicas, os níveis de industrialização, a disponibilidade de alimentos, os tipos de trabalho e maiores receitas vêm transformando os estilos tradicionais de vida, incluindo-se aqui os hábitos alimentares. Esta nova tendência de vida mais acelerada, anteriormente apenas característica de sociedades mais abastadas e industrializadas, também trouxe, como conseqüência, mudanças no estado nutricional e um aumento na incidência de doenças crônicas degenerativas (ALMEIDA, 1997).

As fibras alimentares são constituintes normais da parede das células vegetais, resistentes à hidrólise enzimática no intestino humano, embora parcialmente atacadas pelas bactérias do cólon (FRANCO, 1997).

De acordo com a solubilidade em água, as fibras são classificadas em solúveis e insolúveis. São consideradas fibras solúveis: pectinas, gomas e certas hemiceluloses e, pertencem ao grupo das insolúveis: celuloses, lignina e outras hemiceluloses (CAMPOS, 1990).

Os diversos tipos de fibras alimentares têm cada qual, efeitos fisiológicos diferentes. Em geral, as fibras solúveis em água retardam a passagem intestinal, o esvaziamento gástrico e a absorção da glicose, ajudando a reduzir o colesterol no soro sangüíneo. As fibras insolúveis em água aceleram o trânsito intestinal, aumentam o peso das fezes, desaceleram a hidrólise do amido e retardam a absorção da glicose, contribuindo para a redução do risco de alguns males do cólon (ALMEIDA, 1997).

A importância da fibra alimentar tem sido relacionada com a regulação das funções intestinais como trânsito do bolo intestinal e volume fecal, prevenção de doenças como diverticulite, constipação, hiperlipidemia, hiperglicemia e câncer de intestino grosso e de mama (ANDON, 1987; SCHNEEMAN, 1987; REISER, 1987; GORBACH & GOLDONI., 1992; RAUP & SGARBIERI, 1996). Acredita-se que as fibras exercem suas funções através de sua capacidade de hidratação e de aumentar o volume do bolo fecal e a velocidade de trânsito do bolo alimentar.

A celulose, hemicelulose, pectinas e lignina apresentam características diferentes quanto ao grau de degradação, absorção de água e atuação sobre a atividade motora do intestino, entre outras.

A celulose é um homopolímero de moléculas de glicose unidas por ligações β (1-4). As moléculas de celulose paralelas e adjacentes estão interligadas, por meio de pontes de hidrogênio formando microfibrilas muito resistentes. As fibras de celulose são formadas por regiões cristalinas e amorfas. A porção hidrolisável por enzimas é chamada de região amorfa e a porção resistente constitui a porção cristalina. A celulose nativa difere em sua cristalinidade quanto à localização na parede celular: a camada secundária contém celulose altamente cristalina, enquanto a camada primária contém principalmente celulose amorfa (DA SILVA et al., 1997).

As hemiceluloses compreendem um grupo heterogêneo de polissacarídeos ramificados que se ligam firmemente à superfície das microfibrilas de celulose e entre si, cobrindo as microfibrilas e mantendo ligações cruzadas, via pontes de hidrogênio, em uma rede complexa. Quimicamente, os polímeros das hemiceluloses são heteropolissacarídeos formados por vários resíduos de açúcares como D-xilose, D-manose, D-arabinose e D-galactose, dentre outros e por seus ácidos urônicos. Estes açúcares estão ligados entre si por ligações glicosídicas β (1-4) formando uma estrutura principal composta por um tipo específico de resíduos, a partir da qual surgem ramificações laterais de cadeias curtas de outros açúcares. Eles são classificados de acordo com o açúcar predominante na cadeia principal e na ramificação lateral. Assim, têm-se os seguintes polissacarídeos: xilanas, galactomananas, arabinoxilanas, galactosanas, ramnogalactosanas, etc. (FERREIRA-FILHO, 1994). A xilana é o principal polissacarídeo componente das hemiceluloses (DA SILVA et al., 1997).

As hemiceluloses estão presentes em todas as camadas da parede celular das plantas mas concentram-se principalmente nas camadas primária e secundária, onde estão intimamente associadas à lignina (BISARIA & GHOSE, 1981).

As ligninas são compostos polifenólicos altamente insolúveis formados pela polimerização de três precursores principais: álcool trans-p-coumaril, álcool coniferil e álcool trans-sinapil. Através de uma extensa rede de ligações cruzadas dentro das paredes celulares, as ligninas conferem à estas elevada resistência (FERREIRA-FILHO, 1994).

As pectinas são os principais componentes da lamela média e um dos principais polímeros da parede celular vegetal. Os polissacarídeos pécticos são ricos em ácido galacturônico, ramnose, arabinose e galactose. As substâncias pécti-

cas são formadas por duas frações interligadas: a ramnogalacturonana e a homogalacturonnana (THAKUR et al., 1997). A primeira é um heteropolímero que tem a estrutura principal formada por repetidas unidades de ácido galacturônico ligado à raminose e cadeias laterais consistindo de arabinose e galactose que não interagem com Ca^{++}. Por outro lado, a homogalacturonana é um homopolímero formado por unidades de ácido galacturônico e/ou o seu metil éster unidos por ligações glicosídicas β (1-4). Devido à sua capacidade de ligar Ca^{++}, aumentar a viscosidade e formar gel, a pectina apresenta grande importância tecnológica (DA SILVA et al., 1997).

17.3. FRAÇÃO FIBRA DO FARELO DE MANDIOCA

O processo de industrialização e urbanização vem afetando profundamente as condições de existência das populações, com modificações na alimentação que se refletem no aparecimento de doenças crônico-degenerativas.

A mandioca é uma raiz eminentemente calórica cuja fração mais significativa é o amido representando cerca de 35% da matéria fresca.

HOLLOWAY et al. (1985), analisando a composição de alguns alimentos quanto ao teor de fibras dietéticas e demais constituintes verificaram em raízes de mandioca (% do peso seco): 60,5% de umidade, 84,9% de amido, 5,8% de pectina, 2,7% de hemicelulose, 1,9% de celulose e 1,1% de lignina.

Já RIVERA et al. (1993), caracterizando a fração fibra de raízes de mandioca utilizando métodos gravimétricos encontraram: 39,7% de fibra detergente neutro (FDN), 23,8% de fibra detergente ácido (FDA), 16,7% de hemicelulose, 15% de celulose, 4,8% de lignina, 10% de pectina na base seca.

O farelo de mandioca apresenta-se como um material rico em fibras insolúveis, sendo a fração hemicelulose a mais significativa (FIGURA 01). De acordo com DIAS et al. (1994), o farelo de arroz também apresenta-se como produto rico em fibras insolúveis contendo: 10,1 % de FDA, 27,4 % de FDN, 2,64 % de celulose, 17,3 % de hemicelulose e 20,9 % de lignina.

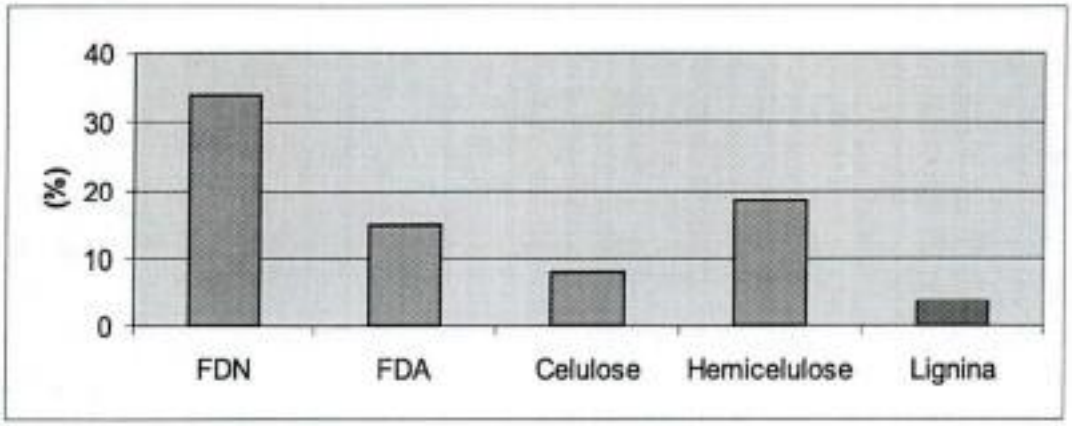


FIGURA 17.1
Frações fibra do farelo de mandioca.

17.4. PROCESSAMENTO DO FARELO

Frente aos benefícios de uma dieta com alto teor de fibra, baixa caloria e nutricionalmente balanceada, tem ocorrido um aumento no consumo de alimentos com essas características, levando a incorporação de fibras em vários novos produtos, o que justifica o interesse no aproveitamento do farelo para este fim.

Devido ao elevado teor de amido neste resíduo (cerca de 75%), seria interessante a sua redução, o que propiciaria menores perdas no processo (aproximadamente 100kg amido/t raiz processada), gerando um resíduo mais fibroso.

A redução do teor de amido do farelo pode ser através da melhoria do processo de extração da fécula (LEONEL & CEREDA,1999a) ou ainda por hidrólise, gerando um hidrolisado que pode ser fermentado, produzindo-se álcool fino, fibra e vinhaça como co-produtos do processo (LEONEL & CEREDA, 1999b).

LEONEL & CEREDA (2000) avaliaram a extração da fécula retida no farelo através da agitação em liqüidificador industrial com água, com solução de NaOH, solução água-álcool e solução água Tween 80. Os resultados obtidos mostraram que cerca de 19,0% da fécula retida no farelo foi retirada com uma segunda extração, e que não ocorreu aumento nesta porcentagem quando se utilizou as soluções para facilitar a extração. Considerando-se o balanço de

massa de LEBOURG (1996), onde foi observado que para cada tonelada de raiz processada gerou-se 930kg de farelo com 85% de umidade, e observando os dados do balanço é possível concluir que para cada tonelada de raiz são gerados aproximadamente 890kg de farelo com 81,3% de umidade (farelo inicial), que corresponderia a 167kg de matéria seca e 139kg de amido (83,08%). Portanto, a redução de 19 % do teor de amido do farelo significaria para uma indústria que processe em média 200 toneladas raiz/dia uma recuperação em torno de 5,0 toneladas de fécula/dia.

LEONEL & CEREDA (2000) analisando os resíduos gerados nos tratamentos de extração, observaram um pequeno aumento na porcentagem de fibras (13,22%) em relação ao farelo inicial (11,78%). Uma possibilidade de aproveitamento seria o uso como uma farinha de mandioca com elevado teor de fibras insolúveis, as quais possuem importantes propriedades funcionais.

O farelo pode ser hidrolisado enzimáticamente utilizando α-amilase, produzindo um produto fibroso levemente açucarado, ou então totalmente, produzindo um hidrolisado com elevado teor de glicose, e um produto fibroso rico em fibras insolúveis. O hidrolisado também pode ser fermentado e comercializado com álcool fino, gerando-se ainda a vinhaça que pode ser vendida para a alimentação animal (LEONEL & CEREDA, 1998).

LEONEL & CEREDA (2000) avaliando o resíduo fibroso gerado no processo de produção de etanol, observaram uma composição de 1:1:1 de amido, fibras e açúcares. O elevado teor de açúcar deve-se ao hidrolisado retido no resíduo. Uma possibilidade para a redução dos açúcares seria a lavagem, contudo, o leve sabor adocicado é bastante interessante na formulação de produtos para o café da manhã. Quanto a energia metabolizável aparente (EM), o valor calculado foi 2,16 kcal/g, valor este inferior aos citados por LOCKHART et al. (1980) para alguns produtos como farelo de aveia (3,8 kcal/g), farelo de arroz (2,4 kcal/g) e farelo de trigo (2,5 kcal/g).

Portanto, o farelo de mandioca, bem como os resíduos fibrosos resultantes do processamento do farelo podem ser aproveitados como fonte de fibras dietéticas, o que possibilitaria às indústrias processadoras de mandioca novas fontes de renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, N.G. A importância das fibras alimentares. Bol. Inf. da Kellogg's Nutr. Saúde, v.7, n.1, p.1, 1997.

ANDON, S. A. Aplications of soluble dietary fiber. Food Techonol., p.74-75, 1987.

BISARIA, V. S., GHOSE, T. K. Biodegradation of cellulosic materials: substrates, microorganisms, enzymes and products. Enzyme Microb. Technol., v.3, p.90-104, 1981.

DA SILVA, R. ; FRANCO, C.M.L.; GOMES, E. Pectinases, hemicelulase e celulases, ação, produção e aplicação no processamento de alimentos: revisão. Bol. SBCTA, v.31, n.2, p.249-260, 1997.

DIAS, L. C. G. D.; REYES, F.; CAMARGO, J. L . V.; RODRIGUES, M . A . M. Conteúdos de celulose , hemicelulose e lignina no farelo de arroz fresco. Rev. Nutr. Puccamp , v.7, p. 62-71, 1994.

FERREIRA-FILHO, E. X. The xylan-degrading enzyme system. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, v.27, p.1093-1118, 1994.

FRANCO, G. Tabela de composição química dos alimentos. 9.ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1997.

GORBACH, S. L.; GOLDINI, B.R. Nutrition and gastrointestinal microflora. Nutr. Reviews, New York, v.50, p.378-381, 1992.

HOLLOWAY, W., D., MONRO, J. A., GURNSEY, J. C., POMARE, E.W., STACE, N. H. Dietary fiber and other constituents of some Tongan foods. J. Food Sci., v.50, p.1756-1757, 1985.

LEBOURG, C. Brasamide et la fécule: une historie d'amour. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais-Universidade Estadual Paulista, 1996. 59p.

LEONEL, M., CEREDA, M.P. Avaliação técnico-econômica da produção de etanol de farelo de mandioca utilizando pectinase como enzima complementar. Energ. Agric., v.13, n.2, p.1-14, 1998.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Avaliação da celulase e pectinase como enzimas complementares, no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para produção de etanol. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.19, n.1, p.113-117,1999a.

LEONEL, M. , CEREDA, M. P, ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.19, n.2, p.241-245, 1999b.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Extração da fécula retida no resíduo fibroso da industrialização da mandioca. Cienc. Tecnol. Aliment., 2000a (no prelo).

LEONEL, M., CEREDA, M.P. Avaliação da concentração de pectinase no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para obtenção de etanol. Cienc. Tecnol. Aliment., 2000b (no prelo).

LOCKHART, H. B., LEE, H. S., O'MAHONY, S. P., HENSLEY, G. W., HOULIHAN, E.J. Caloric value of fiber-containing cereal fractions and breakfast cereals. J. Food Sci., v.45, p.372-374, 1980.

POURCHET, M. A . Fibra: a fração alimentar que desafia os estudiosos. Aliment. Nutr., v.2, p.53-63, 1990.

RAUP, D. S., SGARBIERI, V. C. Efeitos de frações fibrosas extraídas de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) na utilização de macro e micronutrientes da dieta pelo rato. Cienc. Tecnol. Aliment., v.16, n.2, p.100-107, 1996.

REISER, S. Metabolic effects of dietary pectins related to human health. Food Technol., p.91-99, 1987.

RIVERA, C. J., GERARDI, A . G. , INFANTE, R. B., CARRASCO,H.J., RODRIGUES,O. Dietary fiber analysis of cassava using gravimetric methods. Arch. Latinoam. Nutr., v. 43, n.1, p.78-80, 1993.

SCHNEEMAN, B. O. Soluble vs insoluble fiber-different physiological responses. Food Technol., p.81-82, 1987.

THAKUR, B. R., SINGH, R. K., HANDA, A. K. Chemistry and uses of pectin - a review. Critical Revi. Food Sci. Nutri., v. 37, n.1, p. 47-73, 1997.

VILPOUX, O. , CEREDA, M. P. , DA SILVA, A. P. P. O mercado de amido no Brasil. Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais - Universidade Estadual Paulista, 1996. 53p.

CAPÍTULO 18

USO DOS SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Magali Leonel[1]

18.1. INTRODUÇÃO

Como planta, a mandioca pode ter sua utilização integral na alimentação de bovinos, suínos, peixes e aves. Da raiz à parte aérea, constitui-se em uma opção de baixo custo, tanto na sua produção, como fonte de alimentação animal.

Diante do interesse de fazendeiros, bem como dos industriais processadores da mandioca, as pesquisas sobre a utilização da mandioca e dos resíduos de sua industrialização como base para a alimentação animal têm sido freqüentes.

Uma outra possibilidade de uso, mas ainda muito pouco estudada seria a utilização da parte aérea da mandioca na elaboração de rações para peixes. O desenvolvimento da aquicultura causou um aumento no consumo de rações para peixes, e segundo PIKE (1997) citado por TAKON (1998), a produção de rações para peixes em 1994 representou 17% da produção total de ração animal, sendo a estimativa de 23% da produção total de rações para o ano 2010.

As dietas para peixes não têm estabelecidos todos os requerimentos nutricionais necessários. A NATIONAL RESEARCH COUNCIL estabelece alguns níveis de nutrientes necessários para algumas espécies, como por exemplo, 0,20% da ração para misturas vitamínicas e misturas minerais para as espécies tilápia (*Oreachromis niloticus*) e bagre de canal (*Ictalarus punctatus*) (SANT'ANA et al., 1999). Na formulação de rações para aquicultura tem sido utilizado o milho e o trigo como alimento energético e as farinhas de soja e peixe como protéicos.

[1] Professora doutora – Pesquisadora do CERAT - Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Unesp - Universidade Estadual Paulista «Campus de Botucatu»- São Paulo - CP 237 - CEP 19 607 170 - seccerat@lfca.unesp..br

Entretanto, alguns trabalhos vêem sendo realizados no sentido de substituir o milho por mandioca.

Este capítulo apresenta uma breve revisão sobre o uso dos resíduos da industrialização da mandioca na alimentação animal, esperando com isso contribuir para a divulgação de informações sobre este tópico aos industriais e fazendeiros interessados.

18.2 - RESÍDUOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA

A produção brasileira de mandioca está estagnada em um nível que varia de 22 a 25 milhões de toneladas, desde 1985. A área plantada sempre foi um pouco inferior a 2 milhões de hectares. Segundo dados parciais, a produção brasileira de mandioca foi 20,2 milhões de toneladas, em uma área plantada de 1,55 milhões de hectares. A produção mundial de mandioca é estimada em 160 milhões de toneladas, sendo o Brasil o segundo maior produtor, cabendo o primeiro posto à Nigéria, com cerca de 30,9 milhões de toneladas (AGRIANUAL, 1999).

A raiz de mandioca é eminentemente calórica, gerando cerca de 1500 cal/kg, a partir dos carboidratos. As raízes apresentam em média 62% de umidade, 1,55% de fibras, 33,5% de carboidratos e 1% de cinzas (CEREDA, 1994).

Os resíduos da industrialização da mandioca são partes constituintes da própria planta, gerados em função do processo tecnológico adotado. Tanto a qualidade como a quantidade dos resíduos variam bastante, em função de uma série de fatores tais como o cultivar, idade da planta, tempo após a colheita, tipo e regulagem do equipamento industrial, entre outros.

A Figura 01 mostra o balanço de massa de uma fecularia que processa em média 200t/dia de mandioca e a quantidade de resíduos sólidos (parte aérea e bagaço) gerados por dia de processamento.

Com relação à parte aérea da mandioca, para uma indústria que processe 200t/dia e considerando o rendimento agrícola da cultura de 25t/ha, são necessários 8ha/dia para o abastecimento da fecularia. Visto que a parte aérea fresca representa 20t/ha e que 20% é destinado ao replantio, sobra no campo 128t/dia de matéria vegetal fresca, cujo o aproveitamento para ração animal é bastante interessante frente a composição desta.

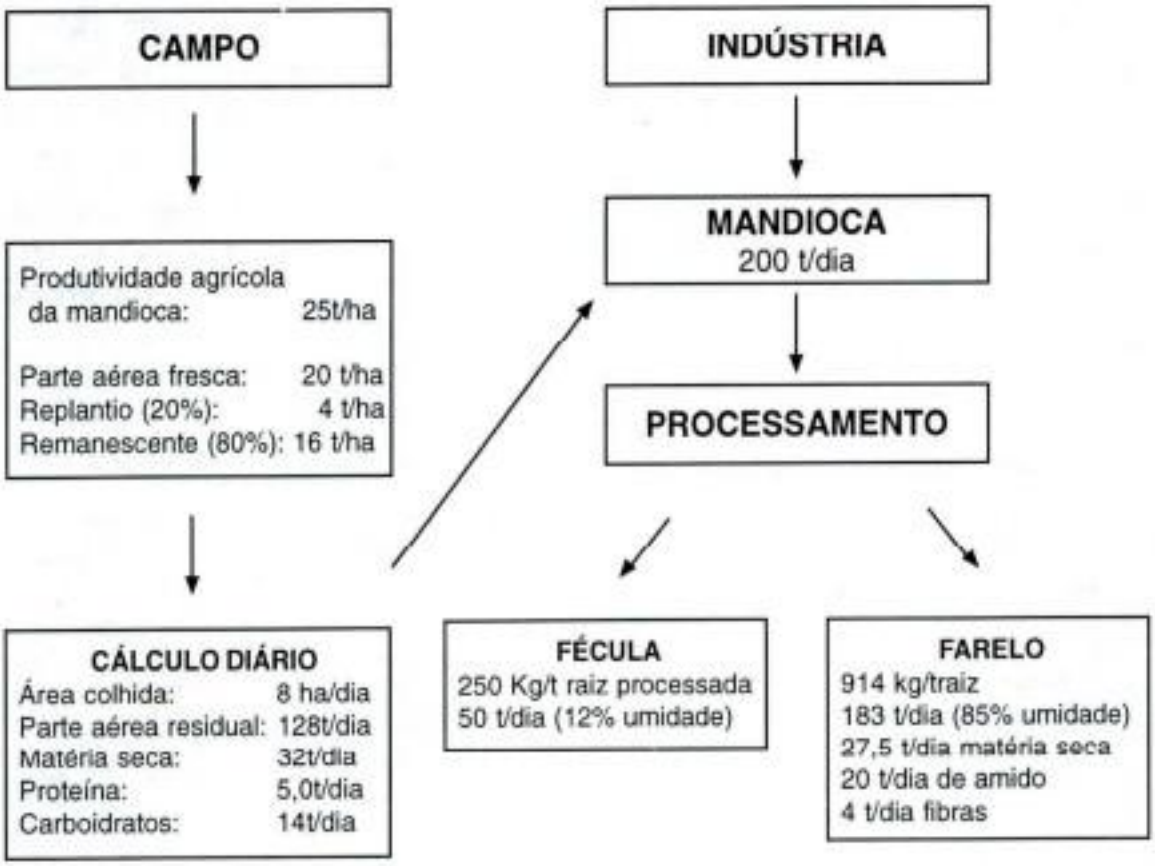


FIGURA 18.1
Balanço dos subprodutos no processamento da mandioca para a produção de fécula.

Quanto ao bagaço, massa ou farelo gerado na etapa de extração da fécula, a elevada quantidade e a sua umidade fazem com que este material se apresente como um problema durante a safra, devido às dificuldades de transporte e armazenamento. Diante disto, o interesse e também a necessidade de utilização desse resíduo, visto aos prejuízos causados ao ambiente com a sua disposição, são bastante significativos por parte dos industriais da área. Atualmente, este resíduo tem sido doado à fazendeiros para alimentação animal, onde é usado úmido juntamente com cana e milho, depositado em valas próximas às fecularias ou vendido por cerca de R$ 10,00 a tonelada úmido e R$ 190,00 a tonelada seco para uso na mineração (LEONEL & CEREDA, 1999).

Enquanto no processo de extração de amido a partir de milho, os materiais gerados durante a extração são aproveitados integralmente na fabricação de sub-

produtos, alcançando uma eficiência acima de 95% na utilização da matéria prima; no processo de extração de fécula de mandioca, esta eficiência é inferior à 30%, devido a que os materiais ou resíduos gerados não são utilizados na fabricação de subprodutos. O tratamento e aproveitamento dos resíduos gerados determina um aumento na eficiência dos processos e é ainda mais justificado quando os novos produtos são passíveis de comercialização. Um outro exemplo importante no Brasil é a indústria canavieira, que recicla, no mesmo processo de produção, a maior parte de seus resíduos.

Quadro 18.1
Quantificação dos resíduos sólidos na industrialização da mandioca.

Resíduos	Matéria úmida	Umidade	Matéria seca
Ramas (maniva)	1 a 20 t/ha	60%	0,4 a 8 t/ha
Cepa	410 Kg	60%	136 Kg/t raiz
Folhas	2,5 t/ha	60%	0,9 t/ha
Farelo	914 Kg	85%	137 Kg/t raiz

Fonte: CARVALHO (1990)

18.2.1. PARTE AÉREA DA MANDIOCA

Parte aérea, forragem ou rama da mandioca é toda a parte da planta que está acima do solo. Ela é composta de hastes e folhas (limbo e pecíolo). A porcentagem desse constituinte é função do crescimento vegetativo, época do ano e variedade, correspondendo a aproximadamente 50% do peso da planta colhida aos 18 meses. A produção de raízes pode atingir 30t/ha e a da parte aérea 25t/ha de massa fresca (ALMEIDA et al., 1990).

A parte aérea da mandioca possui alto valor nutritivo, além de excelente aceitabilidade pelos animais. Seu teor de proteína na base seca é da ordem de até 16% e o teor de carboidratos está em torno de 45%, em grande parte constituído por amido (Quadros 02, 03 e 04).

Considerando que apenas 20% do total de ramas produzidas numa área são aproveitadas para replantio da mesma área, restam no campo 80% de um produto de elevado valor alimentar para os animais, que não deve ser desperdiçado.

Quadro 18.2
Análise da composição química da parte aérea da mandioca

Componentes (%)					
Matéria seca inicial	Proteína	Gordura	Carboidratos	Fibra Bruta	Cinzas
25	16	7,5	45	14,5	12

Fonte: CARVALHO et al. (1983)

Quadro 18.3
Produção, qualidade e digestibilidade da parte aérea de mandioca, cultivar Mico, em cultivo de dois ciclos

Cultivo	Produção de matéria verde (Kg/ha)	Matéria seca (%)	Produção de matéria seca (Kg/ha)	Proteína bruta (% na matéria seca)	DIVMO [a] (%)
1º ciclo [b]	12.045	24,0	2.890	13,2	48,0
2º ciclo [c]	17.343	22,8	3.971	11,6	49,6

a: DIVMO = digestibilidade *in vitro* da matéria orgânica
b: colheita da parte aérea nos primeiros cinco dias de maio
c: colheita da parte aérea nos primeiros cinco dias de abril
Fonte: ALMEIDA et al.(1990)

É importante salientar que a composição química e conseqüentemente o valor nutritivo da parte aérea podem ser influenciados também pelo sistema de corte e porção da parte aérea. Alguns experimentos recomendam corte da parte aérea aos 12 meses e aos 18 meses, entretanto, existe variação entre as espécies.

Quadro 18.4
Valores médios da caracterização da folha, caule e cepa de mandioca

	Caule	Cepa	Folhas
Umidade inicial (%)	65,00	53,28	77,20
% Matéria seca			
Proteína (6,25)	6,25	-	30,68
Carboidratos totais	31,91	-	-
Amido	26,00	71,40	0,00
Matéria Graxa	1,78	-	7,15
Cinzas (500ºC)	6,15	2,28	7,22
Fibras		-	43,15
Calorias (Kcal)	4216,46	2035,63	4781,80

Fonte: CARVALHO (1990)

A parte aérea da mandioca pode ser fornecida aos animais fresca, desidratada e ensilada (CARVALHO, 1990).

PARTE AÉREA FRESCA

A administração sobre a forma fresca é a mais simples, mas em se tratando de mandioca industrial, aconselha-se fazer a murcha por um período **mínimo** de 24 horas, e misturá-la com 50% de outros volumosos, quando destinada à ruminantes, e com 80% de concentrado, quando para monogástricos.

PARTE AÉREA DESIDRATADA

Já na forma desidratada, a parte aérea deve ser picada em uma picadeira em pedaços menores de 2cm e desidratadas ao sol (tempo, alterações climáticas, área para secagem e mão-de-obra devem ser considerados), ou em fornos do tipo das farinheira (custo energético, rapidez no processo, mão-de-obra). Após a secagem o material pode ser ensacado (ruminantes) ou moído em moinho de peneira (aves).

PARTE AÉREA ENSILADA

Para uma boa ensilagem a parte aérea deve ser picada em pedaços de aproximadamente 1 a 2cm diretamente no silo. A cada camada de 20 cm na extensão do silo deve-se fazer a compactação e encher o silo o mais rapidamente possível. Cobrir com uma lona de plástico e colocar uma camada de no mínimo 15cm de terra por cima. Fazer uma valeta para escorrer a água da chuva. O silo não deve ser aberto antes de 30 dias após o enchimento.

Quadro 18.5
Composição química da parte aérea fresca, desidratada ao sol e ensilada

COMPONENTES (%)[1]	Parte aérea da mandioca		
	Fresca	Desidratada ao sol	Ensilada
Matória seca	25.95	89.00	31.99
Proteína bruta	14.99	10.84	11.50
FDN[2]	42.53	49.81	48.85
Gordura	2.66	2.44	2.96
Cálcio	1.34	1.12	1.21
Fósforo	0.21	0.17	0.14

[1]Com base na matéria seca [2]FDN - Fibra em detergente neutro

Fonte: CARVALHO (1990)

CARVALHO et al. (1983), avaliando a qualidade de silagens da parte aérea de mandioca, do capim-elefante e da parte aérea de mandioca associada ao capim-elefante, nas proporções de 25%, 50% e 75%, concluíram que houve uma influência benéfica da parte aérea da mandioca na fermentação das silagens.

Quadro 18.6
Avaliação da qualidade da silagem da parte aérea da mandioca (PAM); do capim-elefante (CE); 50% de PAM + 50% de CE; 75% de PAM + 25% de CE e 25% de PAM + 75% de CE

Silagem %	Parâmetros							
	pH	Ác. graxos voláteis (ml/kg M.S.)	Ácido acético (g/Kg M.S)	Ácido butírico (g/Kg M.S.)	Ácido lático (g/Kg M.S.)	NH_3/N total	N Solúvel/ N total	Apreciação
100PAM	3,99a	451,0c	27,06 c	0	181,93 a	9,36 a	36,55 bc	Boa
100CE	3,93a b	1.696,3 a	101,78 a	0	161,02 a	6,16 b	50,32 a	Medíocre
50PAM 50CE	3,83a b	901,5 b	54,09 b	0	204,82 a	10,17 a	35,93 c	Boa
75PAM 25CE	3,90a b	386,4 c	23,78 c	0	159,25 a	11,31 c	35,52 c	Boa
25PAM 75CE	3,68b	375,9 c	22,55 c	0	165,45 a	9,51 a	40,81 b	Boa

Fonte: CARVALHO et al.(1983).

De forma geral os poligástricos aceitam bem a parte aérea de mandioca nas formas fresca e ensilada. Bovinos adultos consomem em torno de 5 kg de matéria seca de parte aérea fresca, o que equivale dizer mais ou menos 15 kg do material fresco. O consumo desse material pode aumentar ou diminuir, de acordo com o suplemento volumoso ou concentrado que se oferece e também com o tipo de rebanho (leite, corte, novilho).

No Mato Grosso do Sul foi realizado um experimento com 30 cabeças de gado de corte em regime de semi-confinamento, onde utilizou-se rama de mandioca fresca triturada (4kg/cabeça) adicionada de protéico durante 60 dias e o resultado observado foi de ganho de peso de 1,3Kg dia/cabeça (peso vivo). Atualmente, este tratamento está sendo fornecido periodicamente no rebanho todo na fase terminal para abate.

Para suínos em crescimento e terminação, da 8ª à 34ª semana, as experiências têm mostrado que bons resultados técnicos foram atingidos, quando alimentados com uma mistura de 75% de uma ração de base, bem equilibrada, e 25% de parte aérea fresca de mandioca. Todavia, os melhores resultados econômicos foram obtidos com 50% dessa ração de base e 50% de parte aérea fresca de mandioca (CARVALHO, 1990).

Já na alimentação de aves, para pintos de duas semanas podem ser acrescentados 20% de farelo de parte aérea de mandioca à ração de base.

Na alimentação de peixes NG & WEE (1989), avaliaram o uso de farinha de folhas de mandioca peletizada como ração para tilápia (*Oreochromis niloticus*) e concluíram que a farinha de folha de mandioca é um suplemento protéico de boa qualidade para tilápias.

18.2.2. FARELO DE MANDIOCA

Um resíduo importante no processo de extração de fécula de mandioca é o farelo, massa ou bagaço, caracterizado como material fibroso da raiz, contendo parte da fécula que não foi possível extrair no processamento. O farelo é gerado na etapa de separação da fécula, e nesta fase contém cerca de 85% de umidade. O balanço de massa em uma fecularia brasileira que processa em torno de 200 t de raízes / dia é 250 kg de fécula e 914kg de farelo úmido para cada tonelada de raiz de mandioca processada (LEBOURG, 1996).

A composição do farelo varia principalmente quanto ao teor de amido, que tem uma correlação direta com a eficiência do processo de extração.

Quadro 18.7
Caracterização do farelo de mandioca

Variáveis	Média
Umidade inicial (%)	85
(%) Base seca	
Amido	75
Fibras	15
FDN	29
FDA	14
Cinzas	1,6
Açúcares totais	1,0
Proteína	2,0
Matéria Graxa	0,8
Minerais (mg/Kg)	
Nitrogênio	600
Fósforo	200
Potássio	1300
Cálcio	2400
Magnésio	1100
Enxofre	100
Ferro	98
Zinco	4,0
Cobre	1000
Boro	10

Fonte: CEREDA (1994)

O uso de produtos e subprodutos de mandioca, em conjunto com uréia, como matéria-prima na alimentação de ruminantes tem sido objeto de diversas pesquisas. A uréia é usada para aumentar diretamente o conteúdo protéico da ração, no entanto, apresenta problemas de estabilidade e volatilidade com o tempo, quando não se encontra física ou quimicamente integrada com os outros componentes da ração (SILVA, 1977).

Uma das alternativas de aproveitamento do farelo de mandioca é a extrusão do farelo úmido com uréia (Amireia), para conseguir um produto a ser usado na alimentação animal, em substituição total ou parcial do farelo de soja. O método desenvolvido inicialmente por pesquisadores da Universidade Federal de Lavras baseia-se no amido contido na raspa de mandioca.

Os efeitos da extrução sobre a composição de misturas de farelo e uréia também foi avaliado e concluiu-se sobre a viabilidade técnica da extrusão, obtendo-se um alimento de boa digestibilidade no rúmen, com teores de proteína levemente superiores à 11%, além de uma excelente estabilidade do extrudado em relação ao nível de nitrogênio (BEM, 1996).

O aproveitamento do farelo como componente de ração animal, passa inicialmente pela secagem deste, visto que este resíduo é gerado na fecularia com cerca de 85% de umidade. Portanto, deve-se estabelecer como e quanto irá custar a secagem deste resíduo. Atualmente, as fecularias que secam o farelo em fornos do tipo das farinheiras, têm um custo médio de secagem de R$ 60,00 (LEONEL & CEREDA, 1999).

O CERAT em 1998, realizou um estudo econômico sobre o uso do farelo com uréia, na forma extrudada. Avaliou-se um produto semelhante a Amireia composto de 85% de farelo com 55% de umidade, 13% de uréia e 2% de gesso agrícola. Concluiu-se pela viabilidade técnico econômica do processo para fecularias que processam em torno de 200t mandioca/dia, sendo que o investimento para a instalação do processo representa em torno de 70% do valor investido para a instalação da fecularia, utilizando-se os equipamentos testados no experimento. Visto que o mercado da Amireia está diretamente relacionado com o mercado do farelo de soja, a única forma de substituir este seria a comercialização à preços 40 a 50% menores (OSPINA, 1998).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, X.E., AGOSTINI, I., TERNES, M. Aproveitamento da parte aérea da mandioca na alimentação de bovinos. Agrop. Catarinense, p.30-33, 1990.

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura brasileira, FNP - Consultoria & Comércio, M&S Mendes & Scotoni, São Paulo: Argos, p.352-358, 1999.

BEM, D. W. C. H. Estudo dos efeitos da extrusão sobre a composição de diferentes misturas de farelo de mandioca e uréia. 1996. 66p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

CARVALHO, J.L.H., PERIM, S., COSTA, I.R.S. Parte aérea da mandioca na alimentação animal. I: Valor nutritivo e qualidade da silagem. Brasília, EMBRAPA - CPAC, 1983. 6p. (Comunicado Técnico).

CARVALHO, J.L.H. A mandioca: raiz e parte aérea na alimentação animal. In: ENCONTRO SOBRE O USO DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL. 1990, Botucatu. Apostila... Casa da Agricultura de Botucatu-SP- Prefeitura Municipal de Botucatu, 1990. 39p.

CEREDA, M. P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: — Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia, 1994. cap. 1, p.11-50.

CORREIA, E.S. de, GOMES, S. Z. Efeito da substituição do milho por mandioca desidratada no crescimento, conversão alimentar e taxa de sobrevivência do camarão da Malásia *Macrobrachium rosembergii* (De Man, 1979). Rev. Soc. Bras. Zootecnia, v.25, n.4, p.583-594, 1996.

LEBOURG, C.; SANTOS, F.D.; CEREDA, M.P.; CHUZEL, G. Balanço de massa em uma fecularia de mandioca. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9, 1996, Sao Pedro-SP. Anais... São Pedro. CERAT/UNESP, 1996. p.253.

LEONEL, M. , CEREDA, M.P. Caracterização do resíduo fibroso da industrialização da mandioca. In: SINERGIA, 1999, Botucatu. Anais...Botucatu: 1999. p.151-156,

NG, W.K., WEE, K.L. The nutritive value of cassava leaf meal in pelleted feed for Nile tilapia. Aquaculture, v.83, n.1-2, p.45-58, 1989.

OSPINA, M.T. Análise de projeto de investimento aplicado aso processos de secagem e enriquecimento protéico do farelo gerado nas fecularias de mandioca. 1998, 130p. (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SANT'ANA, L.S., CARNEIRO, D.J., MANCINI FILHO, J. Elaboração de rações para peixes da espécie pacu (*Piaractus mesopotamicus*). Bol. SBCTA, v.33, n.1, p.38-40, 1999.

SILVA, J.F.C. et al. Raspa de mandioca e melaço como veículos da uréia para bovinos em confinamento. Rev. Ceres, v.24, n.132, p.134-140, 1977.

TAKON, A.G.J. Selected developments and trends. Disponível em: http://www.fao.org./waicent/faoinfo/fishery/publi./circular. Acesso em 18 Jan. 1998.

CAPÍTULO 19

RESÍDUOS INDUSTRIAIS DA RAIZ DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS

Armando de Andrade Rodrigues[1]
Oriel Fajardo de Campos[2]

19.1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) é uma espécie originária da América do Sul Tropical, conhecida também pelos nomes de yuca, cassava, tapioca e manioc.

Devido a sua adaptabilidade a diferentes condições, a mandioca se disseminou na maioria das regiões tropicais do mundo. Ela é cultivada em mais de 80 países (Holzer et al. 1997), englobando uma área estimada de 11 milhões de hectares e alcançando uma produção de 130 milhões de toneladas anuais (Buitrago, 1990).

O Brasil e a Tailândia são os maiores produtores do mundo e destinam grande parte de sua produção para alimentação animal. No Brasil, as raízes são utilizadas quase que totalmente nas propriedades rurais, ao passo que na Tailândia a maior parte das raízes é submetida a secagem e exportada na forma de pellets para os países desenvolvidos, onde são utilizados em rações para animais.

Além dos produtos primários, como as raízes e parte aérea, existem outros subprodutos ou resíduos da mandioca que tem bom potencial como alimento para ruminantes.

[1] Engº Agrº MS, Dr. , Embrapa-Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, Caixa Postal 339, CEP 13560-970, São Carlos, SP. e-mail: armando@cppse.embrapa.br
[2] Engº Agrº MS, PhD., Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Leite, Rua Eugênio do Nascimento, 610, CEP 36038-330, Juiz de Fora, MG. e-mail: oriel@cnpgl.embrapa.br

19.2. CARACTERÍSTICA NUTRICIONAL DA RAIZ DA MANDIOCA

Com exceção da parte aérea, que está sendo abordada em outro capítulo, as raízes e seus resíduos são alimentos essencialmente energéticos devido aos altos conteúdos de amido e baixo nível de proteína. É importante salientar que a energia é o nutriente quantitativamente mais necessário nas dietas para as diferentes espécies animais.

Normalmente as raízes de mandioca recém colhidas são produtos perecíveis, com alto nível de umidade. Este nível é mais ou menos constante (entre 62% e 68% de água), dependendo principalmente da idade da planta no momento de colheita e das condições ambientais.

No quadro 19.1 são apresentados valores médios de nutrientes da raiz de mandioca, expressos segundo sua concentração original (base úmida), na base da matéria seca e com a umidade em equilíbrio ambiental.

Quadro 19.1
Conteúdos de nutrientes da raiz de mandioca, expressos em base úmida, base seca e com a umidade em equilíbrio ambiental

	Conteúdos nas raízes		
Nutrientes	**B. úm.**	**B. seca**	**Um. amb.**
Matéria seca	35.00	100.00	90.00
Proteína bruta	1.10	3.10	2.80
Extrato não nitrogenado	31.70	90.50	81.50
Extrato etéreo	0.47	1.30	1.20
Fibra bruta	1.10	3.10	2.80
Cinzas	0.70	1.90	1.70
Cálcio	0.10	0.33	0.30
Fósforo	0.15	0.44	0.40

B. úm = base úmida; B. seca = base seca; um. amb. = umidade ambiental

Buitrago (1990).

É importante ressaltar que a casca e entrecasca representam de 15 a 20% do peso total da raiz, e que a polpa, ou cilindro central, equivale a 80%- 85% deste peso. A maior parte da proteína, graxa, fibra e minerais (cinzas) está localizada na casca e entrecasca, enquanto que os carboidratos se localizam principalmente na polpa. As diferenças nutricionais entre os dois produtos é apresentada no quadro 19.2.

Quadro 19.2
Conteúdo de nutrientes na casca mais entrecasca e na polpa da raiz de mandioca, em base úmida e base seca

Componentes	Conteúdo			
	Casca		Polpa (cilindro central)	
	B. úm.	B. seca	B. úm.	B. seca
Matéria seca	28.0	100.0	41.0	100.0
Proteína bruta	1.5	5.4	1.0	2.4
Carboidratos	21.7	77.5	37.5	91.0
Extrato etéreo	0.6	2.1	1.1	2.7
Fibra bruta	2.5	9.0	1.1	2.7
Cinza	1.7	6.1	1.2	2.9

Buitrago (1990)

No quadro 19.3 são mostradas as diferenças mais importantes entre a raiz com casca e a raiz sem casca, propiciando mais detalhes sobre o fracionamento da fibra (fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácida).

Quadro 19.3
Composição química do farelo da raiz de mandioca com casca, e da raiz de mandioca sem casca (base seca)

Componentes	Conteúdo Raiz com casca	Raiz sem casca
Matéria seca	100.00	100.00
Carboidratos	83.80	92.40
Proteína bruta	3.05	1.56
Extrato etéreo	1.04	0.88
Cinzas	2.45	2.00
Fibra detergente neutro	6.01	3.40
Fibra detergente ácido	4.85	1.95
Hemicelulose	1.16	1.45

Agudu (1979), citado por Buitrago (1990).

A seguir são apresentados dados analíticos sobre alguns princípios nutritivos da raiz de mandioca.

Proteína. As raízes de mandioca se caracterizam por seu baixo conteúdo de proteína bruta e aminoácidos; é reconhecidamente deficiente nos aminoácidos

essenciais metionina, cistina e triptofano.

Na maioria das variedades comerciais analisadas o conteúdo de proteina variou entre 2% e 4% na base de matéria seca. É importante notar que raízes que apresentam alto conteúdo de proteína são aquelas que foram colhidas muito precocemente, e que correspondem a variedades com rendimentos totais muito baixos, não sendo consideradas variedades comercialmente promissoras.

Extrativo não Nitrogenado. Os principais componentes do extrativo não nitrogenado na raiz de mandioca são os carboidratos solúveis, constituídos por amidos e açúcares. O amido constitui 80% do extrativo não nitrogenado e contém, aproximadamente, 70% de amilopectina e 20% de amilose.

Fibra. O nível de fibra bruta na mandioca apresenta pequenas variações em função da variedade da planta e da idade da raiz; geralmente seus valores não são superiores a 4% no farelo de mandioca.

Extrato Etéreo. Os nutrientes graxos encontram-se em concentração mínima na raiz de mandioca, e são constituídos, principalmente, por galactosil-diglicerídeos e ácidos graxos saturados. A concentração de extrato etéreo é maior na casca que na polpa.

Energia. No quadro 4 são apresentados os valores de energia metabolizável das raízes de mandioca para bovinos e ovinos. Face o alto conteúdo de umidade das raízes de mandioca, os níveis de energia nos produtos "in natura" estão muito diluídos em contraste com aqueles nos produtos secos.

Quadro 19.4
Energia Metabolizável das raízes de mandioca, "in natura" e secas, para bovinos e ovinos

Forma[a]	Energia metabolizável segundo as espécies (Mcal/kg)	
	Bovinos	Ovinos
Base úmida.	1.20	1.26
Base seca	3.25	3.07

[a] Base seca = produto seco ; Base. úmida = produto fresco

Hutagalung (1977).

Minerais

Cálcio e Fósforo. Normalmente, a concentração de fósforo é maior na raiz, enquanto a concentração de cálcio é maior na parte aérea (folhas e caules). Os conteúdos de cálcio apresentam maior variação e sua concentração é maior na casca

que na polpa. O nível de fósforo é mais constante nas diferentes partes da raiz.

Deve ser lembrado que os valores das concentrações de cálcio, fósforo e demais minerais podem apresentar resultados alterados no caso da raiz, devido a contaminação com solo e materiais estranhos durante o processo de coleta e processamento. O conteúdo de cálcio é relativamente alto em comparação com outros alimentos energéticos utilizados na alimentação animal.

Microelementos. Em geral, o conteúdo de microelementos na raiz de mandioca é mínimo, especialmente em comparação com outras matérias primas de uso na alimentação animal. No quadro 5 é apresentado concentração de alguns microelementos importantes na nutrição de ruminantes.

Quadro 19.5
Concentração de alguns microelementos na raiz de mandioca

Minerais	Raízes	
	Base úmida	Base seca
Cobre (ppm)	2.00	6.00
Zinco (ppm)	14.00	41.00
Manganês (ppm)	3.00	10.00

Havindran et al. 1983.

Ácido Cianídrico. É importante registrar a presença de princípios antinutricionais na mandioca conhecidos como glicosídeos cianogênicos (linamarina, lotoaustralina), que se transformam em ácido cianídrico, responsável pelo efeito tóxico das variedades "bravas ou amargas" de mandioca.

Os níveis de ácido cianídrico apresentam valores distintos nas diferentes partes da planta de mandioca, dependendo de fatores como a variedade, a idade da planta, as condições de cultivo, a fertilização, etc. Existem variedades "doces ou mansas" com níveis inferiores a 20 ppm de ácido cianídrico no parênquima fresco, enquanto que algumas variedades "amargas ou bravas" ultrapassam os 600 ppm. Em geral, os glicosídeos cianogênicos se encontram nos diferentes tecidos da planta, mas sua concentração é maior na parte aérea (folhas e colmos) do que na raiz.

A maioria dos sintomas de intoxicação está associada com a afinidade do ácido cianídrico com os ions metálicos, como o ferro e cobre. O radical -CN do ácido reage com o íon ferro da hemoglobina, fato que impossibilita o transporte de oxigênio no sangue. Sabe-se que o principal mecanismo de desintoxicação de ácido cianídrico é a conversão deste produto a tiocianato, que é excretado na

urina. Existem várias moléculas no organismo que podem fornecer enxofre para o processo de desintoxicação. Segundo Pozzolo et al. (1991), o processo de desintoxicação pode gerar deficiência de enxofre para o animal. De acordo com esses autores o aumento na disponibilidade de enxofre diminue os riscos de ocorrência de casos agudos de intoxicação por ácido cianídrico. Vários aspectos relacionados a utilização de enxofre na dieta de bovinos como por exemplo absorção de enxofre no rúmen, reciclagem do enxofre para o rúmen, relação N:S da dieta, inter-relação com outros minerais, sinais de deficiência e requerimentos, principais condições em que é necessária a suplementação com enxofre, resposta em produção de leite e ganho de peso, entre outros, são abordados por Rodrigues et al. (1998).

Existem vários métodos para eliminar total ou parcialmente o conteúdo de ácido cianídrico da mandioca. A desidratação natural, por ação de raios solares, é o sistema mais seguro para destruir o ácido cianídrico livre, que se volatiliza facilmente com a temperatura ao sol e sob a ação do vento.

19.3. COMPOSIÇÃO NUTRICIONAL DOS SUBPRODUTOS DA RAIZ DE MANDIOCA

Durante os processos de industrialização e transformação da mandioca em produtos nobres, geralmente se obtém subprodutos que podem ser destinados a programas de alimentação, de acordo com seu valor nutricional e custos de oportunidade.

A variação na composição nutricional destes materiais é muito ampla, como consequência dos vários processos industriais existentes para a produção de farinha, raspas, amido, álcool, ácido lático, glucose, dextrinas e gomas. Destes produtos o amido é que permite, durante sua fabricação, obter maior quantidade de subprodutos para alimentação animal.

Não se discutirá em detalhes o valor nutricional isolado do amido, nem seu papel como componente de rações para ruminantes, tendo em vista tratar-se de produto utilizado primordialmente para processos industriais. Por outro lado, existem vários subprodutos da fabricação do amido que tem importância especial na alimentação de ruminantes, os quais são conhecidos por diversas denominações regionais, entre eles está o farelo de cascas e entrecascas, o bagaço, o amido não refinado, a crueira (resíduo da produção de farinha de mesa), o farelo de varredura (constituído de todo o material perdido no chão mais o resíduo do lavador, seco e moído), entre outros.

Devido a grande quantidade de água que se utiliza durante a extração do

amido, todos os subprodutos mencionados, em sua forma original, se caracterizam pelo alto conteúdo de umidade. Assim, sua utilização imediata é difícil e exige que os mesmos sejam submetidos a secagem ou a algum processo de conservação, como por exemplo a ensilagem. No quadro 6 são apresentados os conteúdos de nutrientes em alguns subprodutos da raiz de mandioca.

Quadro 19.6
Conteúdo de nutrientes em alguns subprodutos da raiz de mandioca

Subprodutos	Nutrientes (% da matéria seca)				
	Proteína bruta	ENN	Ext. etéreo	Fibra bruta	Cinzas
Amido	0.70	99.00	0.30	0.50	0.40
Casca	5.60	72.50	2.10	12.90	6.10
Bagaço	2.50	82.00	0.80	12.50	4.30

Buitrago (1990).

Diversos resíduos industriais da mandioca, no estado de São Paulo, foram analisados por Melotti (1972), e as composições químicas e o valor nutritivo estão no Quadro 19.7.

Quadro 19.7
Composição química e valor nutritivo de quatro tipos de resíduos industriais da mandioca no Estado de São Paulo

Itens	Farelo de bagaço	Farelo de farinha de mesa	Farelo de raspas	Farelo de varredura e do lavador
Matéria seca	89,93	90,95	92,88	92,96
Proteína bruta	1,64	3,71	3,89	3,06
Extrato etéreo	0,48	0,86	1,36	0,85
Fibra bruta	9,70	6,92	8,09	6,66
Matéria mineral	1,48	1,85	2,30	14,57
Extrativo não nitrogenado	76,56	77,62	76,03	67,81
Cálcio	0,42	0,32	0,38	0,37
Fósforo	0,02	0,02	0,03	0,03
Celulose	9,82	6,46	7,99	6,90
Sílica	0,43	0,28	0,36	12,44
Nutrientes digestíveis totais	74,83	76,69	76,53	70,64

Melloti (1972)

Concentração energética

A concentração de energia digestível dos subprodutos da raiz da mandioca é afetada pelo seu nível de umidade. Assim, as raízes ou subprodutos quando estão frescas contém baixo teor de matéria seca e proporcionam menos de 1500 Kcal de energia metabolizável por quilograma. Ao se desidratar as raízes ou subprodutos, a concentração de energia metabolizável aumenta para até 3200 a 3600 Kcal/kg. No Quadro 19.8 são mostrados os níveis de umidade e conteúdos energéticos dos subprodutos mais importantes da raiz da mandioca.

Quadro 19. 8
Subprodutos da mandioca utilizados como fonte energética na alimentação de ruminantes

Subprodutos da raiz de mandioca	Energia digestível (Mcal/kg)	Umidade (%)
Farelo de raiz (raspa)	3,4	10
Farelo de bagaço	2,9	10
Farelo de casca	2,2	10
Raiz fresca	1,2	65
Bagaço úmido	1,0	70
Casca fresca	0,8	72

Buitrago (1990)

Campos et al. (1977) mencionam que o conhecimento da qualidade do produto é imprescindível para formulações de dietas mais eficientes e econômicas e para a substituição de ingredientes na ração a ser formulada de acordo com as modificações de preços e disponibilidade no mercado. Assim, visando conhecer melhor o valor energético da raspa de mandioca esses autores realizaram ensaio de digestibilidade com ovinos e encontraram os seguintes valores: energia digestível 2,8 Mcal/kg e 61% de NDT. Os resultados de digestibilidade mostram que o valor nutritivo da raspa de mandioca é melhor que o valor nutritivo da crueira (farelo de farinha de mesa) Campos e Silva (1978). Estes autores encontraram valores de energia digestível de 2,6 e 2,0 Mcal/kg para a raspa e crueira respectivamente.

Concentração de proteína

Os subprodutos da raiz da mandioca, do mesmo modo que a mandioca, apresentam baixo nível de proteína. Devido a esta limitação, uma dieta para ruminantes deve ser complementada com proteína. Por outro lado, muitos estudos têm comprovado que parte da proteína da dieta pode ser substituída pelo nitro-

gênio não protéico (NNP), sendo que a uréia tem sido a fonte de NNP mais utilizada na dieta de ruminantes. (Rodrigues, 1985 e Campos e Rodrigues, 1985).

19.4. FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DAS RAÍZES DESIDRATADAS E SUBPRODUTOS DA MANDIOCA

A desidratação das raízes ou subprodutos da mandioca elevam a concentração de nutrientes e facilita a conservação dos alimentos. Conforme mencionado anteriormente, a desidratação elimina a maior parte do ácido cianídrico, podendo ser feita por meio da energia solar ou usando secadores artificiais. Condições extremas de temperatura e umidade podem afetar negativamente a qualidade nutricional. Por outro lado, com níveis de umidade superiores a 15%, se favorece o desenvolvimento de bactérias e fungos que podem vir a causar transtornos nutricionais e sanitários.

O material desidratado deve ter ao redor de 10% de umidade e geralmente é moído antes de ser utilizado em rações fareladas e peletizadas para animais.

Os processos industriais envolvendo desidratação ao sol e utilização de raízes de boa qualidade permitem, na ausência de materiais estranhos, obter uma farinha de mandioca com a seguinte composição nutricional: umidade <12,0%; amido>63,0%; cinzas <3,0%; fibra bruta <3,5%.

Não existe um método oficial de classificação da farinha de mandioca destinada a alimentação animal, e este produto está sujeito a variações de diversas naturezas tanto durante o cultivo como durante o processamento, tornando difícil estabelecer um sistema consistente. Como ponto de referência é apresentado no Quadro 9 uma qualificação do farelo de mandioca segundo os constituintes primários que afetam seu valor energético.

Quadro 19.9
Qualidade da farinha de mandioca de acordo com fatores que afetam seu valor energético

Grau	Conteúdo de ingredientes críticos	
	Fibra bruta	Cinzas
1	<2.5	<2.0
2	<3.5	<2.5
3	<4.0	<3.5
4	<5.0	<4.5

Buitrago (1990)

19.5. FATORES NUTRICIONAIS E LIMITANTES NOS SUBPRODUTOS DA FABRICAÇÃO DO AMIDO

A finalidade da produção industrial de amido de mandioca é obter da raiz a maior quantidade possível de grânulos de amido, que estão presos dentro das células. A maior ou menor eficiência no processo de extração incide na qualidade nutricional dos suprodutos. Com menor eficiência no processo de extração de amido se obtém subprodutos de melhor qualidade como resultado da maior retenção de amido.

Os principais subprodutos resultantes do processo de fabricação de amido de mandioca são: a) a casca, que se separa da polpa antes do processamento; b) o bagaço, que é o material fibroso que sobra depois da extração do amido e c) a manipueira, constituída em grande parte por impurezas de amido e substâncias sobrenadantes na água utilizada durante o processo de lavagem e refinação do amido. O subproduto de maior importância do processo de fabricação de amido de mandioca é o bagaço, que representa ao redor de 10% do peso das raízes inteiras.

Os fatores limitantes na utilização dos principais subprodutos resultantes da extração do amido são semelhantes aos descritos para raízes frescas ou desidratadas, ou seja, altos níveis de umidade, baixos níveis de proteína e alto conteúdo de fibra, limitando o teor de energia digestível.

19.6. CARACTERÍSTICAS DOS RUMINANTES QUE PROPICIAM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA

Nos ruminantes domésticos (bovinos, ovinos e caprinos) a característica digestiva principal é possuir um estômago complexo, de importância fundamental nos processos de digestão e absorção. Nos quatro compartimentos que têm em seu estômago (rúmen, retículo, omaso e abomaso) se desenvolvem processos digestivos e de fermentação microbiana que permitem ao animal utilizar grandes quantidades de alimentos fibrosos, e tornam possível a inclusão de compostos nitrogenados não protéicos nos programas de alimentação.

Os resíduos da industrialização da mandioca com alto conteúdo de fibra (por exemplo o farelo de cascas, o bagaço de mandioca) sofrem, ao nível de rúmen, um processo de fermentação microbiana que permite a transformação de carboidratos complexos (celulose, hemicelulose, pectina) em ácidos graxos voláteis (AGV). Nesta forma são aproveitados pelo ruminante como fonte de energia útil.

Por outro lado, é interessante ressaltar que os microrganismos ruminais têm a capacidade de transformar os compostos nitrogenados não protéicos em proteína verdadeira, que é posteriormente digerida e absorvida no intestino delgado. Rodrigues (1985) mostrou que existe estreita dependência entre a utilização da uréia e o conteúdo de energia da dieta. Os carboidratos são as principais fontes de energia para a síntese microbiana. Das fontes de energia disponíveis, o amido é mais satisfatório do que o melaço e do que a celulose (Rodrigues, 1985 e Campos e Rodrigues, 1984). Neste aspecto, tem sido verificado que o amido de mandioca é superior ao melaço de cana-de-açúcar na síntese protéica (Shultz et al. 1970, Silva et al. 1977 e Rubio, 1978).

19.7. A CASCA DE MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO DE RUMINANTES

A casca é um resíduo de especial importância, por sua ampla disponibilidade e composição. Constitui aproximadamente 20% do peso total da raiz fresca, tanto da que se destina a alimentação humana ou da que é processada industrialmente. Sua qualidade é bastante uniforme, já que os métodos para descascar a raiz geralmente permitem separar um produto homogêneo. Quanto a sua composição, a casca tem um bom conteúdo de amido e um nível de fibra menor que o de outras cascas.

É importante lembrar que nos tecidos superficiais da raiz, e especialmente na casca, é onde a concentração de ácido cianídrico é maior. Este é um fator negativo que exige maior cuidado quando se trata de variedades com alto conteúdo de glicosídeos cianogênicos e quando se pretende incluir alta percentagem de casca na dieta.

O desempenho de novilhas alimentadas com rações contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte protéica foi avaliado por Prado et al. (2000) utilizando quatro dietas, duas dietas sem casca de mandioca e duas dietas com casca de mandioca. As porcentagens de casca de mandioca na matéria seca da dieta foram de 22% e 32% e os teores de proteína bruta na matéria seca da dieta variaram de 11% a 12%. O volumoso foi a silagem de milho (50% da matéria seca). A substituição do milho no concentrado pela casca de mandioca não influiu na média diária de ganho de peso, na conversão alimentar e no rendimento de carcaça. Pode-se concluir que em dietas cujo volumoso é a silagem de milho, a casca de mandioca pode substituir o milho no concentrado sem alterar o desempenho de novilhas terminadas em confinamento.

19.8. SUBPRODUTOS DA EXTRAÇÃO DO AMIDO

No caso dos subprodutos da fabricação do amido, existe uma grande variação na concentração dos componentes nutricionais. O fator que mais afeta a qualidade entre os diversos subprodutos, ou no mesmo subproduto entre diferentes regiões, é o sistema de processamento. Assim, nos sistemas mais rudimentares para a produção do amido geralmente se obtém subprodutos de melhor qualidade, como resultado de sua menor eficiência na extração do amido.

Outro fator que afeta a qualidade final do subproduto é o volume de água que se utiliza no processo, e a porcentagem de água que fica retida no subproduto resultante. Quanto maior é o conteúdo de umidade, menor é a concentração de amido e de outros nutrientes.

O principal subproduto do amido que apresenta maior interesse como matéria prima para alimentação de ruminantes é o bagaço. Ele tem importância prática considerando que representa entre 10 a 20 % do peso das raízes da mandioca utilizadas para produção de amido. Apesar do alto nível de fibra e lignina (34,9% de FDN e 5,9% de lignina, Ramos et al. 2000a), o bagaço geralmente contém uma quantidade considerável de amido (até 60%). Por outro lado seu nível de glucosídeos cianogênicos é mínimo uma vez que os processos de extração e lavagem eliminam quase a totalidade do princípio tóxico.

19.9. RESULTADOS DA UTILIZAÇÃO DE RASPAS (FARELO DE RAIZ) E RESÍDUOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA NA ALIMENTAÇÃO DE BOVINOS

19.9.1 UTILIZAÇÃO DE RASPAS DE MANDIOCA PARA VACAS EM LACTAÇÃO

A substituição gradativa do milho pela raspa de mandioca sobre a produção de leite foi estudada por Cardoso et al. (1968). Os níveis de raspa variaram de zero até 41,5% (nível utilizado no concentrado sem milho). Os concentrados foram formulados para conter aproximadamente 18% de proteína e 73% de NDT. Os volumosos foram silagem de sorgo e cana picada. Não foi observado efeito sobre o consumo, e as produções de leite variaram de 7,8 a 7,3 kg/animal/dia. Embora as produções tenham sido um pouco menores com os níveis maiores de raspa de mandioca, a análise econômica mostrou que a utilização das raspa foi economicamente vantajosa.

O efeito da substituição total do milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS) pela raspa de mandioca sobre a produção de leite foi verificado por Mello et al. (1976b). O nível de raspa de mandioca utilizado foi de 54,5% e os concentrados eram isoprotéicos e isoenergéticos com 14% de proteína bruta e 70% de NDT. A alimentação volumosa era constituída de silagem de sorgo e resíduo de cervejaria, sendo a silagem oferecida a vontade e o resíduo de cervejaria na base de 11 kg por vaca por dia. A quantidade de concentrado variou de 6,2 kg/vaca/dia para a dieta com MDPS a 6,5 kg/vaca/dia para a dieta com raspa de mandioca, e as produções variaram de 13,3 a 14,0 kg/vaca/dia para as dietas na mesma ordem. Os autores concluíram que a raspa pode substituir o milho desintegrado com palha e sabugo desde que seus preços sejam competitivos. Resultados concordantes com esses autores foram obtidos por Ribeiro et al. (1976), que verificaram ter a raspa boa palatabilidade, sendo bem aceita pelas vacas em lactação quando substituiu 50% do milho no concentrado. Não houve diferença na variação de peso dos animais.

Campero (1994) utilizou a farinha de mandioca ou de banana em substituição ao milho em concentrados para vacas leiteiras manejadas em pastagens consorciadas de *Brachiaria decumbens* e *Desmodium ovalifolium* ou *Puerária phaseoloides*. Não houve efeito das fontes energéticas utilizadas no concentrado sobre a produção de leite. A média geral de produção de leite foi de 8,3 kg/vaca/dia e o consumo de concentrado foi de 3,4 kg por vaca por dia, contendo 18% de proteína e 60% de uma das fontes energéticas mencionadas. Entretanto, as vacas suplementadas com farinha de mandioca perderam peso (140 gramas/dia) enquanto que as vacas suplementadas com concentrado contendo milho e farinha de banana ganharam peso (400 e 100 gramas/dia). A resposta estimada a suplementação foi de 2,44 kg de leite por kg de concentrado.

19.9.2 UTILIZAÇÃO DE RASPAS DE MANDIOCA PARA BOVINOS EM CRESCIMENTO E CONFINAMENTO

O efeito da substituição do milho ou sorgo pela raspa de mandioca no concentrado para bezerros durante a fase de aleitamento foi estudada por Mello et al. (1981). A utilização da raspa de mandioca em misturas iniciais para bezerros não afetou o ganho de peso quando a dieta líquida era o leite integral. Quando foi oferecido leite desnatado, a utilização da raspa de mandioca no concentrado inicial proporcionou menor ganho de peso do que a utilização do milho (0,38 x 0,52 kg/bezerro/dia).

A engorda de novillhos em confinamento foi avaliada por Garcia et al. (1970) utilizando novilhos meio-sangue holandês-zebu. Foram fornecidos concentrados contendo raspa de mandioca com uréia na proporção 9,2:0,8 ou melaço com uréia na proporção 9,0:1,0, complementados ou não com 300 gramas de farelo de algodão. Os volumosos foram silagem de sorgo ou sabugo de milho triturado. Os resultados mostraram que a raspa de mandioca pode substituir o melaço quando o volumoso utilizado foi a silagem de sorgo; porém, a raspa não foi eficiente quando se usou o sabugo de milho, sugerindo que a eficiência da raspa, em substituição ao melaço, depende da qualidade do volumoso.

Estudos mostrando vantagens econômicas da substituição do milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS) pela raspa de mandioca foram realizados por Gontijo et al. (1972) e Mello et al. (1976a). No estudo de Gontijo et al. (1972), embora o ganho tenha sido um pouco menor (0,74 x 0,68), a ração com raspa foi 16% mais barata, o que permitiu um custo por quilograma de ganho de peso 9% inferior.

A substituição gradativa do MDPS por níveis de 0; 25; 50; 75 e 100% de raspa de mandioca na engorda de bovinos em confinamento foi avaliada por Castro et al. (1975). Esses autores verificaram decréscimo no consumo diário de matéria seca à medida que se elevou o nível de raspa na ração, havendo entretanto melhora na conversão alimentar e consumo maior de silagem. Salientaram que os animais não conseguem consumir mais do que 6 kg de raspa de mandioca diariamente, mesmo que o volumoso seja limitado. Os ganhos de peso diários foram de 1,16; 1,13; 1,05;1,01; e 0,85 kg, respectivamente, para os níveis de substituição de 0; 25; 50; 75; e 100% do MDPS pela raspa de mandioca.

Utilizando animais cruzados holandês x zebu, Languidey et al. (1976) verificaram melhor ganho de peso nas dietas com mandioca dessecada e uréia quando comparado com as dietas com melaço e uréia. O volumoso utilizado foi o capim Napier e os ganhos foram maiores nas dietas com maior nível de energia (68% x 57% de NDT) obtido pela utilização de maior quantidade de mandioca dessecada.

Teixeira e Campos (1977) testaram a raspa de mandioca, uréia e estilosantes como suplementos do capim-elefante para novilhos meio-sangue holandês-zebu. Os resultados mostraram que a adição de 1,2 kg de raspa de mandioca em dietas com capim-elefante e 100 gramas de uréia aumentou o ganho de peso de 110 para 470 gramas por novilho por dia. Houve melhora no consumo de energia digestível e melhora na utilização da uréia com a inclusão da raspa como suplemento energético.

Ferreira et al. (1989) compararam a raspa de mandioca com o milho e sorgo utilizando novilhos cruzados holandês x zebu e novilhos nelore, com média de peso de 355 kg e média de idade de 32 meses. Os animais foram alimentados com silagem de milho, feno de capim-jaraguá e capim-cameron verde picado nas seguintes proporções 61:28:11, respectivamente. A relação volumoso:concentrado foi de 60:40 na base de matéria seca, e os concentrados tinham aproximadamente 15% de proteína. Os ganhos de peso dos novilhos foram 1,22; 1,08; 1,14 e 1,18 kg por animal por dia para as dietas cuja fonte energética no concentrado foram respectivamente o milho, o sorgo, a mandioca e a mistura em partes iguais de milho e mandioca. Os autores concluíram que a raspa de mandioca, como fonte exclusiva de energia, ou misturada ao milho em partes iguais, promoveu ganhos semelhantes aos obtidos com milho como ingrediente energético no concentrado para novilhos confinados.

Os efeitos de três fontes protéicas no ganho de peso, consumo, digestibilidade e conversão alimentar de novilhos alimentados com raspas de mandioca ou grão de sorgo foram avaliados em três experimentos por Tudor et al. (1985). A média inicial de peso vivo dos novilhos no experimento de consumo e ganho de peso variou de 173 a 195 kg. Foram feitos pellets incluindo a raspa de mandioca e o volumoso (alfafa). A relação concentrado:volumoso foi de 90:10. Os animais alimentados com grão de sorgo apresentaram maior consumo e melhor ganho de peso (1,21 x 0,85 kg/animal/dia) do que os animais alimentados com raspa de mandioca e uréia. Os animais alimentados com raspa de mandioca e farinha de carne apresentaram ganho de peso intermediário (1,06 kg/animal/dia) entre esses dois tratamentos. Em um terceiro experimento, em que a dieta total também foi peletizada e a relação concentrado:volumoso foi de 82:18, foi comparado a inclusão de 5 ou 10% de farinha de peixe a dietas com raspa de mandioca e uréia. O consumo, conversão alimentar e ganho de peso foram melhores quando foi incluído 5 ou 10% de farinha de peixe na dieta. Os ganhos de peso foram de 0,98; 1,27 e 1,32 respectivamente para a dieta sem farinha de peixe e com 5% ou 10% farinha de peixe.

Zinn e DePeters (1991) utilizaram pellets de mandioca na dieta de bovinos em confinamento, concluindo que eles podem substituir até 30% da matéria seca da dieta sem afetar o crescimento e o consumo.

Holzer et al. (1997) utilizaram dietas isoenergéticas e isoprotéicas incluindo ou não 20% ou 40% de raspa de mandioca, ou a raspa de mandioca mais cama-de-frango para bovinos em crescimento e engorda. Não houve diferença no ganho de peso entre os tratamentos sem raspa e os tratamentos com 20% ou

40% de raspa de mandioca. A inclusão de 11% de cama-de-frango e 36% de raspa de mandioca também não afetou o ganho de peso, mas o custo da alimentação por quilograma de ganho de peso foi reduzido em 14% comparado ao custo da dieta controle, sem estes ingredientes. Os autores concluíram que a combinação de raspa de mandioca e cama-de-frango para bovinos em crescimento é factível, eficiente e econômica. Considerando estes resultados e que cuidado especial deve ser tomado nas dietas de bovinos contendo resíduos de mandioca visando suplementar quantidade adequada de proteína de modo econômico, é interessante fazer referência ao trabalho de revisão realizado por Rodrigues et al. (1997), pois o mesmo engloba vários aspectos relacionados a utilização de cama-de-frango para alimentação de bovinos.

Outros trabalhos mostrando a viabilidade de utilização de produtos e resíduos da mandioca para alimentação de ruminantes são apresentados por Geoffroy e Velez (1983).

19.9.3 UTILIZAÇÃO DE BAGAÇO DE MANDIOCA PARA BOVINOS

A utilização do bagaço de mandioca, em substituição ao milho utilizado no concentrado, foi avaliada por Ramos et al. (2000) com novilhos em crescimento com peso médio inicial de 215 kg, alimentados com feno de aveia/azevém de baixa qualidade contendo 6,4% de proteína bruta. A oferta diária de concentrado foi de 0,83% do peso vivo, e os níveis de substituição do milho utilizado no concentrado por bagaço de mandioca foram de 0; 33; 66 e 99%, na base de matéria seca. O bagaço de mandioca utilizado no experimento foi armazenado em silo de superfície revestido com lona plástica e fornecido aos animais misturado ao concentrado.

Os níveis de substituição de milho por bagaço de mandioca que geraram os consumos máximos foram de 48,7%, 44,1% e 43,7%, respectivamente para matéria seca, matéria orgânica e proteína bruta. Níveis mais altos de substituição do milho por bagaço de mandioca no concentrado reduziram o consumo destes componentes.

Os ganhos de peso obtidos com estas dietas foram avaliados por Ramos et al. (2000a). Os resultados são mostrados no Quadro 19.10. Os autores concluíram que o bagaço de mandioca pode ser utilizado em substituição ao milho no concentrado para bovinos até 66%, sem alterar o ganho de peso médio diário e a conversão alimentar.

Quadro 19.10
Efeito da substituição do milho no concentrado por bagaço de mandioca no ganho de peso médio diário (GPMD) e na conversão alimentar (CA)

% de substituição do milho pelo bagaço de mandioca	GPMD Kg/novilho	CA Kg MS/kg ganho de peso
0	1,10	4,61
33	0,95	6,17
66	1,12	4,58
99	0,75	7,98

Ramos et al. (2000a).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BUITRAGO, J.A.A. La yuca en la alimentación animal. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1990. 446p.

CAMPERO, J.R. Harina de banano o yuca como substituto del maiz en raciones para vacas lecheras manejadas bajo pastoreo en el tropico. Arch. Latinoam. Prod. Anim. v.2, p.177-186, 1994.

CAMPOS, O.F.; RODRIGUES, A. de A. Uréia para bovinos em crescimento. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 2, 1984, Piracicaba. Anais...Piracicaba: FEALQ, 1984. p.142-173.

CAMPOS, O.F.; SILVA, J.F.C. Determinação de valor nutritivo da raspa de mandioca e da crueira, para ruminantes. Seiva, Viçosa, v.38, p.6-10, 1978.

CAMPOS, O.F.; SILVA, J.F.C.; VILELA, H.; SOUZA, A.A. Valor nutritivo da raspa de mandioca e do bagaço da cana para ruminantes. Rev. Ceres, Viçosa, v.24, p.521-529, 1977.

CARDOSO, R.M.; CAMPOS, J.; HILL, D.L.; SILVA, J.F.C. Efeito da substituição gradativa de milho pela raspa de mandioca, na produção de leite. Rev. Ceres, Viçosa, v.16, p.308-330, 1968.

CASTRO, M.E.D.; SILVA, J.F.C.; BARBOSA, T. Substituição do milho desintegrado com palha e sabugo pela raspa de mandioca integral em rações para ruminantes. II. Confinamento de bovinos. Experientiae. Viçosa. v.20. p.204-216..1975.

FERREIRA, J.J.; NETO, J.M.; MIRANDA, E.S. Efeito do milho, sorgo e raspa de mandioca na ração sobre o desempenho de novilhos confinados. Rev. Soc. Bras. Zootec., v.18, p.306-313, 1989.

GARCIA, J.A.; CAMPOS, J.; PERES, F.L. Melaço/uréia x raspa de mandioca/uréia na engorda de bovinos em confinamento. Seiva, Viçosa, v.30, p.9-22,1970.

GEOFFROY, F.; VELEZ, F.B. Revue sur le manioc (Manihot esculenta Crantz) dans l'alimentation des ruminants: II. Utilization par les ruminants. Turrialba, v.33, p. 245-256, 1983.

GONTIJO, R.M.; VILELA, H.; CARNEIRO, G.G.; VIDIGAL, G.T.; MIRANDA, J.J.E. Estudo comparativo entre raspa de mandioca lavada e milho desintegrado como fontes de energia, para engorda de novilhos azebuados em confinamento. Arq. Esc. Vet. Univ. Fed. Minas Gerais, Belo Horizonte, v.24, p.27-31, 1972.

HOLZER, Z.; AHARONI, Y.; LUBIMOV, V.; BROSH, A. The feasibility of replacement of grain by tapioca in diets for growing-fattening cattle. Anim. Feed Sci. Technol., v64, p.133-141, 1997.

HUTAGALUNG, R.I. Additives other than methionine in cassava diets. In: CASSAVA AS ANIMAL FEED: PROCEEDINGS OF A WORKSHOP, 1977. Procedings... Canada: University of Guelph, International Development Research Centre, Ottawa, 1977. p.18-32.

LANGUIDEY, P.H.; MOREIRA, H.A.; SANTOS, K.A. de S.; VIANA, J.A.C.; RODRIGUEZ, N.M. Melaço de cana e/ou mandioca dessecada em rações contendo uréia para novilhos de corte. Arq. Esc. Vet. Univ. Fed. Minas Gerais, Belo Horizonte, v.28, p.307-315, 1976.

MELLO, R.P.; MOREIRA, H.A.; SILVA, J.F.C.; CAMPOS, O.F. Milho, sorgo ou mandioca dessecada como fontes energéticas em misturas iniciais para bezerros de rebanhos leiteiros. Rev. Soc. Bras. Zootec., v.10, p.612-630, 1981.

MELLO, R.P.; SILVA, J.F.C.; CAMPOS, O.F.; MOTTA, V.A.F. Milho desintegrado com palha e sabugo e raspa de mandioca combinados com diferentes fontes protéicas no arraçoamento de novilhos em confinamento. Rev. Soci. Bras. Zootec., v.5, p.70-82, 1976a.

MELLO, R.P.; SILVA, J.F.C.; CAMPOS, O.F.; SAMPAIO, I.B.M. Milho desintegrado com palha e sabugo, raspa de mandioca e sementes de sorgo moídas, em concentrados para vacas em lactação. Rev. Soci. Bras. Zootec., v.5, p.105-118, 1976b

MELLOTI, L. Contribuição para o estudo da composição química e valor nutritivo dos resíduos da industrialização da mandioca no estado de São Paulo. Bol. da Indústr. Anim. v.29, p.339-374, 1972.

POZZOLO, O.R.; MONJE, A.R.; HOFER, C.C.; GALLI, I.O. Azufre en sorgo forragero. Prod. Anim. Inf. Téc. nº 2, Argentina, p.103-118, 1991.

PRADO, I. N.; MARTINS, A.S.; ALCADE, C.R.; ZEOULA, L.M.; MARQUES, J.A. Desempenho de novilhas alimentadas com rações contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte protéica. Rev. Bras. Zootec., v.29, p.278-287, 2000.

RAMOS, P.R.; PRATES, E.R.; FONTANELLI, R.S.; BARCELLOS, J.O.J.; BONELLI, I.B. Uso de bagaço de mandioca em substituição ao milho no concentrado para bovinos em crescimento. 1. Consumo de matéria seca, matéria orgânica e proteína bruta. Rev. Bras. Zootec., v.29, p.295-299, 2000.

RAMOS, P.R.; PRATES, E.R.; FONTANELLI, R.S.; BARCELLOS, J.O.J.; LANGWINSKI, G.; BONELLI, I.B. Uso de bagaço de mandioca em substituição ao milho no concentrado para bovinos em crescimento. 2. Digestibilidade aparente, consumo de nutrientes digestíveis, ganho de peso e conversão alimentar. Rev. Bras. Zootec., v.29, p.300-305, 2000a.

RAVINDRAN,V.; KORNEGAY, E.T.; CHERRY, J.A. Feeding values of cassava tuber and leaf meals. Nutr. Rep. Int. v.28, p.189-196, 1983.

RIBEIRO, P.J.; MOREIRA, H.A.; VILELA, H. Melaço desidratado e raspa de mandioca como substitutos parciais do milho para produção de leite. Arq. Esc. Vet. Univ. Fed. Minas Gerais, Belo Horizonte, v.28, p.193-200, 1976.

RODRIGUES, A. de A. Uréia na alimentação de bezerros. Doc. Cent. Nac. Pesqui. Gado Leite./ Enep. Bras. Pesq. Agropecu. Embrapa-CNPGL, n.15, 1985, 23p.

RODRIGUES, A. de A.; CRUZ, G.M.; ESTEVES, S.N. Utilização de cama-de-frango na alimentação de bovinos. Doc. Cent. Nac. Pesqui. Gado Leite./ Enep. Bras. Pesq. Agropecu Embrapa-CPPSE, São Carlos-SP, n.10, 1997, 30p.

RODRIGUES, A. de A., CRUZ, G.M., ESTEVES, S.N. Utilização de enxofre na dieta de bovinos. Doc. Cent. Nac. Pesqui. Gado Leite./ Enep. Bras. Pesq. Agropecu. Embrapa-CPPSE, São Carlos-SP, n.13, 1998, 27p.

RUBIO, E.C. Efecto comparativo de la melaza de caña y harina de yuca en la utilización de urea en la alimentación de rumiantes. Rev. ICA, Colombia, v.13, p.537-542, 1978.

SHULTZ, T.A.; CHICCO, C.F.; SHULTZ, E. et CARNEVALI, A.A. Evaluación de diferentes fuentes de energia (yuca, maíz, arroz y melaza) sobre la utilizacion de altos niveles de urea en bovinos. Agron. Trop., Venezuela, v.20, p.190-194, 1970

SILVA, J.F.C.; CARDOSO, R.M.; CAMPOS, O.F.; VILELA, H. Raspa de mandioca e melaço como veículos da uréia para bovinos em confinamento. Rev. Ceres, Viçosa, v.24, p.134-140, 1977.

TEIXEIRA, L.B.; CAMPOS, J. Uréia, estilosantes e raspa de mandioca como suplementos de capim elefante para bovinos em confinamento. Rev. Soc. Bras. Zootec., v.6, p.142-162, 1977.

TUDOR, G.D., McGUIGAM, K.R.; NORTON, B.W. The effect of three protein sources on the growth and feed utilizaton of cattle fed cassava. J. Agric. Sci., v.104, p.11-18, 1985.

ZINN, R.A.; DePETERS, E.J. Comparative feeding of tapioca pellets for feedlot cattle. J. Anim. Sci., v.69, p.4726-4733, 1991.

CAPÍTULO 20

VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE AMIRÉIA A PARTIR DE FARELO DE MANDIOCA

Marco Tulio Ospina Patino[1]

20.1. INTRODUÇÃO

O processo agro-industrial para extração de fécula de mandioca merece atenção pela quantidade e qualidade dos resíduos que gera. Existem no Brasil cerca de 80 unidades de produção de fécula de mandioca, a maioria localizadas nos Estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul, sendo que o número de empresas é ligeiramente inferior, pois muitas delas possuem várias unidades (VILPOUX 1997). No entanto, não existem informações diretas da quantidade de resíduos gerados no Brasil nos processos de industrialização da mandioca e para sua quantificação deve-se partir de dados de literatura e de poucos resultados experimentais obtidos em indústrias (CEREDA, 1996).

Um resíduo importante neste processo é o farelo ou bagaço, caracterizado como material fibroso originário da raiz, com 85% de umidade e contendo parte da fécula que não foi possível extrair no processamento.

O farelo é material de baixo conteúdo de proteína e alto teor de amido. Esse amido pode ser eficientemente usado em processos biológicos ou químicos para elevar o conteúdo de proteína do farelo. No enriquecimento químico, o farelo de mandioca é submetido a extrusão junto com uréia para melhorar a assimilação do amido nas rações e impedir sua perda por volatilização. Os métodos de enriquecimento protéico dos subprodutos da mandioca têm como principal objetivo a obtenção de um produto mais completo para ser usado na alimentação animal, em substituição total ou parcial do farelo de soja.

[1] Engenheiro Agrícola Doutor, Rua Sarg. Vilvio Delmar Hollemback, 860 apt. 11 CEP: 14096-590 Ribeirão Preto-SP Tel. 016 6172407, e-mail btospina@zaz.com.br

Uma das alternativas de aproveitamento do farelo de mandioca é a extrusão do farelo com uréia, para conseguir um produto a ser usado na alimentação animal, em substituição total ou parcial do farelo de soja. Este método foi desenvolvido inicialmente no Brasil por pesquisadores da Universidade Federal de Lavras (TEIXEIRA & MARQUES, 1992) e baseia-se no amido contido na raspa de mandioca. Consiste essencialmente na mistura de uma fonte de amido, com uréia e uma fonte de enxofre, como o gesso agrícola, utilizado para melhorar a eficiência ruminal. Estes pesquisadores denominaram o produto de AMIREA 45S, por conter 45% de proteína e avaliaram o comportamento do macho leiteiro utilizando dietas a base do produto. Foi avaliada a substituição total ou parcial do farelo de soja, em bezerros HPB, abatidos em média aos 180 dias de idade, que alcançaram um peso vivo de 200 Kg.

BEM (1996), estudou os efeitos da extrusão sobre a composição de diferentes misturas de farelo de mandioca e uréia, demonstrando a viabilidade técnica da extrusão e obtendo um alimento de boa digestibilidade no rúmen, com teores de proteína levemente superiores a 11%, além de uma excelente estabilidade do extrudado em relação ao nível de nitrogênio.

A análise de projetos de investimento considera a elaboração de indicadores associados ao desempenho econômico do projeto, calculados a partir de seu fluxo de benefícios e custos, medidos em unidades monetárias. Um indicador de desempenho de um projeto de investimento é um índice calculado a partir do fluxo de caixa do projeto, que tenta medir uma determinada dimensão da qualidade do investimento. A idéia é a de que esses indicadores possam expressar o valor econômico do projeto (AZEVEDO, 1995).

Dentre estes indicadores a TIR é aquele que, ao primeiro exame, aparenta as menores limitações. Isso se deve, possivelmente, a independência de informações exógenas ao projeto para a sua obtenção, Em particular, não depende da definição "a priori" de um custo de oportunidade do capital para sua elaboração, como ocorre no caso dos outros indicadores considerados. O descarte de projetos através da TIR pode ser realizado comparando-se seu valor com o do custo de oportunidade do capital. Caso o valor da TIR (positivo) de um projeto seja inferior ao valor do custo de oportunidade do capital, então esse projeto será descartado (AZEVEDO,1995).

O objetivo central deste trabalho é fazer uma avaliação econômica da proposta de aproveitamento do farelo de mandioca baseado na hipótese de que há um preço do farelo de mandioca enriquecido com uréia que é competitivo no mercado de matérias-primas para alimentação animal.

20.2. SIMULAÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Foram simuladas 77 empresas com capacidades de produção desde 1000 até 20.000 toneladas de fécula por ano, diferindo entre si por quantidades equivalentes a 1.000 toneladas/ano de raízes processadas. A simulação iniciou com indústria, com capacidade de 4.000 e terminou com 80.000 toneladas de raízes/ano.

Para cálculo da quantidade disponível de farelo, foi adotado o balanço de material de uma fecularia de mandioca de capacidade instalada de 200 t de raízes/dia (Lebourg, et.al, 1996), no qual uma tonelada de raízes de mandioca produz 250 kg de fécula e 903 kg de farelo ou bagaço, com 85% de umidade. Para todas as 77 empresas simuladas foi assumido um período de operação de 2 turnos por dia, 8 horas por turno, 24 dias/mês e 10 meses/ano, ou seja 3840 horas por ano.

Para definir o valor dos equipamentos levou-se em conta a capacidade que estes deverão ter em cada empresa. Estes dados foram fornecidos pela empresa fabricante da maior parte dos equipamentos utilizados no processo.

Os custos financeiros ano a ano para cada empresa foram calculados a partir do valor total do investimento, usando a taxa de juros de 18,15% a.a.. através do programa ADTEN para desenvolvimento tecnológico, segundo a Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME. (1996) empresa do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES. O horizonte dos projeto foi definido em 5 anos de acordo com as condições de financiamento da FINAME.

De acordo com os ensaios realizados pela empresa fabricante dos equipamentos, foi assumido para todas as empresas, um total de três empregados por turno com salário mensal de R$ 300 durante 12 meses, sendo os encargos sociais e trabalhistas calculados como 115,03% do salário mensal. A energia usada no processo é calculada como a energia elétrica consumida pelos motores dos equipamentos e o vapor usado no secador e na estrusora.

Segundo as experiências anteriores, (TEIXEIRA & MARQUES, 1992; Tecnal, 1992), a quantidade de uréia e gesso agrícola a ser adicionada é de 13% e 2% da mistura total, respectivamente. O preço da uréia de R$ 446/t é um valor deflacionado, média dos valores de dez anos (Valores e variações de preços pagos pela agricultura, 1996). O preço do gesso agrícola foi fixado em R$ 200/t. de acordo com as firmas vendedoras desse produto.

O farelo de soja apresenta um valor de R$ 384,4. Este é um valor deflacionado, média dos valores de dez anos (Valores e variações de preços pagos pela agricultura, 1996). Levando em conta este valor, e para deixar o produto compe-

titivo no mercado foram testados preços de R$ 160, 170 e 190/t representando de 40 a 50% do preço indicado para o farelo de soja.

O custo de vendas foi definido pela comissão por vendas, que foi calculada como 2,5% da projeção de vendas. O ICMS foi calculado como 7% da projeção de vendas e o PIS/FIN Social calculado como 2,65 % da projeção de vendas.

A quantidade de sacos necessários por ano foi calculada como a quantidade de farelo seco ou farelo enriquecido, produzido em cada empresa anualmente, dividido entre a capacidade de 25 kg/ saco. Este valor foi corrigido em 5% considerando esta porcentagem de perdas de sacaria. O valor de cada saco foi cotado em R$ 0,35.

Definidos os custos elaborou-se um fluxo de caixa, que foi utilizado para calcular os indicadores de rentabilidade necessários para avaliar economicamente o processo em cada empresa. Estes indicadores foram calculados usando um custo de oportunidade do capital (CO) de 24% anual, com o sistema para análise econômica de projetos em condições deterministas (DETERPRJ) (AZEVEDO, 1988).

A capacidade de produção das primeiras 18 empresas permite defini-las como microfecularias com uma produção máxima de 5.250 t/ano de fécula. As empresas de 19 a 39 podem ser definidas como pequenas fecularias com produção máxima de 10.500 t/ano de fécula, as de 40 a 60, são fecularias de médio porte, que produzem até 15.750 t/ano de fécula e as grandes fecularias são as que produzem acima de 15.750 t/ano de fécula.

As empresas do grupo 1 a 18 produziriam entre 600 e 3.300 t/ano de farelo seco, as de 19 a 39 entre 3.500 e 6.600, as de 40 a 60 entre 6.800 e 10.000 e as de 61 a 77 entre 10.100 e 12.700 t/ano. Segundo os dados de VILPOUX (1997) as empresas 1 a 44 representariam as fecularias do estado de Santa Catarina e a partir da empresa 45, as empresas representariam quase a totalidade das fecularias existentes nos estados de Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

Neste trabalho as fecularias foram classificadas de acordo com a capacidade instalada e o estudo de VILPOUX & CEREDA, (1995) mostrou que a maioria destas empresas trabalham com 50% ou mais de capacidade ociosa. Portanto, entre as empresas 40 e 77 estaria representado o verdadeiro potencial de produção das fecularias no Brasil, ou seja, a capacidade de produção instalada nas empresas e a produção de fécula das mesmas com 100% de utilização da capacidade instalada. Uma outra forma de definir a capacidade das empresas é usando a quantidade de raízes processadas/dia. Assim , a empresa 1 e a 77 teriam uma capacidade de transformação de 17 e 333 t de raízes/dia, respectivamente.

No Quadro 20.1 observa-se que o investimento na empresa 18 (R$ 380 mil)

representa pouco mais do que o dobro do investimento da empresa 1 (R$ 180 mil), mas a empresa 18 produz cinco vezes mais do que a empresa 1. Esta característica pode determinar a inviabilidade do projeto nas empresas com custo elevado de instalação e baixa capacidade de produção. Nas empresas de 19 a 39 o investimento está entre R$ 380 e R$ 650 mil e na 77 é de R$ 800 mil, aproximadamente. Nestas últimas as diferenças são mais uniformes, ou seja, aumentos na capacidade de produção são acompanhados de incrementos proporcionalmente semelhantes no valor do investimento necessário para a instalação do projeto.

Quadro 20.1
Simulação do investimento e custos financeiros em algumas das 77 empresas, para o processo de enriquecimento protéico do farelo de mandioca expressos em reais/ano

Empresa	Valor total do investimento	Custos financeiros (R$/ano)				
		1	2	3	4	5
1	180076,00	33314,06	33314,06	33314,06	123352,06	106695,03
18	382008,90	70671,65	70671,65	70671,65	261676,10	226340,27
30	528576,10	97786,58	97786,58	97786,58	362074,63	313181,34
39	657632,30	121661,98	121661,98	121661,98	450478,13	389647,14
50	730243,80	135095,10	135095,10	135095,10	500217,00	432669,45
60	871063,70	161146,78	161146,78	161146,78	596678,63	516105,24
70	992433,00	183600,11	183600,11	183600,11	679816,61	588016,55
77	1074473,40	198777,58	198777,58	198777,58	736014,28	636625,40

R$ 1= US$ 1

No Quadro 20.2 são apresentados os custos variáveis de algumas das empresas simuladas. O custo do gesso agrícola é o menor componente dos custos variáveis uma vez que a quantidade deste material na mistura é mínima. Outro componente com aporte minoritário nos custos variáveis é o custo da energia, indicando uma característica importante do processo que é o baixo consumo de energia. O custo de vendas e o custo da uréia são os componentes com maior participação nos custos variáveis, sendo que esta participação está entre 35 e 53% para a uréia e entre 13 e 19% para o custo de vendas. Por outro lado a participação nos custos variáveis da mão de obra, fixada em R$ 38.700 para todas as empresas, e o custo da embalagem está entre 2,4 e 39% e entre 9 e 14%, respectivamente.

Os custos variáveis são aproximadamente 13 vezes maiores na empresa 77 comparado com os custos da empresa 1. Entretanto o custo da energia é 11,7 vezes maior e os custos de embalagem e de vendas são 20 vezes maiores do que os mesmos custos na empresa 1. O custo variável unitário é de aproximadamente R$164 e R$109 nas empresas 1 e 77 respectivamente. Os custos variáveis apresentam um aumento diretamente proporcional ao aumento da produção nas empresas, característica que é descrita por NORONHA, (1987).

No Quadro 20.3 são apresentados os custos totais do processo de enriquecimento do farelo durante os 7 anos do horizonte do projeto. Estes custos resultam da somatória dos custos financeiros e os custos variáveis. No ano 4 onde se apresenta o maior custo anual do projeto, os custos totais são de aproximadamente R$ 246 mil para a empresa 1 e de aproximadamente R$ 2.367 milhões para a empresa 77. Os custos totais são iguais durante os três primeiros anos do horizonte do projeto. Nas empresas 1 a 21, os benefícios anuais, que são iguais durante os 5 anos do projeto, são menores do que os custos no ano 4, determinando fluxo de caixa negativo nesse ano, o que pode vir a afetar a viabilidade econômica do projeto nestas empresas.

Quadro 20.2
Simulação dos custos variáveis em algumas das 77 empresas, para o processo de enriquecimento protéico do farelo de mandioca expressos em reais/ano

Empresa	Custo da Energia	Custo do gesso agrícola	Custo da Uréia	Projeção de vendas	Custo de vendas	Custo da embalagem	Total custos variáveis *
1	11356,62	2999,58	43478,98	127482,35	15489,11	11023,47	123047,77
18	39347,07	15747,82	228264,65	669282,35	81317,81	57873,24	461250,59
30	55906,54	24746,57	358701,60	1051729,41	127785,12	90943,66	696783,50
39	71782,15	31495,64	456529,30	1338564,71	162635,61	115746,48	876889,18
50	88728,06	39744,50	576096,50	1689141,18	205230,65	146061,03	1094560,75
60	105138,82	47243,46	684793,96	2007847,06	243953,42	173619,72	1293449,37
70	121088,78	54742,42	793491,41	2326552,94	282676,18	201178,40	1491877,19
77	133129,27	59991,70	869579,63	2549647,06	309782,12	220469,48	1631652,19

* Inclui R$ 38.700 de mão-de-obra.

As empresas 22, 23 e 24 apresentaram fluxo de caixa positivo (benefícios maiores do que os custos) durante os 5 anos do horizonte do projeto e portanto a viabilidade econômica não estaria comprometida. No entanto o fluxo de caixa no ano 4 torna-se novamente negativo desde a empresa 25 até a empresa 30,

devido a que a capacidade de produção destas empresas não consegue gerar benefícios suficientes para superar os custos totais, o que seguramente inviabilizará o projeto nestas empresas. A partir da empresa 31 com exceção da empresa 37, todas as empresas apresentam fluxos de caixa positivos no quarto ano, o que indica que pode-se esperar um retorno econômico do projeto nestas empresas.

Os indicadores de rentabilidade foram calculados com preço fixo (R$ 170/t). Quando estes indicadores foram calculados com um preço de R$ 160/t, a taxa interna de retorno resultou ser menor do que o custo de oportunidade do capital (24%) em quase todas as empresas e determinou a adoção do preço inicialmente definido, que representa aproximadamente 44% do preço do farelo de soja, que seria o produto concorrente no mercado.

Nas empresas 1 a 21 tal como nas empresas 25 a 30 e na 37, os indicadores de rentabilidade foram negativos ou apresentaram uma taxa interna de retorno menor do que o custo de oportunidade do capital e portanto os valores destes indicadores nestas empresas não serão discutidos. No entanto, é conveniente salientar que até a empresa 21, com produção anual de fécula de 6.000 toneladas, o projeto não apresenta viabilidade econômica.

Quadro 20.3
Simulação dos custos totais em algumas das 77 empresas para o processo de enriquecimento protéico do farelo de mandioca expressos em reais/ano

Empresa	Farelo Enriquecido (t/ano)	Benefícios R$/ano	Custos totais (R$/ano)				
			1	2	3	4	5
1	749,90	127482,35	156361,83	156361,83	156361,83	246399,83	229742,80
18	3936,96	669282,35	531922,24	531922,24	531922,24	722926,69	687590,86
30	6186,64	1051729,41	794570,08	794570,08	794570,08	1058858,13	1009964,84
39	7873,91	1338564,71	998551,16	998551,16	998551,16	1327367,31	1266536,32
50	9936,12	1689141,18	1229655,85	1229655,85	1229655,85	1594777,75	1527230,20
60	11810,87	2007847,06	1454596,15	1454596,15	1454596,15	1890128,00	1809554,61
70	13685,61	2326552,94	1675477,30	1675477,30	1675477,30	2171693,80	2079893,75
77	14997,92	2549647,06	1830429,77	1830429,77	1830429,77	2367666,47	2268277,68

No Quadro 20.4 podem ser observados os valores dos indicadores de rentabilidade de algumas empresas selecionadas para analisar a rentabilidade do projeto em todo o universo de empresas considerado neste trabalho. A empresa 22 é a primeira a apresentar valores que definem a rentabilidade do projeto, embora o

valor atual seja ainda negativo. A recuperação econômica do capital (payback econômico) somente ocorre no quinto ano. Nas empresas 38 e 39 os indicadores também apresentam resultados que indicam a rentabilidade do projeto, mas com taxas menores do que a empresa 23, de menor capacidade de produção.

Quadro 20.4
Indicadores de rentabilidade do enriquecimento do farelo de mandioca em algumas das 77 empresas simuladas

	Empresa			
	22	23	38	39
Valor atual (R$)	(129)	34.535	10.679	45.345
Taxa interna de retorno (%)	23,98	29,56	25,03	28,28
Relação benefício /custo (%)	1,00	1,02	1,00	1,01
Payback simples (anos)	3	2	3	2
Payback econômico (anos)	5	3	5	3
Custos totais atualizados (R$)	2.187.555	2.240.387	3.576.698	3.629.530

Número entre parêntesis é valor negativo.

Como foi citado anteriormente, estes resultados são conseqüência da relação entre o valor do investimento inicial e os benefícios anuais que determina taxas menores de rentabilidade para o projeto em algumas empresas.

As empresas 44 e 60 e as empresas 70 e 77 (Quadro 20.5), apresentam valores nos indicadores que determinam a rentabilidade econômica do projeto de enriquecimento protéico do farelo, sendo que a empresa 77 apresenta TIR duas vezes superior ao custo de oportunidade do capital.

Quadro 20.5
Indicadores de rentabilidade do enriquecimento do farelo de mandioca em algumas das 77 empresas simuladas

	Empresa			
	44	60	70	77
Valor atual (R$)	81.076	64.7823	447.185	523.464
Taxa interna de retorno (%)	30,85	56,82	48,97	50,78
Relação benefício /custo (%)	1,02	1,13	1,08	1,08
Payback simples (anos)	2	2	2	2
Payback econômico (anos)	3	3	3	3
Custos totais atualizados (R$)	4.031.285	4.864.489	5.940.097	6.476.297

20. 3. CONCLUSÕES

Existem faixas de indústrias, de acordo com sua capacidade instalada de produção, em que o processo de enriquecimento protéico pode ser rentável, as empresas com produção anual de fécula de mandioca igual ou superior a 8.500 toneladas (capacidade instalada de transformação igual ou superior a 141 toneladas de raízes/dia), poderiam estabelecer processos rentáveis de enriquecimento protéico do farelo de mandioca com uma taxa interna de retorno de no mínimo 24%. O investimento inicial nestas empresas estaria entre R$ 528 mil e R$ 1milhão 74 mil que representa aproximadamente 70% do investimento necessário para instalação da empresa de fécula de mandioca que geraria o farelo.

O mercado do farelo enriquecido estaria em estreita relação com o mercado do farelo de soja e a única forma de substitui-lo seria comercializar o farelo enriquecido a preços menores do que o preço do farelo de soja. No entanto a época fria e seca, período de escassez de forragem verde coincide com a época de maior atividade na produção de fécula e portanto de geração do resíduo, facilitando a comercialização do resíduo enriquecido nessa época. A substituição total do farelo de soja pelo farelo de mandioca enriquecido, pode determinar uma diminuição de até 50% no preço da ração.

REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESPECIAL DE FINANCIAMENTO INDUSTRIAL. Rio de Janeiro, 1996. 14 p.

AZEVEDO, F.A.J.B.V. Deterprj: sistema para análise de projetos em condições deterministas: manual do usuário. Piracicaba: CIAGRI / USP, 1988a. 22p.

AZEVEDO, F.A.J. B. V. Elementos de matemática financeira e análise de projetos de investimento. Departamento de Economia e Sociologia Rural, ESALQ / USP, 1995. 92p. (série didática, 109).

CEREDA, M.P. Valorização de resíduos como forma de reduzir custos de produção. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9., 1996, São Pedro. Anais... Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais - Universidade Estadual Paulista, 1996. p. 25-43.

NORONHA, J.F. Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade Econômica. São Paulo: Atlas, 1987. 289p.

TECNAL. Extrusora EXA-3: amirea ração animal. Ourinhos, s.d. 2p.

TEIXEIRA, J.C.; MARQUES DOS SANTOS, R.M. Aproveitamento do macho leitero utilizando

dietas a base de amirea 45S. Circ. Univ. Lavras, v.1, n.3, p.1-7, 1992.

VALORES e variações de preços pagos pela agricultura. Preços Agríc., v. 10, n. 116, p.49, 1996.

VILPOUX, O., CEREDA, M.P. Caracterização das empresas de fécula no Brasil: relatório da Comunidade Européia. Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais -Universidade Estadual Paulista, 1995. 91p.

VILPOUX, O. Coordinations verticales entre enterprises transformatrices de manioc et producteurs agricoles au sud du Bresil. Lorraine, 1997. 215 p. These (Doutorado) - Unite de Formation et de Recherche en Genie des Systemes Industriels, Institut National Polytechnique de Lorraine.

LEBOURG, C.; SANTOS F. D.; CEREDA, M. P.; CHUZEL, G. Balanço de massa em uma fecularia de mandioca. In: CONRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9., 1996, São Pedro. Anais... Botucatu: Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Universidade Estadual Paulista, 1996. p.253.

CAPITULO 21

CULTIVO DE MICRORGANISMOS EM MANDIOCA E SUBPRODUTOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO

Antonio Joaquim de Oliveira[1]
Valmir Eduardo Alcarde
Lauro Marques Canoilas
Solange G. Canniatti-Brazaca

21.1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Maninot esculenta* CRANTZ) é uma cultura bastante difundida e importante, principalmente por se constituir na base alimentar de populações carentes da América Latina, África, Ásia, sendo porém um alimento pobre em proteínas (1 a 2%).

No Brasil sua utilização é feita de duas maneiras: direto, em consumo na culinária ou "de mesa"e, industrial onde se dá a transformação das raízes em diferentes produtos como: farinha, polvilho doce, polvilho azedo, tapioca, raspas, etc. O uso culinário não gera resíduos em proporções significativas, mas na obtenção dos produtos industrializados, tanto nas pequenas fábricas, pela sua concentração em determinadas regiões, como nas grandes unidades processadoras, os subprodutos gerados podem causar sérios problemas ambientais. Assim por exemplo, na industrialização da farinha de mandioca, obtém-se casca, crueira, descarte e varredura, como subprodutos sólidos e, a água da lavagem das raízes e a manipueira (água de prensa ou água residual), como resíduos líquidos

Como a preocupação ecológica cada vez mais aumenta tanto em âmbito nacional como mundial, devido a agressão de vários poluentes ao ecossistema, o controle de vários resíduos agroindustriais, deve ser tomado de maneira séria e definitiva.

[1] Professor Doutor, Rua do Vergueiro, 733 ap 42 CEP: 13400-770, Piracicaba-SP Tel. 019 4330870.

Assim, é de grande importância o estudo de formas econômicas para o tratamento e recuperação dos sub produtos, e, mais especificamente daqueles oriundos do processamento da mandioca.

No Brasil, um dos grandes produtores de mandioca do mundo, em que tanto o consumo "in natura" (mandioca de mesa) como na forma industrializada são bastante representativos, pode-se estimar que o volume de subprodutos gerados anualmente é suficiente para justificar uma maior atenção aos problemas que estes podem trazer ao meio ambiente quando descartados sem nenhum tratamento que venha reduzir a seu teor poluidor.

Nas últimas décadas vários artigos tem sido publicados propondo soluções para o tratamento do resíduo líquido do processamento de mandioca, via fermentação submersa (BALAGOPAL et al, 1977; MENEZES & LAMO, 1979; FIORETTO, 1987). Por outro lado, no que se refere à utilização biotecnológica dos subprodutos de mandioca via fermentação semi-sólida visando a obtenção de um produto com maiores teores de proteína, a literatura especifica é bastante escassa.

A escassez de trabalhos com fermentação semi-sólida no ocidente se deve provavelmente ao fato de que, após a 2º Guerra Mundial, com o advento das técnicas de fermentação submersa, somado ao acelerado desenvolvimento da indústria de antibióticos, houve uma tendência a substituir-se quase que totalmente os processos de fermentação semi-sólida pelos processos de fermentação submersa.

Neste capítulo será tratado o potencial de enriquecimento protéico da mandioca e dos subprodutos provenientes da sua industrialização, através do desenvolvimento de leveduras via fermentação semi-sólida, buscando obter um subproduto protéico, possível de ser incorporado à ração animal e/ou usado direto na alimentação animal e, ao mesmo tempo reduzir o problema da poluição ambiental, através de soluções que transformem estes subprodutos praticamente sem valor, em um sub-produto que, além de maior valor biológico possa também trazer retorno econômico para a indústria.

21.2. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SUBPRODUTOS DE MANDIOCA E SEU USO POTENCIAL NA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Segundo o relatório da REUNIÃO TÉCNICA SOBRE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE MANDIOCA (1988), são obtidos os seguintes subprodutos durante o processamento da farinha de mandioca: casca (7 a 10%); crueira, subproduto obtido após a peneira-

gem da massa úmida (3 a 4%); descarte (7 a 10%); varredura, subproduto equivalente ao produto final sedimentado nos pisos, maquinários e estrutura física da indústria; água de lavagem da raiz e manipueira (água de prensa ou água residual, 30%). Na extração da fécula, para produção de polvilho doce e/ou azedo, foram identificados os seguintes subprodutos: casca (7 a 10%); descarte (1%); farelo, resíduo celulósico, energeticamente não esgotado e representa mais que 100 % do peso da matéria prima em virtude da absorção de água e água residual.

MELOTTI (1972) determinou a composição química de quatro tipos de subprodutos provenientes da industrialização da mandioca:

a) farelo de bagaço: subproduto da industrialização da fécula. Depois de seco apresenta umidade 10,15%; proteína bruta 1,64%; extrato etéreo 0,48%; fibra bruta 9,70%; matéria mineral 1,48%; extrato não nitrogenado 76,56%; cálcio 0,42%; fósforo 0,02%; celulose 9,82%.

b) Farelo de farinha de mesa: crueira, subproduto da industrialização de farinha. Depois de seco apresenta umidade 9,05%; proteína bruta 3,71%; extrato etéreo 0,86%; fibra bruta 6,92%; matéria mineral 1,85%; extrato não nitrogenado 77,62%; cálcio 0,32%; fósforo 0,02%; celulose 6,46%.

c) Farelo do lavador: subproduto de indústrias que fabricavam farinha de raspas: Depois de seco apresenta umidade 6,29%; proteína bruta 2,96%; extrato etéreo 0,70%; fibra bruta 4,84%; matéria mineral 38,23%; extrato não nitrogenado 47,00%; cálcio 0,40%; fósforo 0,02%; celulose 5,18%; sílica 36,08%.

d) Farelo de varredura: subproduto coletado em indústrias de farinha de raspas. Depois de seco: umidade 7,42%; proteína bruta 3,11%; extrato etéreo 0,92%; fibra bruta 7,58%; matéria mineral 2,75%; extrato não nitrogenado 48,22%; cálcio 0,36%; fósforo 0,03%; celulose 7,76%.

CEREDA & FIORETTO (1983) determinaram a composição química do resíduo líquido da mandioca (manipueira) e FIORETTO (1987) determinou a composição do farelo, ambos subprodutos provenientes da industrialização da fécula:

a) Manipueira: umidade 94,21%; cinzas 4,84%; carboidratos solúveis 1,19%; cianeto livre total (CN) 0,06%; nitrogênio 0,17%; cálcio 0,02%, fósforo 0,02%; potássio 0,17%.

b) Farelo: umidade 9,42%; amido 69,76%; lipídios 0,65%; nitrogênio total 0,24%; proteína 1,51%; fibra 11,08%; cinzas 0,83%.

Segundo KOK (1942), o farelo de mandioca é um alimento incompleto devido as suas deficiências em proteína, matéria graxa, matéria mineral e vitaminas A e D, sendo muito rico em extrativos não nitrogenados, representado princi-

palmente pelo amido. Determinações quantitativas de ácido cianídrico indicaram apenas a presença de leves traços desse principio tóxico. O autor realizou experiências com vacas leiteiras e relatou a possibilidade de substituição total do fubá, em rações para estes animais, por uma mistura de 83 partes de farelo de raspas de mandioca e 17 partes de farelo de algodão, com ligeiras vantagens para a produção leiteira. Em um outro experimento, onde foi comparado o farelo de mandioca com o fubá, na alimentação de porcos, o autor citou que a eficiência das rações, expressas em quilos de alimentos por quilo de aumento de peso, foi praticamente idêntica para os dois alimentos testados.

VELLOSO et al (1966) estudaram a substituição parcial e total do milho por farelo de mandioca em rações de suinos em crescimento e engorda, e observaram, dentro do limite estudado, que o crescente aumento do farelo de mandioca na ração implicou numa queda acentuada no ganho de peso e no índice de conversão alimentar.

21.3. PRODUÇÃO DE PROTEÍNA MICROBIANA A PARTIR DA MANDIOCA E/OU SUBPRODUTOS DA SUA INDUSTRIALIZAÇÃO.

O problema da desnutrição protéica é bastante sério e, tem-se constituido em uma das maiores preocupações nacionais e internacionais, principalmente em decorrência de uma relação cada vez menor entre produção de alimentos e crescimento demográfico.

Assim, a produção de proteína para o consumo humano e/ou animal a baixo custo tornou-se uma das metas prioritárias no mundo todo.

Neste aspecto, uma das opções seria o aumento da produção de proteína animal; entretanto, neste campo depara-se com as dificuldades próprias das cadeias produtivas, como taxa de conversão, áreas disponíveis, tempo exigido, preço dos insumos , etc.

A segunda opção seria o aumento da produção e uso de proteínas vegetais, através de técnicas de bioengenharia para o melhoramento da fontes convencionais e, também a busca de processos de transformações de fontes não convencionais, como por exemplo, a produção de proteína microbiana. (PECHNIK & GIMARÃES, 1962; THIEMANN, 1987).

Segundo LITCHFIELD (1979); SHACKLADY (1970); AZOULAY et al (1980), após a 2º Guerra Mundial, tem havido um considerável desenvolvimento nos processos de produção de proteínas não convencionais, empregando como

substrato materiais tais como açúcares simples, amido, celulose, resíduos agrícolas e de indústrias de alimentos e até mesmo hidrocarbonetos oriúndos do petróleo.

Todavia, tem-se constatado que grande parte das populações deficientes-proteico estão em regiões em que são deficientes em proteínas, porém dispõem de grandes suplementos de carboidratos. De um modo geral, estes carboidratos estão sob a forma de raízes amiláceas, resíduos de produtos amiláceos e excessos de produção que, ou não são aproveitados em nível doméstico ou não encontram condições de exportação (THIEMANN, 1987).

A mandioca se enquadra neste contexto e, caracteriza-se por possuir elevado teor de carboidratos e baixo teor de proteínas, sendo portanto um substrato alternativo para o desenvolvimento microbiano, onde o nitrogênio não proteico é transformado em proteína microbiana.

Segundo CAMARGO (1986), entre as fontes não convencionais de proteínas disponíveis, os microrganismos são tidos como um grande potencial no estabelecimento de soluções alternativas para o problema da deficiência de proteínas, por apresentarem as seguintes vantagens: curto tempo de geração, o que propicia um rápido aumento da massa celular; alto conteúdo de proteínas; a produção de proteína pode ser obtida empregando-se diversos substratos tais como celulose, petróleo e principalmente resíduos agroindustriais.

Por outro lado, de acordo com RATTAAKUL (1976) os subprodutos do processamento de mandioca tem recebido pouca atenção como substrato potencial para a produção de proteína microbiana. Baseando-se em vários fatores e observações experimentais, o autor sugere que a possibilidade de se produzir proteína microbiana a baixo custo a partir de subprodutos amiláceos de mandioca se deve, em primeiro lugar ao fato de que esses subprodutos tem baixo valor comercial ou, mesmo representam custo adicional pela necessidade de consumir algum tipo de energia para descartá-los. Deve-se ressaltar também que no caso do desenvolvimento microbiano as fontes de nitrogênio (orgânico e inorgânico) a serem incorporadas no sistema são relativamente baratas e que o uso de leveduras amilolíticas pode baixar o custo do processo por eliminar o pré-tratamento de hidrólise.

21.3.1. FERMENTAÇÃO DA MANDIOCA E SUBPRODUTOS - LEVEDURAS

Para o enriquecimento protéico da mandioca via fermentação submersa, vários experimentos foram realizados em escala piloto pela "Central Engineering

Laboratories of F.M.C. Corp" (1968). Três diferentes linhagens de leveduras foram desenvolvidas em hidrolizados de mandioca. Foi encontrada variação dos teores de proteína bruta, em relação a espécie de levedura, a saber: mandioca + *Candida utilis* (35%), mandioca + *Rhodotorula gracilis* (26,7%), mandioca + *Hansenula saturnus* (15,5%).

Resultados semelhantes foram encontrados por MENEZES et al (1972) quanto à variação do teor de proteína bruta, com a linhagem da levedura, quando desenvolveram linhagens de levedura amilolíticas e não amilolíticas em substratos parcialmente hidrolizados de mandioca, via fermentação submersa.

Os teores de proteína obtidos e a composição em aminoácidos produzidos pelas linhagens amilolíticas *Endomycopsis capsulata, Endomycopsis fibuligera* e *Schwanniomyces alluvius* foram comparadas com aqueles de *Rhodotorula gracilis*, não amilolítica. O maior teor de proteína foi obtido para *Schwanniomyces alluvius* (31,36%), embora apenas ligeiramente superior aquele produzido por *Rhodotorula gracilis* (31,15%).

Por outro lado, a composição em aminoácidos foi semelhante para ambas as leveduras, amilolíticas ou não. Valores mais altos foram encontrados por SCOTT (1975), quando aplicou o processo por ele desenvolvido, de hidrólise enzímica de amido e/ou celulose, com posterior cultivo de leveduras para a síntese de proteínas, em substrato de mandioca. Através da aplicação deste processo obteve-se um produto enriquecido com 45,70% de proteína.

NGA et al (1976) empregando linhagens das leveduras *Torula utilis* e *Endomycopsis fibuligera*, desenvolvidas em amido de mandioca, via fermentação submersa, obtiveram um produto enriquecido com 4,76% de proteína, quando a levedura utilizada foi *E. fibuligera* e 4,30% de proteína com a levedura *T. utilis*.

MENEZES & SALES (1976) estudaram a consorciação entre leveduras amilolíticas (*Endomycopsis capsulata, Endomycopsis fibuligera* e *Schwanniomyces alluvius*) com *Candida utilis* e *Rhodotorula gracilis* em fermentação submersa utilizando mandioca como substrato, tendo como objetivo obter uma boa relação entre açúcar consumido e biomassa produzida. Os autores observaram que a consorciação de *E. fibuligera* com *C. utilis* foi a que apresentou melhor rendimento em biomassa (11,0 g matéria seca/l) com um teor de proteínas de 48,60% na matéria seca.

AZOULAY et al (1980) estudaram o crescimento de *Candida tropicalis* em mandioca desidratada e moída, via fermentação submersa, tendo como objetivo o seu enriquecimento proteíco. Deste experimento foi obtido um pó de mandioca com 18,8% de proteína, além de níveis de lisina e metionina relativamente balanceados.

Segundo MUSEGE (1980) amidos de mandioca hidrolisado e fermentado com *Candida utilis* apresentaram um perfil de aminoácidos semelhante ao encontrado para outros produtos de "single cell protein" (SPC), sendo a metionina e cistina limitantes.

CANOILAS & OLIVEIRA (1991) investigaram a influência do pH, temperatura e porcentagem de inóculo no desenvolvimento microbiano, por fermentação semi-sólida do subproduto da fabricação de farinha, usando como inóculo a levedura *Candida sorboxylosa*, a qual fora isolada do próprio subproduto. A fermentação foi conduzida à temperatura ambiente e a 32°C, pH 4,5 e 5,3, níveis de inóculo 5% e 10%, por um período de 60 horas. Os resultados obtidos indicaram que a fermentação conduzida a 32° C apresentou o maior consumo de carboidratos, bem como a maior produção de nitrogênio, sendo que as melhores condições para a produção de nitrogênio foram aquelas em que a fermentação foi conduzida a pH 4,5 com 10% de inóculo, obtendo-se uma produção média de nitrogênio de 20,74% e 23,02%, respectivamente, após 6 horas de fermentação.

21.3.2. FERMENTAÇÃO DA MANDIOCA E SUBPRODUTOS - BOLORES

Estudos da fermentação da mandioca e/ou subprodutos por bolores datam da década de 60. GRAY & ABOU-ET-SEDUD (1966), inocularam cinco linhagens de fungos imperfeitos em meio contendo raiz integral de mandioca fresca, incubando-se por cinco dias sob aeração. Ao final da fermentação, amostras foram coletadas e analisadas, apresentando os seguintes teores de proteína bruta:13,31% para *Cladosporium* sp; 18,92% para *Brachysporium oosporum*; 20,32% para *Linderina pennispora*; 20,32% para *Clasosporium ladosporoides* e, 23,82% para *Spicaria elegans*.

BROOK et al (1969) estudaram o crescimento de várias linhagens de bolores em farinha de mandioca via fermentação submersa, tendo como objetivo a obtenção de proteína microbiana para posterior enriquecimento da farinha de mandioca. As linhagens mais promissoras foram: *Heteroceplalum aurantiacum, Cladosporium cladosporoides, Mucor racemosus* e *Rhizopus stolonifer*, que apresentaram teores de proteína bruta de 33,6%, 21,2%, 21,5% e 23,2%, respectivamente.

Trabalhos com *Aspergillus fumigatus* foram conduzidos via fermentação submersa, tendo como substratos raízes frescas de mandioca ou farinha. A biomassa produzida apresentou a seguinte composição média: proteína bruta 34,3%;

extrato etéreo 3,1%; fibra bruta 20,0%; cinza 4,3%; extrato livre de nitrogênio 27,9%; cálcio 0,2%; fósforo 0,79%. A energia bruta foi de 4,26 cal/g (SANTOS & GOMEZ, 1983).

SALES et al (1983) estudaram o crescimento de sete linhagens de bolores (*Rhizopus oligosporus, Rhizopus* sp, *Aspergillus niger*, *A. oryzae*, *A. wentii*., *A. fumigatus* e *Neurospora sitophila*) para produção de biomassa em meio de mandioca via fermentação submersa e encontraram teores de proteína variando de 27,3 a 37,8%.

DRAUBRESSE et al (1987) desenvolveram em laboratório e testaram em planta piloto, o enriquecimento proteíco de mandioca na forma de "chips" ou raspa, por fermentação semi-sólida com *Rhizopus oryzae*. Inicialmente os "chips" de mandioca foram aquecidos a 40°C para gelatinização da fécula, adicionando-se, para cada 100 gramas de mandioca, 3,4 gramas de uréia, 1,5 gramas de fosfato de potássio, 0,8 gramas de sulfato de magnésio hidratado e 22,7 gramas de ácido cítrico. A massa, com aproximadamente 60% de umidade foi inoculada e espalhada sobre bandejas perfuradas, sendo aerada com ar umidificado por um período de incubação de 65 horas. Obtiveram um aumento na proteína de 1% para 10,7% em base seca. Para a determinação da proteína foi utilizado o método de Kjeldahl, usando hidróxido cúprico para precipitar proteína e determiná-la em termos de material nitrogenado real total.

De acordo com STANTON & WALLBRIDGE (1969) ocorre um aumento no teor de proteína quando amido de mandioca é fermentado por *Rhizopus* sp, principalmente quando sais de amônio, magnésio e fósforo são adicionados. Já o ferro, zinco e manganês parecem ter efeito inibitório na fermentação.

21.3.3. OUTROS ASPECTOS DA FERMENTAÇÃO DE SUBPRODUTOS DA MANDIOCA

REGEZ et al (1989) investigaram a produção de amilase por 109 "strains" de leveduras e 50 de fungos isolados de mandioca. Encontraram que, embora os fungos produzam mais amilase e biomassa (proteína) que as leveduras, estes não devem ser usados para a fermentação de mandioca ou sub-produtos para aumentar o seu conteúdo em proteínas, devido produzirem sabores indesejáveis do ponto de vista toxicológico.

Além da fermentação de sub-produtos de mandioca, para enriquecimento em proteína, o desenvolvimento de microrganismos (leveduras, bactérias e bo-

lores) pode ser usado também para a desintoxicação desta visando a produção de alimentos, assim como de outros compostos, como por exemplo o etanol, ácido cítrico, etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P.F.; MORAES, I.O.; CASTRO, R.C.; MENEZES, T.B. Cassava fermentation of carima production. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.13, n.2, p.113-120, 1993.

AZOULAY, E. et al. Fermentation methods for protein enrichment of cassava and corn with Candida tropicalis. Appl. Environm. Microb., Washington, v.39, p.41-47, 1980.

BALAGOPAL, C. et al. Microbial treatment of starch factory effluents and the production of single cell protein. Journal of Root Croops, Trivandrum, v. 29, p. 47-50, 1977.

BROOK, E.J. et al. Fermentation methods for protein enrichment of cassava. Biotechnol. Bioengin. New York, v.11, p.1271-1284, 1969.

BRUDZNSKI, A. & MUNYANGANIZI, T. Saccharification and fermentation testes involving use of microbial enzyme preperation on fresh manioc roots. Branntweinwirtschaft, v.112, n.21, p.508-509, 1972.

CAMARGO, R. Proteína de microrganismos. Substratos e microrganismos utilizados. In; CAMARGO, R. et al. Tecnologia dos produtos agropecuários. São Paulo: Nobel, 1986. Cap.15, p.285-298.

CANOILAS, L.M.; OLIVEIRA, A.J. Enriquecimento protéico de resíduos da fermentação de farinha de mandioca pelo desenvolvimento de leveduras. Tese (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade Paulista. Piracicaba, 110p., 1991.

CEREDA, M.P. & FIORETTO, A.M.C. Potencial de utilização de águas de fecularia. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 2. 1983, Cruz das Almas. Anais...Cruz das Almas, 1983.

COK,J.H. Cassava: a basic energy source in the tropics. Science n.218, p.755-762, 1982.

DAUBRESSE, P. et al. A process for protein enrichment of cassava by solid substrate fermentation in rural conditions. Biotechnol. Bioeng. New York, v.29, p.962-968, 1987.

FIORETTO, A.M.C. Viabilidade de cultivo de *Trichosporon* sp em manipueira. Botucatu, 1987. 96p. (Mestrado- Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu/UNESP)

GIRAUD, E.; CHAMPAILLER, A.; MOULARD, S.; RAIMBAULT, M. Development of a miniaturized selective counting strategy of lactic acid bacteria for evaluation of mixed starter in a model cassava fermentation. J. Appl. Microbiol., v.84, n.3, p.444-450, 1998.

GRAY, W.D.; ABOU-ET-SEOUD, M.O. Fungal protein for food and feeds. III. Manioc as a potencial crude raw material for tropical areas. Econ. Bot., New York, v.20, n.3, p.251-255, 1966.

KOK, F.A. O farelo de raspas de mandioca na alimentação dos animais. Bol. Ind. Anim., São Paulo, v.5, p.195-205, 1942.

LITCHFIELD, J.H. Production of single cell protein for use in food or feed. In: PEPPLER, H.J. & PERLMAN, D. Microbial technology: microbial process. 2ed. New York, Academic press, 1979. v.1, cap.4, p.93-155.

MAHUNGU, N.M.; YAMAGUCHI, Y.; ALMAZAM, A.M., HAHN, S.K. Reduction of cyanide during processing of cassava into some traditional african foods. J. Food Agric., v.1, n.1, p.11-15, 1987.

MELOTTI, L. Contribuição para o estudo da composição química e valor nutritivo dos resíduos da industrialização da mandioca, *Manihot utilissima*, POHL, no Estado de São Paulo. Bol. Ind. Anim., São Paulo, v.29, p.339-374, 1972.

MENEZES, T.J.B.; LAMO, P.R Production of alcohol from cassava. Bol. Inst. Tecnol. Aliment., Brazil, n.46, p.37-54, 1976.

MENEZES, T.J.B.; LAMO, P.R. Bioconversão das águas residuais do processamento de mandioca para produção de biomassa. Colet. ITAL (Inst. Tec. Aliment.), Campinas, v.10, p.1-14, 1979.

MENEZES, T.J.B; SALES, A.M. Produção de biomassa protéica de mandioca. Colet. ITAL (Inst. Tec. Aliment.), Campinas, v.7, p.139-146, 1976.

MENEZES, T.J.B et al. Proteína monocelular de leveduras amilolíticas. Colet. ITAL, Campinas, v.4, p.109-116, 1972.

MUSENGE, H.M. Evaluation of single cell protein from cassava starch. Zambia J. Sci. Technol., 5, p. 1-7, 1980.

NGA, B.H. et al. Protein enrichment of carbohydrate rich substrate by two strains of yeasts. Singapore J. Primary Ind., Singapore, v.4, p.11-15, 1976.

OKAFOR, N.; EJIOFOR, A.O. Rapid detoxification of cassava mash fermenting for garri production following inoculation with a yeast simultaneonsly producing linamarase and amylase. Process Biochem. Int., v.25, n.3, p.82-86, 1990.

OYEWOLE, O.B.; ODUNFA, S.A. Characterization and distribution of lactic acid bacteria in cassava fermentation during fufu production. J. Appl. Bacteriol., v.68, n.2, p.145-152, 1990.

OYEWOLE, O.B.; ODUNFA, S.A Extracellular enzyme activities during cassava fermentation for fufu production. World J. Microbiol. Biotechnol., v.8, n.1, p.71-72, 1992.

PECHNIK, E. & GIMARÃES, L.R. Sobre o aproveitamento da folha da mandioca (*Manihot* sp) na alimentação humana. III Mandioca mansa. Arquivos Brasileiros de Nutrição. Rio de Janeiro, 18 (1/2): 25-36, 1962.

RATTAAKUL, B. Single cell protein production from cassava starch by yeast. 1976. 96p. (Doctor of Philosophy-Brigham Young University), Provo.

REGEZ, P.F.; RIGAMENTI, C.; GEIGES, O. Amylolitic activity and biomass formation of some fungi isolated from cassava pulp and cassava bread of Zaire. Microbiol. Aliment. Nutr., v.7, n.1, p.17-24, 1989.

REUNIÃO TÉCNICA SOBRE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE MANDIOCA, Botucatu, 1988. Botucatu, FCA-TPA/UNESP, 1988. 6p.

SALES, A.M. et al. Aproveitamento da biomassa de mandioca fermentada da alimentação animal. I. Produção, composição química e valor nutritivo do micélio *Rhizopus* sp obtido por fermentação submersa. Col. ITAL (Inst. Tec. Aliment.), Campinas, v.13, p.59-79, 1983.

SANTOS, J.; GOMEZ, G. Fungal protein produced on cassava for growing rats and pigs. J. Anim. Sci., Champaign, v.56, p.264-70, 1983.

SCOTT, H.L. Biochemical process for the synthesis of protein from cellulose and starch-containing plants. Patente industrial (Estados Unidos) no 604.239. 13/ago/1975.

SHACKLADY, C.A. Hydrocarbon-grown yeasts in nutrition In: LAWRIE, R.A. Protein as human food. London: Butter Worts, 1970. p.317-327.

STANTON, W.R.; WALLBRIDGE, A. Fermented food processes. Process biochem., v.4, n.4, p.45-51, 1969.

THIEMANN, J.E. Produção de enzimas por fermentação semi-sólida com especial referência às celuloses In: SIMPÓSIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA E BIOMASSA, 3, 1987, Maringá. Anais...Maringá: 1987. p.107-131.

TOKUMARA, H. & YASHIRO, I. Utilization of cellulase for alcohol fermentation. I. Effect of cellulase on starchy materials. Annu. Rep. Food Res. Inst. Aichi Prefecture, v.9, p.23-30, 1969.

VELLOSO, L. et al. Substituição parcial e total do milho pelo farelo de mandioca em rações de suinos em crescimento e engorda. Bol. Ind. Anim., São Paulo, v. 23, p. 127-137, 1966.

CAPÍTULO 22

HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DO FARELO DE MANDIOCA: GLICOSE E ÁLCOOL

Magali Leonel[1] & Cláudio Cabello[2]

22.1. INTRODUÇÃO

A produção brasileira de mandioca está estagnada em um nível que varia de 22 a 25 milhões de toneladas, desde 1985. A área plantada sempre foi um pouco inferior a 2 milhões de hectares. Segundo dados parciais (AGRIANUAL, 1999), a produção brasileira de mandioca foi 20,2 milhões de toneladas, em uma área plantada de 1,55 milhões de hectares. A produção mundial de mandioca é estimada em 160 milhões de toneladas, sendo o Brasil o segundo maior produtor, cabendo o primeiro posto à Nigéria, com cerca de 30,9 milhões de toneladas.

O processo de produção de fécula de mandioca, qualquer que seja o grau de tecnologia empregada, consiste das etapas de lavagem e descascamento das raízes, ralação para a desintegração das células e liberação dos grânulos de amido, separação das fibras e do material solúvel e finalmente, secagem (VILELA & FERREIRA, 1987).

Durante a etapa de separação das fibras, é gerado o farelo, massa ou bagaço, resíduo sólido constituído por parte da fécula não extraída no processamento e fibras. Quando gerado apresenta cerca de 85% de umidade, representando, portanto, um problema para as fecularias.

Segundo CEREDA (1996) a composição média de farelos é: 85% de umidade inicial e 75% de amido, 15% de fibras, 1,6 % de cinzas, 2% de proteína, 1% de açúcares e 0,8% de matéria graxa expressos na base seca. Os teores de pH e

[1] Pesquisadora Doutora - CERAT/UNESP Fazenda Experimental Lageado CP: 237, CEP: 18603-970 - Botucatu-SP Tel. 014 6802 7158, 6802 7230 e 6821 9050 e-mail: pesq1cerat@fca.unesp.br.
[2] Prof. Doutor - Docente Departamento de Química - Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru-SP e-mail: cabello@fc.unesp.br

acidez são bastante variáveis, devido à fermentações naturais do resíduo úmido.

Diante do elevado teor de amido deste resíduo, a possibilidade de aproveitamento deste como matéria prima para a obtenção de glicose e etanol tem sido objeto de várias pesquisas.

22.2. HIDRÓLISE DO AMIDO

22.2.1. AMIDO

Pela legislação brasileira em portaria do Ministério da Saúde (BRASIL,1978), a denominação amido refere-se ao polissacarídeo de reserva de partes aéreas vegetais e fécula refere-se ao polissacarídeo proveniente das partes subterrâneas dos vegetais.

A fécula é substância de reserva das raízes de mandioca nas quais acumula com teores médios de 20-30 %, com variações entre os limites de 13% a 35%. Considerando-se que as raízes colhidas apresentam teores de umidade de 60 a 75%, o amido na matéria seca pode se concentrar a teores em torno de 90% (VILELA & FERREIRA, 1987).

O amido apresenta diferentes propriedades conforme a origem botânica, notadamente na forma e tamanho dos grânulos, na proporção entre amilose e amilopectina, capacidade de absorção de água e temperatura de gelatinização (CABELLO, 1995).

As formas de grânulos encontradas para mandioca são redonda, oval, truncada, poligonal e cilíndrica, de acordo com RICKARD et al. (1991).

O tamanho dos grânulos constitui fator tecnológico de importância, uma vez que define a abertura das malhas das peneiras de extração e purificação da fécula, podendo influenciar o rendimento industrial e a aplicação tecnológica do amido, além do custo do tratamento do efluente (RASPER, 1971).

SARMENTO (1997), analisando o tamanho dos grânulos de fécula de quatro cultivares de mandioca aos 10 meses de idade observou uma distribuição bimodal, onde um primeiro grupo apresentou tamanhos de 1 e 9mm, com pico entre 4 e 7mm e um segundo grupo com tamanhos de 9 e 50-60mm, com pico entre 10-20mm.

Com relação aos polímeros formadores do amido, a amilose é um polímero linear constituído de unidades de D- glicose, unidas entre si por ligações tipo a-1,4 com uma extremidade redutora e uma não redutora. Já a amilopectina é

formada por cadeias curtas de amilose, ligadas entre si de modo a formar uma estrutura ramificada. Estas ramificações são formadas por ligações α - 1,6, com média de uma a cada 18 a 28 unidades de glicose da cadeia de amilose, de forma que uma molécula de amilopectina contém entre 4 - 5 % deste tipo de ligação (MANNERS & MATHESON, 1981).

Em valores médios o amido de mandioca apresenta 17% de amilose e cerca de 83% de amilopectina, teores estes diferentes do milho que apresenta 24% de amilose e 76% de amilopectina, e da batata com 20% de amilose e 80% de amilopectina (CIACCO & CRUZ, 1982).

22.2.2. ENZIMAS AMILOLÍTICAS

A produção de enzimas amilolíticas por via microbiana vem sendo alvo de intensas pesquisas científicas e tecnológicas, tanto no aspecto da otimização do processo de produção, como no melhoramento genético de microrganismos para aumentar a síntese enzímica (GRAEL & MENEZES, 1989).

As amilases de origem microbiana podem ser subdivididas, segundo GRAEL (1989), em exoamilases e endoamilases (Tabela 22.1).

As a- amilases fúngicas são utilizadas em panificação e em rações como auxiliar de digestão. Podem ser enzimas termoestáveis, atuando na faixa de 55°C e em pH ácidos (5,0 a 5,5). Já a α-amilase bacteriana é utilizada na liquefação do amido, na produção de xaropes, bebidas, produção de álcool, em indústria têxtil, detergentes, entre outras aplicações. As de uso industrial são termoestáveis, com atuação na faixa de 90 a 110 °C e pH 6,0.

Todas as α-amilases são cálcio-metalo-enzimas havendo no mínimo um átomo deste metal por molécula. Em presença de cálcio, as α-amilases são mais resistentes a valores extremos de pH, temperatura, tratamento com uréia e ao ataque de enzimas proteolíticas (GRAEL, 1989).

A amiloglucosidase é uma enzima sacarificante utilizada para produzir glicose a partir do amido, hidrolisando ligações tipo α- 1,4 e α- 1,6. A ação da amiloglucosidase é lenta no ataque inicial à amilose, pois sendo uma exoenzima, só atua a partir da extremidade não - redutora e não penetra no interior da estrutura helicoidal da amilose (FUJII et al., 1988).

Durante a hidrólise do amido eliminam - se gradualmente as unidades de glicose da extremidade não-redutora da molécula do substrato. A velocidade de hidrólise depende do tipo (linear ou ramificada) e da extensão da cadeia: as

ligações α- 1,4 se hidrolisam mais facilmente que as ligações α- 1,6, porém a maltotriose, e especialmente a maltose, hidrolisam-se mais lentamente que os oligossacarídeos (NOVO, 1995).

TABELA 22.1
As amilases de origem microbiana

Subdivisão das α-amilases	Enzimas	Atividade	Microrganismos produtores
Exoamilases	amiloglucosidase	hidrolisa ligações α-1,4, α -1,6e a-1,3 levando á formação de D-glucose	*A. niger, A. awamori, A. orysae*
	α- amilase	hidrolisa a ligação α-1,4 formando maltose dextrinas e oligossacarídeos menores	*B. cereus, B. megaterium, B. polymyxa, A. niger, A. awamori, A. orysae*
	outras enzimas exoativas	hidrolisam ligações α-1,4 mas não ultrapassam α-1,6 formando maltose	*Pseudomonas stutzeri, Aerobacter aerogenes*
Endoamilases	β- amilase	hidrolisa ligação α- 1,4 formando maltose, dextrinas e oligossacarídeos menores	*B. subtilis, B. amyloliquefaciens, B. liqueniformis*
	pululanase e isoamilase	hidrolisam ligações α-1,6	*Bacillus cereus, B. macerans, B. amiloliquefqciens*
	enzimas ciclisantes	hidrolisam o amido em uma série de compostos cíclicos de D – glucose	*B. macerans*

Fonte: GRAEL (1989)

As principais aplicações das amiloglucosidases estão no processo de panificação, produção de xaropes e álcool. Estas enzimas são termoestáveis (55- 60°C) em soluções acidificadas (pH 4,0 - 5,5) (PIMENTEL, 1987).

A ação sinérgica da α- amilase e amiloglucosidase no processo de hidrólise vem sendo estudada por diversos pesquisadores em amidos de diferentes origens. MONMA et al. (1989), estudaram a eficiência do uso destas duas enzimas em grânulos de amido de arroz, sagu e batata e concluíram que esta combinação apresenta bons rendimentos na conversão do amido à glicose em todos os substratos.

PARK & PAPINI (1970), descreveram o processo de hidrólise e sacarificação da fécula de mandioca pelo método enzima - enzima, que utilizava α- amilase bacteriana para liquefação do amido e amiloglucosidase fúngica para a sacarificação.

ABRAHAM et al. (1987), estudando o efeito das condições de hidrólise da raiz de mandioca no perfil de açúcares e fermentação alcóolica, observaram que quando se utilizou o método enzima - enzima, 96 % dos açúcares totais no hidrolisado era glicose, teor este superior ao obtido pelo método ácido (86 %) e ácido - enzima (76 % com HCl e 55 % com H_2SO_4). Quanto aos demais açúcares foi observado pequenos teores de maltose e maltotriose, tanto no método enzima - enzima quanto no ácido - enzima.

22.3. PRODUÇÃO DE GLICOSE A PARTIR DE FARELO DE MANDIOCA

Diversos problemas são observados na hidrólise do farelo de mandioca, dentre os principais estão a reduzida transferência de calor, sacarificação não uniforme e formação de pasta viscosa ao redor de 60 - 65 °C, requerendo forte agitação quando se utiliza concentrações de farelo com mais de 10 % de sólidos, em tanque reator agitado e hidrólise enzimática tradicional (α-amilase e amiloglucosidase) (SRIKANTA et al., 1987).

Devido a estes problemas, o CERAT/UNESP desenvolveu pesquisas no sentido de tornar mais eficiente o processo e viabilizar a hidrólise do farelo de mandioca para obtenção de etanol (LEONEL, 1998; LEONEL & CEREDA, 1998; LEONEL & CEREDA, 1999b).

Nestes estudos avaliou-se o uso da celulase e pectinase no processo de obtenção de etanol a partir de farelo de mandioca, concluindo-se que o uso de pectinase como enzima complementar às amilases no processo de hidrólise-sacarificação proporciona melhores rendimentos ao processo (LEONEL & CEREDA, 1999a).

22.4. CONDIÇÕES DE HIDRÓLISE E FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Para a hidrólise de amido de mandioca, dois tipos de α-amilases podem ser usadas: uma termolábil e uma termoresistente. A primeira tem como vantagem ser facilmente inativada e de necessitar de menos energia.

A enzima termolábil é adicionada à suspensão de amido, com pH previamente ajustado a 6,5. Esta mistura é aquecida a uma temperatura de 85°C durante 30 minutos e mantida nesta temperatura. Quando o DE desejado é atingido, o pH é abaixado para 5,0 e a solução é levada a ebulição por 10 minutos, para inativar a enzima. Portanto, uma não-desativação da enzima pode ser utilizada simultaneamente com a enzima de sacarificação. Para a enzima termoresistente, a suspensão, com pH ajustado para 6,5, é submetida a um tratamento térmico entre 90° e 115°C (SUMERLY, 1997).

A amiloglucosidase é uma enzima sacarificante utilizada para produzir glicose a partir do amido, hidrolisando ligações tipo α- 1,4 e α- 1,6. A ação da amiloglucosidase é lenta no ataque inicial à amilose, pois sendo uma exoenzima, só atua a partir da extremidade não - redutora e não penetra no interior da estrutura helicoidal da amilose (FUJII et al., 1988).

As principais aplicações das amiloglucosidases estão no processo de panificação, produção de xaropes e álcool. Estas enzimas são termoestáveis (55 - 60°C) em soluções acidificadas (pH 4,0 - 5,5) (PIMENTEL, 1987).

As enzimas pectinolíticas são largamente utilizadas na indústria de alimentos, principalmente como auxiliar na produção de sucos e vinhos, onde promovem uma rápida redução da viscosidade, diminuição da turbidez, melhorando assim os processos de extração, clarificação e filtração. Outra vantagem é a liberação de pigmentos e substâncias aromáticas (LINHARD et al., 1989).

As pectinases apresentam atividade ótima em temperaturas na faixa de 30 a 45°C e pH 4,5 a 6,0. A pectinase comercial é uma preparação de enzima pectinolítica de alta atividade produzida a partir de cepas selecionadas de microrganismos. Esta preparação enzimática apresenta atividade pectinolitica e hemicelulolítica e, uma grande habilidade em desintegrar a parede celular (NOVO, 1995).

As concentrações de uso das enzimas utilizadas no processo de hidrólise total do farelo foram: α-amilase (0,5Kg/t amido), amiloglucosidase (1,13L/t amido), pectinase (8kg/t fibras). Com relação ao pH inicial não é necessário ajuste, visto que o farelo gerado na fecularia apresenta um pH ao redor de 6,0 (LEONEL & CEREDA, 2000).

Suspensão farelo + água
(12 % de amido)
↓ ← **α- amilase e pectinase**
pH 5,5-6 /aquecimento gradual até 45 °C
↓
1 hora com agitação
↓
Aquecimento gradual até 85°C
↓
1 hora com agitação
↓
Resfriamento a 60 °C
↓
Ajuste de pH a 4,5
↓ ← **amiloglucosidase**
24 horas/ 60 °C com agitação
↓
Centrifugação/Filtração
↓ ↓
Fibra dietética **Hidrolisado**
↓
Concentração, fermentação, recirculação

FIGURA 22.1
Fluxograma do processo de hidrólise e sacarificação do farelo

22.4. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE FARELO DE MANDIOCA

No Brasil, a mandioca foi vista como matéria-prima para produção de álcool carburante em dois períodos, 1932 - 1945 e 1970 - 1980, entretanto, após isso não houve seguimento desse uso.

Atualmente, pensar em álcool carburante de mandioca é inviável, principalmente em comparação ao processo a partir da cana-de-açúcar e o eficiente uso do bagaço gerado. Todavia, a possibilidade de se produzir álcool refinado a partir do resíduo fibroso de fecularias tem obtido o interesse de alguns industriais da área, que são proprietários ou estão localizados próximos à destilarias, pois este produto apresenta um maior valor de mercado que o álcool carburante, enquanto que a matéria prima praticamente não apresenta custo.

Quimicamente o álcool etílico hidratado não apresenta diferença quanto as

matérias-primas utilizadas como cana-de-açúcar, cereais, beterraba e mandioca. As diferenças estão restritas às impurezas que acompanham o álcool, que são características de cada matéria-prima e o grau de purificação pelo qual passou o produto (LOPES, 1986).

O álcool fino constitui-se principalmente em bem de produção intermediário, ou seja, é matéria-prima para as indústrias de bebidas, perfumaria, farmacêutica e eventualmente indústrias químicas e alimentícias.

Na indústria de bebidas, o álcool fino é usado principalmente na fabricação de vodca, licores e aperitivos e também para a correção do teor alcóolico em vinhos. Já nas indústrias de perfumaria é usado desde a extração de princípios ativos naturais até a elaboração dos perfumes. Na indústria farmacêutica é usado na extração de princípios ativos naturais e como diluente.

A produção de etanol a partir de amiláceos passa por duas fases, a hidrólise e a fermentação. Muitos dos processos utilizados em nível industrial são ainda segredos comerciais. A tradição brasileira é de produção de álcool de cana de açúcar, mas há produção isolada de álcool a partir de matérias-primas amiláceas.

Na fermentação de matérias-primas amiláceas o processo pode ocorrer simultâneo à etapa de sacarificação ou então fermenta-se o extrato obtido após a hidrólise do amido, o que ocasiona composição de açúcares variável de acordo com a eficiência dos processos de hidrólise e sacarificação.

Vários são os trabalhos em que se estudou a produção de etanol a partir do farelo, resíduo fibroso das fecularias, entretanto, diversos problemas são citados na utilização do farelo para este fim, principalmente na etapa de hidrólise-sacarificação (JALEEL et al., 1977; JALEEL et al., 1987; JALEEL et al., 1991, LEONEL & CEREDA, 1995).

SRIKANTA et al. (1987), produziram etanol a partir de farelo de mandioca e obtiveram uma eficiência total do processo da ordem de 65,5 % quando fermentaram o xarope, e de 57,3 % quando a fermentação ocorreu simultânea à sacarificação tendo sido o mosto acrescentado de 10 % (v/v) de fermento e suplementado com 0,1 % $(NH_4)_2SO_4$, 0,05 % KH_2PO_4 e 0,02 % de extrato de levedura ao mosto.

JALEEL et al. (1988), avaliando a fermentação fase-sólida, simultânea à sacarificação do resíduo fibroso de mandioca, concluíram que a produção de etanol foi maior e os açúcares residuais menores na fermentação fase-sólida que na fermentação do xarope obtido na prensa hidráulica, em pequena escala. Em grande escala, no entanto, a produção na fermentação fase-sólida foi inferior. O teor alcóolico no vinho foi de 5,19 g % no processo simultâneo.

O uso de enzimas complementares no processo de hidrólise do farelo de mandioca advém como uma alternativa para aumentar o rendimento do processo tornando economicamente viável o uso deste resíduo para obtenção de etanol (LEONEL, 1998).

Embora o desenvolvimento de um processo eficiente e econômico para produção de etanol a partir do farelo possa resultar em sua utilização, o mesmo gera por sua vez outros resíduos, como a vinhaça e o resíduo fibroso final, os quais devem ter um destino, de preferência lucrativo, e não prejudicar o meio ambiente (KUNHI et al., 1981; JALEEL, 1988, LEONEL & CEREDA, 1998).

Quanto a vinhaça, esta poderia ser utilizada "in natura" na alimentação animal, como se utiliza a gerada no processo de produção de álcool fino de cereais (LEONEL, 1998). Já o resíduo fibroso final poderia ser aproveitado como fonte de fibras dietéticas, produto esse de elevado valor agregado (LEONEL et al., 1998; LEONEL et al., 1999).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, T. E.; KRISHNASWAMY, C.; RAMAKRISHNA, S. V. Effect of hydrolysis conditions of cassava on the oligosaccharide profile and alcohol fermentation. Starch Stärke, v.39, p.237-40, 1987.

AGRIANUAL 99: Anu. Agric. Bras., p.352-358, 1999.

CABELLO, C. Identificação de parâmetros para monitoramento de processo contínuo de hidrólise enzimática, na produção de glicose a partir de fécula de mandioca. 1995. 208p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas , Universidade Estadual Paulista. Botucatu.

CEREDA, M. P. Caracterização, usos e tratamentos de resíduos da industrialização da mandioca. Botucatu: Centro de Raízes e AmidosTropicais/UNESP, 1996. 56p.

CIACCO, C. F. , CRUZ, R. Fabricação do amido e sua utilização. São Paulo: Secretaria da indústria, comércio, ciência e tecnologia , 1982. 152p.

COPERSUCAR. Fermentação. São Paulo: Centro de Tecnologia Copersucar, 1987. v.1, cap.10, p.311 - 88.

FARAGO, M. E.; MAHMOUD, I. E. A. W. Metal compounds of pectin. Inorg. Chim. Acta , v.80, p.273-278, 1983.

FUJII, M. , HOMMA, T. ,TANIGUCHI, M. Synergism of α- amylase and glucoamylase on hydrolysis of native starch granules. Biotechnol. Bioeng. , v.32, p.910-915, 1988.

GRAEL, E. T. Análise da expressão do gene de α - amilase de *B. subtilis* em bactérias

recombinantes. 1989. 81 p. Dissertação (Mestrado em Genética) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GRAEL, E. T.; MENEZES, T. J. B. Produção de α- amilase: características morfofisiológicas de *B. amyloliquefaciens* visando melhoramento genético. Colet. Inst. Tecnol. Aliment. , v.19, n.1, p.70-76, 1989.

JALEEL, S. A .; SRIKANTA, S.; GHILDYAL, N. P.; LONSANE, B. K. Recycle of stillage in the production of ethanol from cassava fibrous waste. *Process Biochem.*, p.83-84, 1987.

JALEEL, S. A.; SRIKANTA, S.; GHILDYAL, N. P.; LONSANE, B. K. Simultaneous solid phase fermentation and saccharification of cassava fibrous residue for porduction of ethanol. Starch Stärke, v.40, n.2, p.52-58, 1988.

JALEEL, S. A. , SRIKAMTA, S. , CHILDYAL, N. P. , LONSANE, B. K. Comparative efficiency of techniques for recovery of ethanol from pulpy substrate fermented in solid phase. Starch / Stärke , v.43, n.5, p.183-186, 1991.

KUNHI, A. A. M.; GHIDYAL, N. P.; LONSANE, B. K.; AHMED,N.P.; NATARAJAN,C.P. Studies on production of alcohol from saccharified waste residue from cassava starch processing industries. Starch Stärke , v.33, n.8, p.275-279, 1981.

LEONEL, M., CEREDA, M. P. Sacarificação do resíduo fibroso de fecularias. I: seleção da concentração do resíduo. In: JORNADA CIENTÍFICA DA ASSOCIAÇAO DOS DOCENTES, 19, 1995, Botucatu. Anais ... Botucatu: Associação dos Docentes, Universidade Estadual Paulista. 1995. p.203.

LEONEL,M. Uso de enzimas complementares no processo de produção de etanol a partir de farelo de mandioca. 1998. 114p. Tese (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LEONEL, M., CEREDA, M.P. Avaliação técnico-econômica da produção de etanol de farelo de mandioca utilizando pectinase como enzima complementar. Energ. Agricul., v.13, n.2, p.1-14, 1998.

LEONEL, M. ; CEREDA, M. P; ROAU, X.. Cassava bagasse as dietary product. Tropic. Sci., v.38, p. 224-228, 1998.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Avaliação da celulase e pectinase como enzimas complementares, no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para produção de etanol. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.19, n.1, p.113-117, 1999a.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P; ROAU, X. Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte de fibras dietéticas. Ciênc. Tecnol. Aliment., v.19, n.2, p.241-245, 1999.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Melhoria do rendimento de hidrólise enzimática para produção de etanol a partir de farelo de mandioca. Braz. J. Food Technol., v.2, n.1/2, p.111-118, 1999b.

LEONEL, M.; CEREDA, M.P. Avaliação da concentração de pectinase no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para obtenção de etanol. Cienc. Tecnol. Aliment., 2000 (no prelo).

LINHARDT, R. J.; GALLIHER, P. M.; COONEY, C. L. Review: polissacharide llyases. Appl. Biochem. Biotechnol. , v.12, p.135-176, 1986.

LOPES, C. H. Glossário de termos técnicos para a indústria sucro - alcooleira. Piracicaba : Instituo do Açúcar e do Álcool , 1986. 32p.

MANNERS, D. J. , MATHESON, N. K. The fine structure of amylopectin. Carbohydr. Res., v.90, p.99-109, 1981.

MONNA, M.; YAMAMOTO, Y.; KAGEI, N.; KAINUMA, K. Starch Stärke , v.41, p.382- 385, 1989.

NOVO Enzyme Process Division, Fichas técnicas, 1995, NOVO Nordisk Boindustrial do Brasil Ltda.

PARK, Y. K.; PAPINI, R. S. Produção de xarope de glicose do amilo de mandioca pelo método enzima - enzima. Rev. Bras. Tecnol. , v.1, p.13-16, 1970.

PIMENTEL, I. C. Enzimas amilolíticas e proteolíticas. Piracicaba: Departamento de Genética, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- USP, 1987. 52p. (mimeogr.)

RASPER ,V. Investigations of starches from major crops grown in Chana. III. Particle size and particle size distribuition. J. Sci. Food Agric., London, v.22, n.11, p.572-580, 1971.

RICKARD, J. E. , BEHN, K. R. Evaluation of acid and enzyme hydrolitic methods for determination of cassava starch. J. Sci. Food Agric., v.41, n. 4, p.373-9, 1987.

SARMENTO, S.B.S. Caracterização da fécula de mandioca (*manihot esculenta* C.) no período de colheita de cultivares de uso industrial. 1997. 162p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos/ Bromatologia) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SRIKANTA, S.; JALEEL, S. A.; GHILDYAL, N. P.; LONSANE,B.K.; KARANTH,N.G. Novel Technique for saccharification of cassava fibrous waste for alcohol production Starch Stärke. v.39, n.7, p. 234-37, 1987.

SURMELY, R. H. , ALVAREZ, H. Hidrolisados de amido no Brasil e sua produção. Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, 1997. 49p.

TROWELL, H. C., SOUTHGATE, D. A . T., WOLEVER, T. M. S. Dietary fibre redefined. Lancet, v.1, p.967, 1976.

VILELA, E. R. , FERREIRA, M. E. Tecnologia de produção e utilização do amido de mandioca. Inf. Agropecu., v.13, n.145, p.69-74, 1987.

CAPÍTULO 23

DIMENSIONAMENTO DOS SUBPRODUTOS AGRÍCOLAS DA MANDIOCA (*Manihot esculenta*, Crantz) NO ESTADO DO PARANÁ

Edvaldo Sagrilo[1]
Pedro Soares Vidigal Filho[2]
Manoel Genildo Pequeno[1, 3]
Fabricio Rimoldi[1]

23.1. INTRODUÇÃO

O Paraná desponta atualmente como um dos principais produtores de mandioca do Brasil, com uma participação equivalente a 17,1% da produção nacional, ocupando a segunda posição entre os Estados produtores (Groxko, 1999). A cultura, neste Estado, é cultivada em uma área de 172.000 ha, equivalente a 10,8% da área total brasileira explorada com mandioca. Com uma produtividade média de 22,7 $t.ha^{-1}$, o volume total produzido no Paraná tem alcançado um valor equivalente a cerca de 3,5 milhões de toneladas de raízes tuberosas (Groxko, 1999).

A Figura 23.1 mostra um panorama do comportamento da área cultivada e, a Figura 23.2, da produção, tanto brasileira quanto paranaense, no período de 1980 até 1999. Na Figura 3, pode-se observar também a evolução da participação do Estado do PR na produção da cultura ao longo das décadas de 80 e 90.

---

[1] Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Maringá – e-mail:*esagrilo@hotmail.com*.

[2] Prof. *D.Sc.* Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá – e-mail: *gvidigal@wnet.com.br*.

[3] Eng. Agr. *M.Sc.* EMATER-PR, Escritório Regional de Campo Mourão – e-mail: *magepe@uol.com.br / genildo@cmf.com.br*.

23.2. OS RESÍDUOS AGRÍCOLAS DA MANDIOCA COMO FONTE DE ALIMENTOS

A mandioca é tradicionalmente cultivada em todas as regiões brasileiras, sendo que seu uso tem duas finalidades básicas: uma delas, que consiste no uso direto de suas raízes tuberosas através do consumo culinário, também definido como 'de mesa' e outra de modo indireto, mediante utilização da matéria prima no processamento industrial para a fabricação de farinha de mandioca ou ainda para a extração de fécula. Normalmente, a utilização culinária não gera quantidades significativas de resíduos, em função do caráter de subsistência e pela pequena quantidade processada. Por sua vez, o processo de industrialização das raízes pode causar sérios problemas ambientais, uma vez que, mesmo pequenas unidades de produção, tais como as casas de farinha, podem responder por elevadas quantidades de resíduos produzidos, pelo costume de se concentrarem em um dado local ou município. Um exemplo típico deste fato, são as indústrias de farinha e de fécula de portes diversos localizadas no município de Paranavaí, Paraná (Cereda, 1994).

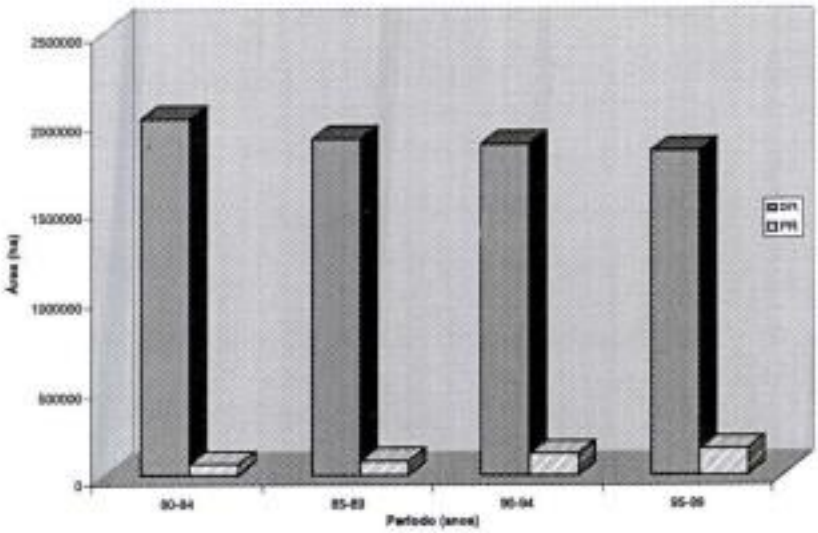


Figura 23.1
Área brasileira e paranaense cultivada com a cultura da mandioca no período de 1980 a 1999. Groxko (1999)

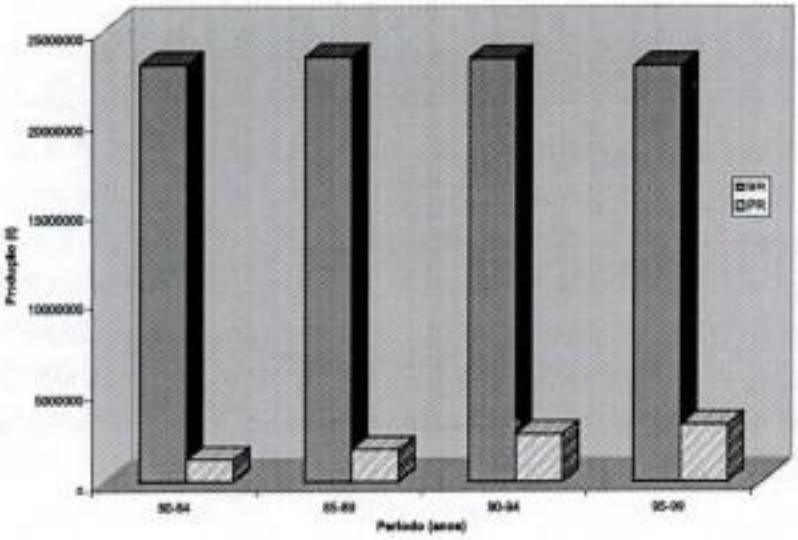


Figura 23.2
Produção brasileira e paranaense de mandioca no período de 1980 a 1999. Groxko (1999)

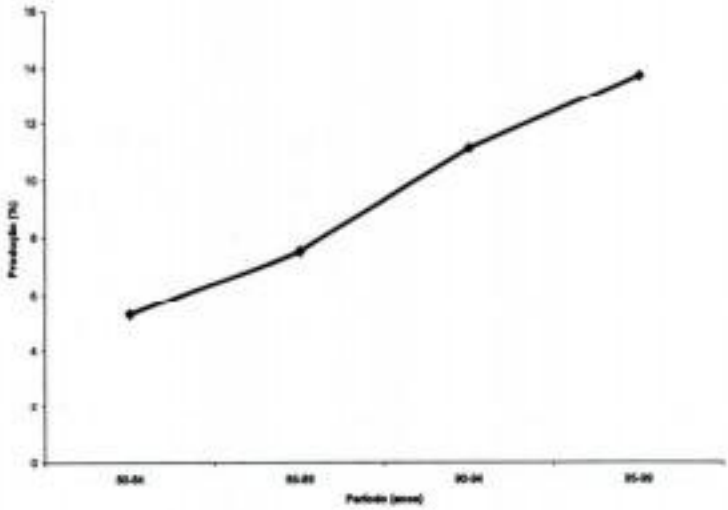


Figura 23.3
Evolução da produção paranaense em relação à produção brasileira de mandioca (%), no período de 1980 a 1999. Groxko (1999)

Segundo Carvalho (1994), estima-se que cerca de 14 a 16 milhões de toneladas de parte aérea da mandioca são deixadas no campo anualmente, e se perdem quando poderiam servir de alimento para aves e animais obtendo-se, assim, uma maior produção de carne, leite e ovos. Trabalhos de pesquisa sobre a riqueza desse material tem mostrado que a parte aérea contém 16% a 18% de proteína, enquanto só a folha pode atingir 28% a 32%, além do quê, esta apresenta uma digestibilidade de 70 a 75% (Montaldo et al., 1994). Diversos autores citados por Carvalho et al (1989), afirmam que a parte aérea de mandioca, particularmente as folhas, são ricas em β-caroteno e vitamina C e poderiam ser consideradas como matéria prima fornecedora de β-caroteno para as indústrias de ração animal, bem como de vitamina C na suplementação de dietas humanas.

Os resíduos da mandioca são partes constituintes da própria planta, gerados em função do processo tecnológico adotado. Por esse conceito, seriam considerados resíduos, inclusive, os restos de cultura. Conforme Cereda (1994), tanto a qualidade como a quantidade dos resíduos variam bastante, em função de uma série de fatores tais como a cultivar, a idade da planta, o tempo após a colheita, entre outros. Da mesma forma, Carvalho et al. (1993), afirma que a composição química da parte aérea da mandioca é variável com a idade de colheita e com as cultivares.

Considerando-se os principais tipos de processamento de raízes de mandioca no Brasil, como a fabricação de farinha e a extração de fécula, os resíduos gerados podem ser sólidos, como a película suberosa, a camada cortical ou entrecasca, a fibra, o bagaço, entre outros; ou líquidos, como a manipueira, água de lavagem das raízes, água residual de prensagem, entre outros.

Tem sido uma meta atual a possibilidade de aproveitamento integral da planta de mandioca, utilizando-se a parte aérea como forragem, em função da existência de um grande número de agroindústrias de produtos da raiz, principalmente farinhas e amido. Sabendo-se que uma quantidade surpreendente de ramas tenras e de folhas, em quase sua totalidade, são abandonadas no campo, destruídas ou incorporadas ao solo como resíduo orgânico, o aproveitamento da parte aérea de mandioca como forragem tem se constituído numa alternativa viável.

Além disso, com os preços limitantes dos grãos na fabricação de rações, torna-se necessária a utilização de novas fontes nutricionais e entre as mais viáveis, destaca-se a parte aérea da mandioca que até agora, vem sendo considerada resíduo agrícola (Carvalho et al., 1989). O descaso para com esse material tão precioso como forragem pode ser atribuído, em primeira análise, ao perigo

de intoxicações que o mesmo oferece quando consumido fresco pelos animais, devido ao seu elevado teor de ácido cianídrico; em segundo lugar, à falta de tradição na confecção de fenos e/ou silagem da parte ainda folhuda da rama e ao desconhecimento do seu valor nutritivo. Apresenta-se assim a mandioca, como uma 'planta completa' no sentido forrageiro, caracterizando-se por encerrar elevados teores de substâncias energéticas (hidrocarbonadas) na raiz e protéicas na parte aérea, acrescidas de vitaminas e sais minerais (Conceição, 1981). Considerando que apenas 20% do total de ramas, produzidas numa área, são aproveitadas para replantio da mesma área, restam no campo, 80% de um produto de grande valor alimentar para os animais, que não devem ser desperdiçados (Carvalho, 1994).

23.3 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS VEGETAIS DE UM MANDIOCAL

As frações da planta passíveis de serem classificadas como resíduo agrícola em um mandiocal, constam de parte aérea, sendo esta última composta por folhas, pecíolos e caules ou hastes e de cepa. Para uma melhor compreensão de cada uma dessas partes passaremos agora a descrevê-las separadamente: A planta da mandioca apresenta folhas alternas simples, longamente pecioladas, compostas por lóbulos pronunciados, cujo número e cor são variáveis de acordo com a cultivar (Conceição, 1981; Vidigal Filho et al., 2000). Por sua vez, o caule (ou haste) consiste de uma estrutura lenhosa, que dá suporte à planta e que serve como material de propagação. Na mandioca, o sistema caulinar é do tipo sub-arbustivo ereto, com nós salientes, normalmente ramificando-se no ciclo reprodutivo. Apresenta ramificação com altura e coloração variáveis de acordo com a idade e a cultivar (Conceição, 1981; Vidigal Filho et al., 2000).

A fração cepa, refere-se ao resíduo cultural resultante da colheita. No processo de colheita da mandioca, inicialmente procede-se o corte da parte aérea da planta a aproximadamente 10-15 cm da superfície do solo. Após a operação de corte da parte aérea procede-se o arranquio propriamente dito da estrutura remanescente, que é composta por porções de segmento caulinar (10-15 cm), e por raízes tuberosas, que são formadas a partir da maniva-mãe. O arranquio dessa estrutura remanescente seguida da remoção das raízes tuberosas da maniva-mãe (despinicagem), resulta em uma fração de resíduo agrícola, composta por pequenos segmentos caulinares e de pedúnculos radiculares, unidos à maniva-mãe. A toda esta estrutura é dado o nome de cepa.

Vários são os fatores que podem influenciar na produção de parte aérea da planta de mandioca, bem como na produção de cepa. Dentre estes fatores, destacam-se a fertilidade do solo, a época de colheita, as diferenças genotípicas e, a interação destas com as condições ambientais prevalecentes. Entenda-se por condições ambientais, não apenas as diferenças existentes entre diferentes localidades, em um dado período, mas também as diferenças que ocorrem em uma mesma localidade, em anos diferentes.

O Brasil é considerado o possível centro de origem e diversificação da espécie cultivada *Manihot esculenta*, Crantz, fato este que explica a ampla diversidade genética que atualmente se encontra mantida, em sua maioria, em bancos de germoplasma distribuídos em todo país. De forma análoga, o Estado do Paraná caracteriza-se por apresentar um número relativamente elevado de genótipos, representado em grande parte por cultivares que não passaram por processos de seleção e/ou avaliação e as quais apresentam variações bastante expressivas no potencial de produção de parte aérea. Aliado a tal fato, a extensão da área ocupada por cada cultivar é mutável, com um grande dinamismo nas mudanças ocorrendo a cada ano, o que dificulta o cálculo preciso da quantidade de resíduos produzidos anualmente com a cultura.

Trabalhos recentes desenvolvidos por Vidigal Filho et al. (2000), mostram o potencial de produção de resíduos agrícolas de diferentes cultivares de mandioca avaliados em solo LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico (EMBRAPA, 1999) de Araruna, Noroeste do Paraná. Os dados relativos à produção de parte aérea, bem como à produção de cepa destas cultivares, encontram-se nos Quadros 1 e 2 respectivamente.

Quadro 23.1
Dados referentes à produção de parte aérea de nove cultivares de mandioca, em três anos agrícolas (1994/95, 1995/96 e 1996/97), no Município de Araruna, Noroeste do Paraná.

Cultivares	1994/95	1995/96	1996/97	Média
	kg.ha^{-1}			
IAC 14	25.208 a	31.650 a	21.997 a	26.285
IAC 13	21.667 a	21.163 bc	12.488 bcd	18.439
IAC 12	14.977 b	23.108 bc	14.358 bc	17.481
Mico	14.398 b	26.581 ab	18.247 ab	19.742
Branca-de-Santa Catarina	12.384 bc	28.280 ab	13.576 bcd	18.080
Fibra	12.176 bc	17.397 c	7.136 de	12.236
Fécula Branca	10.116 bcd	15.642 c	10.400 cde	12.053
Espeto	7.662 cd	14.970 c	4.445 e	9.026
Verdinha	5.857 d	15.278 c	4.775 e	8.637
Média	13.830	21.563	11.931	**15.775**

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Como já enfatizado, as diferenças entre as cultivares são responsáveis por grandes variações no potencial de produção da parte aérea da planta de mandioca, dificultando o cálculo preciso do montante de resíduos produzidos em um determinado ano agrícola. Ainda assim, se considerássemos que toda a área atual de cultivo com mandioca no Paraná (172.000 ha) fosse ocupada com uma cultivar com alto potencial de produção de parte aérea, como por exemplo a IAC 14 e, considerando ainda a produção média desta cultivar ao longo dos três anos de avaliação que foi de 26.285 kg.ha^{-1} (Quadro 23.1), teríamos uma produção média anual de parte aérea da ordem de 4,52 milhões de toneladas, sendo que deste total, em torno de 3,62 milhões de toneladas seriam considerados resíduos de parte aérea.

Quadro 23.2
Dados referentes à produção de cepa de nove cultivares de mandioca, em três anos agrícolas (1994/95, 1995/96 e 1996/97), no Município de Araruna, Noroeste do Paraná.

Cultivares	1994/95	1995/96	1996/97	Média
	kg.ha^{-1}			
IAC 13	5.928 a	3.740 a	4.705 a	4.791
IAC 14	5.184 ab	4.844 a	5.347 a	5.125
Espeto	4.536 abc	5.031 a	3.941 a	4.503
Fibra	4.354 abc	5.206 a	4.392 a	4.651
Fécula Branca	4.258 bc	4.966 a	5.191 a	4.805
Mico	3.727 bc	4.487 a	5.000 a	4.405
IAC 12	3.656 bc	3.732 a	4.514 a	3.967
Verdinha	3.495 c	4.879 a	4.010 a	4.128
Branca-de-Santa Catarina	2.916 c	4.794 a	4.826 a	4.179
Média	4.228	4.631	4.658	**4.506**

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Da mesma forma, considerando a cultivar IAC 14, e uma produção média anual de cepa da ordem de 5.125 kg.ha^{-1} (Quadro 23.2), teríamos um total de 882 mil toneladas, que somado ao resíduo de parte aérea remanescente, atingiria um total de aproximadamente 4,50 milhões de toneladas de resíduo agrícola da cultura da mandioca. Por outro lado, se todo o PR fosse cultivado com uma cultivar de baixo potencial de produção de parte aérea, tal qual a cultivar Verdinha, cuja produção média anual foi de 8.637 kg.ha^{-1} de parte aérea e 4.128 kg.ha^{-1} de cepa (Quadros 23.1 e 23.2), este total de resíduo agrícola remanescente (parte aérea + cepa) seria de 1,90 milhões de toneladas. Vale ressaltar, que na região noroeste do PR tem ocorrido o plantio de novas cultivares, dentre elas, destacando-se a cultivar Fécula Branca que apresenta elevada capacidade produtiva (Vidigal Filho et al. 2000), tendendo a se tornar um material com contribuição expressiva na produção de resíduos.

Convém lembrar que os dados apresentados se referem a apenas uma localidade e, embora tenham sido conduzidos em três anos distintos, o que resulta em amplitudes diferenciadas em cada um dos anos, fornecem dados inerentes às condições ambientais peculiares de cada ano, mas que são prevalecentes na microrregião. Assim, não está distante a possibilidade de que outros ensaios

semelhantes, conduzidos em outros locais, portanto com condições diferenciadas, venham a apresentar dados com uma realidade diferente daquela observada acima.

Um estudo mais detalhado da produção e composição química da parte aérea da mandioca foi desenvolvido por Pequeno et al. (1996), em NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico latossólico (EMBRAPA, 1999) no município de Renascença, Sudoeste do Paraná (Quadro 23.3).

Quadro 23.3
Médias referentes à produção de parte aérea total, produção de folhagem (terço superior), produção de farinha de folhas, proteína bruta (%) e concentração de β-caroteno de oito cultivares de mandioca. Renascença-PR

Cultivares	Parte áerea		Farinha de folhas	Proteína bruta	β-caroteno
	total	Folhagem		%	
	t.ha^{-1}				µg.g^{-1}
Aipim Catarinense	15,20 b	4,80 abc	2,10 b	26,16 b	167,52
Aipim Pretona	19,20 ab	4,40 abcd	2,4 b	25,79 b	58,74
Taquari	27,40 a	7,50 a	2,20 b	25,13 c	95,68
Aipim Gigante	23,00 ab	1,80 cd	1,80 b	31,10 a	90,89
Local I	22,90 ab	3,80 bcd	2,90 b	19,92 e	42,46
Branca-de-Santa Catarina	25,50 ab	5,80 ab	4,10 a	24,72 cd	43,40
Pioneira	23,30 ab	4,20 bcd	1,90 b	18,93 f	90,47
Local II	18,60 ab	1,60 d	2,00 b	24,21 d	241,80
Média	21,90	4,60	2,40	24,50	103,87

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Os resultados deste estudo mostram um potencial de produção média total de resíduo agrícola (hastes, folhagem e cepa) da ordem de 21,90 t.ha^{-1}, o que corresponde a aproximadamente 17,52 t.ha^{-1} de resíduos agrícolas, considerando a média das cultivares avaliadas, e descontando os 20% de hastes a serem utilizados como material de plantio. Considerando ainda a área paranaense cultivada com a mandioca no mesmo ano agrícola, qual seja, 137.000 ha no ano agrícola de 1993/94 (Groxko, 1995), estima-se que a produção de resíduos agrícolas da cultura tenha sido de 2,40 milhões de toneladas.

Ainda analisando o Quadro 23.3, outra informação importante diz respeito a quanto deste total de resíduos agrícolas é composto pela folhagem ou terço superior da planta (folhas + ponteiros). Observa-se que do total de parte aérea, em média 4,60 t.ha^{-1} são compostas pela folhagem da planta, o que corresponde

aproximadamente a 21% do total da parte aérea produzida. Isto eqüivaleria a 630 mil toneladas, de acordo com a área agrícola cultivada com a mandioca no PR em 1993/94. Esta informação é bastante relevante, se considerarmos a produção média de farinha de folhas (2,40 $t.ha^{-1}$) e sua porcentagem média de proteína bruta, bem como os teores de β-caroteno, que no presente trabalho, foram de 24,50% e 103,87 $\mu g.g^{-1}$, respectivamente (Quadro 3). Dessa forma, fica bastante evidente a importância que tal tipo de resíduo poderia assumir na dieta, seja ela humana ou animal, devido ao seu elevado valor nutritivo.

Além do potencial genético de cada cultivar e das condições edafoclimáticas, a produção de resíduos agrícolas pela cultura da mandioca é influenciada pela época de colheita. Pequeno & Cereda (1997, dados não publicados), desenvolveram estudos sobre o efeito da época de colheita na produção de parte aérea das cultivares Mico, IAC 12, e IAC 14, em área de LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico (EMBRAPA, 1999), de Santa Helena, Oeste do Paraná (Quadros 23.4 e 23.5). Observa-se, que a produção de hastes foi maior na época 3 (07/06) do que nas demais e que, a produção de folhagem (limbo + pecíolos) tendeu a decrescer a cada uma das colheitas (Quadro 23.4). Isto pode ser explicado pelo fato de que na primeira época de colheita a planta encontrava-se em pleno vigor vegetativo, enquanto que as épocas subseqüentes corresponderam ao período de repouso da planta, com conseqüente queda de folhas. Entretanto, para a produção de parte aérea total e produção de cepas não se observou diferenças significativas de épocas.

Quadro 23.4
Médias referentes à produção de hastes, folhagem (limbo + pecíolos), parte aérea total (PA Total) e de cepa, em três épocas de colheita, no ano agrícola 1996/97. Santa Helena, PR

Épocas Colheita	Hastes	Folhagem	PA Total	Cepa
	kg/ha			
21/03	19.006 b	8.444 a	27.451 a	4.751 a
26/04	21.468 b	6.653 a	28.12 a	4.563 a
07/06	26.500 a	2.696 b	29.196 a	4.307 b
Média	22.325	5.931	28.256	4.540

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Quanto às diferenças entre cultivares, observa-se que para todas as variáveis analisadas, a cultivar IAC 14 mostrou-se superior (Quadro 23.5). Uma informa-

ção bastante útil, que pode ser obtida destes dados, diz respeito à proporção de cada uma das frações da parte aérea (hastes, folhagem) e da cepa. Assim, considerando a soma delas como sendo o total de material residual (potencial), e a proporção que cada uma das frações representa, temos a seguinte situação: hastes: 68,07%; folhagem: 18,08% e; cepa: 13,84%.

Quadro 23.5
Médias referentes à produção de hastes, folhagem (limbo + pecíolos), parte aérea total (PA Total) e de cepa, de três cultivares de mandioca, no ano agrícola 1996/97. Santa Helena, PR

Cultivares	Hastes	Folhagem	PA Total	Cepa
	kg ha^{-1}			
Mico	18.228 b	4.969 b	23.197 b	3.931 b
IAC 12	20.771 b	5.409 b	26.181 b	4.256 b
IAC 14	27.975 a	7.415 a	35.390 a	5.434 a
Média	22.325	5.931	28.256	4.540

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

De posse destas informações referentes às proporções específicas de cada fração com potencial residual da planta de mandioca, é possível realizar um cálculo mais preciso do que realmente compõe a fração de resíduos agrícolas, visto que na verdade, apenas 20% do volume total de hastes produzidas se destina à propagação da cultura. Com base nessas considerações, e levando em conta a área de cultivo com mandioca no Paraná, no ano agrícola 1996/97 (Groxko, 1999) a produção potencial de hastes foi de 2,59 milhões de toneladas, das quais 2,07 milhões de toneladas estariam compondo a fração resíduo. A produção de folhagem (limbo + pecíolos), por sua vez, atingiu um volume de cerca de 688 mil toneladas, enquanto a produção estimada de cepa foi de 527 mil toneladas. Somando a produção da fração de hastes, à produção de folhagem e de cepa, temos que, na média das três cultivares avaliadas, a produção potencial de resíduos agrícolas no Estado do Paraná, no ano agrícola 1996/97, foi de aproximadamente 3,28 milhões de toneladas.

Por outro lado, as proporções de cada fração podem variar em função da época de colheita. Assim, se considerarmos a época 3 (07/06), a porcentagem de hastes em relação ao total, seria de 79%. Da mesma forma, a porcentagem de folhagem na época 1 (21/03), em relação ao total, passaria do valor médio de

18,01% para 26,00% (Quadro 23.4). Estes dados deixam implícitos que no cálculo preciso da produção de resíduos oriundos de uma lavoura de mandioca, tem-se que considerar que tanto as proporções como as dimensões das frações resíduos, variam em função da época de colheita. Outra observação importante, é que, considerando os teores de proteína bruta, bem como a concentração de β-caroteno nas folhas (Quadro 23.3), e a influência da época de colheita na produção de folhas e pecíolos (Quadro 23.4), é possível optar-se por uma época de colheita, em que o valor nutritivo da parte aérea é maior, podendo esta, ser direcionada para consumo tanto humano quanto animal.

Outro estudo semelhante ao apresentado anteriormente, foi conduzido por Pequeno & Cereda (1998, dados não publicados) no município de Santa Helena-PR, no ano agrícola 1997/98, utilizando-se as cultivares Mico, IAC 12, IAC 14 e Fécula Branca, colhidas em três diferentes épocas. A exemplo do experimento anterior, também realizou-se o fracionamento da planta em hastes, folhagem (limbo + pecíolo), os quais compõem a parte aérea total e de cepa. Os dados referentes aos efeitos das épocas de colheita na produção de hastes, folhagem, parte aérea total e de cepa encontram-se no Quadro 23.6.

Quadro 23.6
Médias referentes à produção de hastes, folhagem (limbo + pecíolos), parte aérea total (PA Total) e de cepa, em três épocas de colheita, no ano agrícola 1997/98. Santa Helena-PR

Épocas Colheita	Hastes	Folhagem	PA Total	Cepa
	kg.ha⁻¹			
13/03	16.776 b	6.290 a	23.066 b	4.933 b
30/04	22.533 a	3.391 b	25.924 a	5.937 a
19/06	22.245 a	659 c	22.904 b	5.099 b
Média	20.518	3.446	23.965	5.323

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

No Quadro 23.6, pode-se observar que a época 2 propiciou maiores produções de hastes, parte aérea total e cepa, enquanto que, maior produção de folhagem (limbo + pecíolos) foi obtida na época 1 (13/03).

Em relação às cultivares, observa-se no Quadro 23.7, que novamente a cultivar IAC 14 foi responsável pelas maiores produções de hastes e parte aérea total e, juntamente com Fécula Branca, pelas maiores produções de folhagem e de cepa.

Quadro 23.7
Médias referentes à produção de hastes, folhagem (limbo + pecíolos), parte aérea total (PA Total) e de cepa, de quatro cultivares de mandioca, no ano agrícola 1997/98. Santa Helena-PR

Cultivares	Hastes	Folhagem	PA Total	Cepa
	kg.ha^{-1}			
Mico	17.599 b	2.684 b	20.283 b	5.168 ab
IAC 12	21.382 ab	3.189 ab	24.570 ab	4.753 b
IAC 14	25.658 a	4.039 a	29.697 a	5.289 ab
Fécula Branca	17.434 b	3.873 a	21.308 b	6.080 a
Média	20.518	3.446	23.965	5.323

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si em nível de 5 %, pelo teste de Tukey.

Desta forma, conforme os dados dos Quadros 23.5 e 23.7, pode-se inferir que as frações dos resíduos agrícolas oriundos da lavoura de mandioca, embora sofra efeito de cultivares e de época de colheita, constituem-se em média, das seguintes proporções: 68-70 % de hastes; 12-18 % de folhagem e 14-18 % de cepa. Assim sendo, considerando a média geral dos trabalhos mostrados aqui, bem como levando em consideração a área atual de cultivo no Paraná (172.000 ha), o potencial anual de produção de resíduos agrícolas oriundos da lavoura de Mandioca no Estado atinge valores da ordem de 3,88 milhões de toneladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, J.L.H. Mandioca: raiz e parte aérea na alimentação animal. Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1994. 9p.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; MORAIS, A.R.; PAULA, M.B. Efeito da época de colheita na produtividade e teores de vitamina C e β - caroteno da parte aérea de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). Rev. Bras. Mand., v.8, n.1, p.25-35. 1989.

CARVALHO, V.D.; GONÇALVES, J.R.A.; BOTREL, N.; CHAGAS, S.J.R. Efeito da época de colheita nos teores de compostos fenólicos da parte aérea de três cultivares de mandioca. Rev. Bras. Mand., v.12, n.1/2, p.31-37, 1993. CEREDA, M.P. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, M.P. (Coord.). Resíduos da industrialização da mandioca no Brasil. São Paulo: Paulicéia. 1994. p.11-50.

CONCEIÇÃO, A.J. A mandioca. São Paulo: Nobel, 1981. 382 p.

EMBRAPA-CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro, 1999. 180p.

GROXKO, M. Mandioca. In: ACOMPANHAMENTO da situação agropecuária no paraná. Curitiba: SEAB/DERAL, v.25, n.9, p.39-45, 1999.

GROXKO, M. Mandioca. In: ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO AGROPECUÁRIA NO PARANÁ. Curitiba: SEAB/DERAL, v.21, n.9, p.99-105, 1995.

GROXKO, M. Mandioca. In: ACOMPANHAMENTO DA SITUAÇÃO AGROPECUÁRIA NO PARANÁ. Curitiba: SEAB/DERAL, v.18, n.9, p.89-96, 1992.

MONTALDO, A.; MONTILLA, J.J.; ESCOVAR, I. El follage de yuca (*Manihot esculenta*) como fuente potencial de proteínas. Rev. Bras. Mand., v.13, n.2, p.123-136. 1994.

PEQUENO, M.G.; FLORES, C.O.; CEREDA, M.P.; PENTEADO, M. de V.; CASALI, V.; LORENA, C.B. de. Avaliação de oito variedades de mandioca no município de Renascença PR. - Região de Francisco Beltrão-PR. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 9, 1996. Resumos. São Pedro : Sociedade Brasileira de Mandioca (Resumo 10).

SILVA, S. de O. e. Instalação e caracterização botânico-agronômica de coleções de mandioca. Doc. Cent. Nac. Pesqu. Mandioca Fruticult., n.7, p.1-51, 1981.

VIDIGAL FILHO, P.S.; PEQUENO, M.G.; SCAPIM, C.A.; GONÇALVES VIDIGAL, M.C.; MAIA, R.R.; SAGRILO, E. SIMON, G.A.; LIMA, R.S. Avaliação de cultivares de mandioca na Região Noroeste do Paraná. Bragantia, Campinas v.59, n.1, 2000. (No prelo).

CAPITULO 24

Valorização de subprodutos como forma de reduzir custos de produção

Engª.Agrª.Marney Pascoli Cereda[1]

1.24. INTRODUÇÃO

A palavra resíduo leva uma imagem depreciativa, onde o produto, analisado no contesto global do processamento, não tem serventia e deve ser descartado. Esse conceito tem sido gradualmente abandonado, substituído por outros como subproduto e mesmo co-produto. O conceito altera o contexto do processo e coloca em foco a possibilidade de melhor utilização da matéria prima. Muitas mudanças no conceito de agroindústria ajudaram a acelerar essa nova imagem. A consciência de proteção do meio ambiente, com a exigência de que o processamento seja feito sem prejuízo da natureza, sem dúvida foi um desses fatores. A imagem de uma indústria limpa é hoje uma peça mercadológica. Além disso, fica cada vez mais caro tratar os efluentes e resíduos, de forma que sempre que possível é melhor evitar essa necessidade. A legislação que cobra do contribuinte em proporção à carga orgânica dos dejetos que ele produz, veio para ficar. Alguns Estados brasileiros que ainda acreditam que vale a pena atrair indústrias "sujas", rapidamente se apercebem que fizeram mau negócio e que os impostos recolhidos acabam por ser gastos na mesma empresa, para consertar os estragos causados, o que nem sempre é possível.

Mesmo este fator começa a ser substituído por outro, tão ou mais importante, devido à necessidade de aproveitar integralmente a matéria prima e não haver desperdício no processo. Para que esta nova visão se concretize, torna-se necessário o esforço conjunto de uma equipe multidisciplinar, atuando em toda a cadeia produtiva. Desde a seleção de novas variedades, adaptadas ao processo

1 2 Professora doutora – Pesquisadora do CERAT - Centro de Raízes e Amidos Tropicais da Unesp - Universidade Estadual Paulista "Campus de Botucatu"- São Paulo - CP 237 - CEP 19 607 170 - seccerat@lfca.unesp..br - cereda@terra.com.br

e às máquinas, menos sujeitas à deterioração e com uma forma mais adaptada às necessidades do processamento. As máquinas deverão ser ajustadas e adaptadas, os operários treinados e conceitizados.

A pesquisa deverá também ter uma nova visão. Ao iniciar um tema, é importante que o pesquisador tenha claramente em seus objetivos a necessidade de desenvolver processos "limpos", para que não seja preciso esforço complementar e posterior para encontrar soluções para os problemas recém implantados.

Uma outra forma de atuação, concomitante, é a de buscar utilizações viáveis e econômicas para os inevitáveis resíduos gerados. Sempre que possível, o resíduo final deverá se constituir em matéria prima para um novo processo, constituindo uma segunda transformação. Há muitos exemplos desta forma de atuação, entre os quais cita-se o processamento da cana de açúcar no Brasil e o processamento úmido do milho em nível mundial. No primeiro caso o bagaço da cana, que era um resíduo incômodo, se transformou em subproduto e está próximo a se transformar em co-produto. Essa mudança ocorreu em razão de mudança de processamento de queima na caldeira, que permitiu mais eficiência. Com o bagaço sobrando, um esforço de pesquisa permitiu abrir uma série de opções que vão da alimentação animal até a co-geração de energia elétrica para venda, satisfazendo demandas regionais. No caso do processamento do milho, a melhor solução foi de repassar os resíduos para outra indústria, de produção de óleo à partir do germe. Essas soluções são cada vez mais comuns.

Para que seja possível encontrar soluções economicamente viáveis para o aproveitamento dos resíduos alguns conhecimentos são absolutamente imprescindíveis:

(a) Conhecer as quantidades produzidas e sua sazonalidade;

(b) Caracterizar os resíduos de forma a mais completa possível.

Essas informações são mais facilmente obtidas quando mais conhecidos são a cultura e o processo. Quando se trata do aproveitamento de resíduos de processamento de matérias primas autóctones, a dificuldade aumenta muito, pois são poucas as informações disponíveis na literatura.

Para obter essas informações, recomenda-se:

- Estabelecer um fluxograma de processamento e medir as perdas que ocorrem. Esse procedimento simples permite comparar a eficiência de processos e a qualidade de matéria prima, mesmo em nível de laboratório.
- Realizar balanços de massa, água, amido, etc., desde o campo até a indústria.
- Caracterizar os resíduos o mais completamente possível, incluindo resultados de análises físico-químicas, microbiológicas e granulométricas.

- Caracterizar os produtos de metabolismo específicos de cada matéria prima, como a linamarina em mandioca, alcalóides, enzimas, vitaminas, fenólicos, etc.
- Determinar os índices de biodegradabilidade caso seja necessário o tratamento físico, biológico ou químico. Avaliar a biodegradabilidade no solo.
- Determinar a estabilidade do resíduo, para verificar quais as alterações previsíveis e determinar o tempo disponível para que possa sofrer a segunda transformação;
- Processar os resíduos na mesma empresa, para evitar custos de transporte;
- Como nem sempre é possível o uso na mesma indústria, deve-se buscar soluções econômica e tecnologicamente viáveis para o transporte, o que muitas vezes exige um processamento intermediário;
- Situar as diferentes possibilidades de uso e tratamento, dentro das necessidades e prioridades da indústria.
- Uma vez definida a opção a ser adotada, buscar assessoria séria e competente.

Com informações como estas disponíveis, torna-se mais fácil estabelecer o potencial de utilização ou de tratamento dos resíduos. Um segundo passo visa identificar os produtos que poderiam vir a ser produzidos ou substituídos pelos resíduos caracterizados, levando em conta suas características. Caso seja muito perecível, deve-se estabelecer processos intermediários, que garantam sua conservação. Deve-se buscar soluções que maximizem os ganhos da indústria processadora.

Os resíduos da mandioca são partes constituintes da própria planta gerada em função do processo tecnológico adotado. Tanto a qualidade como a quantidade dos resíduos variam bastante, em função de uma série de fatores tais como cultivar, idade da planta, tempo após a colheita, tipo e regulagem do equipamento industrial, etc.

Considerando-se os principais tipos de processamento industrial de raízes de mandioca no Brasil, como a fabricação de farinha de mandioca e a extração de fécula, os resíduos gerados podem ser sólidos ou líquidos.

Alguns dos resíduos sólidos são a rama, cepa, descarte, casca marrom,, crueira, fibra, farelo ou bagaço e varredura.

Entre os resíduos líquidos cita-se a manipueira. A palavra manipueira consta de dicionários. É também considerada resíduo líquido a água da lavagem das raízes.

24. 2. NOMENCLATURA E CONCEITO

- **RESÍDUOS LÍQUIDOS**

Água de lavagem das raízes: a água de lavagem das raízes é originária dos lavadores/descascadores.

Manipueira ou água vegetal:
A manipueira é o líquido resultante da prensagem da massa ralada para produção de farinha e do processo de extração e purificação da fécula. É o resíduo mais problemático, por possuir elevada carga poluente e efeito tóxico devido à liberação do cianeto, causando sérios problemas ao meio ambiente quando lançada em cursos d'água .A manipueira difere em volume e composição conforme originária de farinheiras ou fecularias.

Água de extração da fécula:
Corresponde a água de constituição da raiz, diluída com a água de extração.

- **RESÍDUOS SÓLIDOS**

Caule ou maniva:
Corresponde à haste da planta de mandioca.

Cepa:
Corresponde à parte da maniva que resta entre as raízes colhidas e que se apresenta lenhosa, acrescentada de outro resíduo denominado descarte ou calcanhar.

Descarte ou calcanhar:
Corresponde ao pedúnculo, entre o caule e a raiz. Em geral é lenhoso e acompanha a raiz até a indústria, onde em geral é retirada antes da moagem, durante a operação de seleção, que tem por finalidade de não forçar o ralador. Tem composição semelhante à raiz de mandioca, sendo apenas mais fibroso por conter o pedúnculo. É por isso também chamado de "calcanhar". Nas fecularias, muitas vezes o descarte é moído junto com a raiz.

Cascas:
Corresponde a periderme que varia entre 2 e 5% do peso total das raízes. Constitui-se em fina camada celulósica, de cor marrom clara ou escura.

Entre casca:
Corresponde ao parênquima cortical da raiz. Tem coloração branca e aspecto pergaminoso. A parte interna é impermeabilizada e a externa, áspera.

Crueira:
constituído de pedaços de raízes e entre casca, separados por peneiras antes de entrar no forno, no processamento de farinha de mandioca.

Folhas:
Em termos práticos, corresponde ao pecíolo e lâmina da folha.

Farelo:
Corresponde ao material retido na última peneira de extração de fécula.

24.3. QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA

Não existem informações diretas da quantidade de resíduos gerados no Brasil. Para quantifica-los deve-se partir de dados de literatura e de poucos resultados experimentais obtidos em indústrias.

Tabela 24.1
Quantificação de resíduos na industrialização da mandioca no sudeste brasileiro

Resíduo /tonelada de raiz:	Matéria úmida	Umidade (*)	Matéria seca
Líquidos:			
Água de lavagem das raízes lavador contínuo	2 600 L	-	-
Água de lavagem das raízes lavador descontínuo	800 L	98%	16,0 Kg
Água na extração da fécula	3 700 L	98%	74,0 Kg
Manipueira de farinheira	150(**)a 400 L	97%	22,5 a 20,0 Kg
Manipueira de fecularia	1 100 L	85 a 95%	55 Kg
Sólidos:			
Ramas (maniva)	1t ou 20 t/ ha	60%	400 Kg ou 8 t/ha
Cepa	410 Kg	60%	136 Kg
Descarte ou calcanhar	75 Kg	60%	30 Kg
Cascas	45 Kg	80%	9 Kg
Farelo	930 Kg	85%	140 (***) Kg
Folhas	2,5 t / ha	60%	900 Kg / ha
Crueira	42 Kg	60%	17 Kg

(*) Considerada para o cálculo, (**) Correspondente à raiz com 62% de umidade, (***) Correspondente a 105 Kg de amido
Fonte: CERAT(1996),CEREDA (1994)

Manivas:
O rendimento da parte aérea da mandioca situa-se ao redor de 20t/ha. Destes, cerca de 20% são utilizados no plantio da nova safra. Por essa estimativa, apenas no Estado do Paraná, 2,5 milhões de toneladas excedentes são perdidos por ano.

Cepa:
Para a variedade IAC 114 a quantidade de cepas produzidas foi avaliada em 4,95 t/ha. LE BOUGET , 1996)

Descarte ou calcanhar:
Seu volume e qualidade dependem da cultivar e da idade da raiz, sendo em média de 5 a 75 Kg/t de raiz, com 55-60% de umidade.

Folhas:
O desperdício das folhas de mandioca, é grande em todas as regiões do Brasil. No norte/nordeste as folhas são perenes mas no sudeste, o frio e a seca provocam sua queda antes do período da colheita das raízes. Para o Paraná, que segundo dados da Secretaria da Agricultura, ocupa o terceiro lugar entre os estados brasileiros produtores de mandioca, 158 000 ha são ocupados com a cultura e estima-se que nessa mesma área são perdidas mais de 178 000 t de folhas a cada ano. Resultados prévios obtidos na EMATER/PR por PEQUENO (1994) na época de maior produção de folhas, mostram que em condições de ensaio é possível obter até 1,11 g de folhas desidratadas por folha fresca. Considerando-se o número de folhas produzidas por planta e por hectare, o mesmo autor calculou que é possível obter cerca de 2 250 Kg de farinha por ha, considerando-se que as folhas sejam colhidas, antes das raízes.

Farelo:
Para obter uma estimativa da produção de farelo junto às indústrias brasileiras, propõe-se considerar a produção estimada de fécula de mandioca no Brasil em 200 000 toneladas /ano e de 30 000 toneladas /ano em polvilho azedo. As indústrias de fécula apresentam uma forte regionalidade, localizando-se, com exceção de uma, nos Estados de São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Mato Grosso do Sul, de forma que o resíduo tende a acumula-se nessa região.

Tabela 24.2
Quantidade avaliada de farelo produzida por ano no Brasil

Indústria	Farelo úmido em toneladas	Farelo seco em toneladas
Fecularias	84 140	12 900
Polvilho azedo	12 621	1 935
Total	**96 761**	**14 835**[1]

[1]Representando 11 130 toneladas de fécula residual

Fonte: CERAT(1996),CEREDA (1994)

24. 4. POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS RESÍDUOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DA MANDIOCA

• MANIPUEIRA

Tabela 24.3
Opções de uso e tratamento da manipueira

Formas de Uso	Local Pesquisado	Fase de Desenvolvimento	Dificuldades
Fertirrigação	FCA/UNESP/Botucatu UEL/Londrina FE/UNESP/Ilha Solteira CERAT/UNESP/Botucatu	Em aplicação por algumas indústrias. CETESB chegou a aceitar projetos sem maiores avaliações.	Esta sendo analisado o impacto sobre microflora solo e salinidade
Digestão anaeróbia Fase única	Diversos	Desativados	Estabilizar processo
Digestão anaeróbia Separação fases	CERAT/Botucatu UEM/Maringá	Piloto em Minas Gerais, Paraná e Santa Maria da Serra, SP.	Acompanhamento local
Álcool	CERAT/UNESP	Avaliado	Enzima pectinase
Produção de acido cítrico	CERAT/Botucatu FC/UNESP/Bauru UFPR/Curitiba	Avaliado/laboratório	Influencia de cianeto
Produção aromas e surfactante	CERAT/Botucatu UNICAMP/Campinas	Avaliado/Laboratório	Rendimento
Defensivo agrícola	UFPR/Curitiba UFCE/Fortaleza	Em avaliação no campo	Difusão Comprovação
Herbicida	FCA/UNESP/Botucatu UFCE/Fortaleza UEL/Londrina	Em avaliação	Falta Comprovação
Biomassa protéica	FCA/UNESP/Botucatu Literatura internacional	Avaliação em laboratório	Custo

Fonte: CERAT/UNESP , 2000

Restrições ainda existentes:

- Caracterização mais completa, em nível molecular;
- Estudo do impacto no solo: salinidade e microflora;
- Detalhamento da degradação do cianeto no solo;
- Acompanhamento de pilotos em indústrias.

• FARELO

O maior problema para utilização mais geral do farelo é seu elevado teor de umidade, que inviabiliza o transporte. Com isso, as opções de uso ficam mais reduzidas. Algumas indústrias possuem sistema de pré-secagem, em prensas contínuas, proporcionando farelo com cerca de 50% de umidade. A secagem completa se faz em "Flash dryer", no mesmo equipamento que seca a fécula, ou em fornos do tipo que seca a farinha. O custo é elevado.

Na maioria das indústrias o farelo úmido é doado. Apenas 3 indústrias o secavam, 2 em "flash dryer" e uma em fornos de farinha. Segundo os empresários, a secagem é antieconômica, uma vez que a utilização prevista para esse tipo de material é a alimentação animal, direta ou na composição de rações. Um modelo de terceirização da secagem foi introduzido em Cândido Mota, SP, aproveitando as farinheiras ociosas. O produto seco está sendo vendido para as mineradoras em Minas Gerais.

O conteúdo microbiano do farelo é baixo e o produto não é incompatível com uso humano e poderia substituir outras fontes de fibras utilizadas na alimentação brasileira, principalmente do habitante da região centro-sul, que apresenta grande incidência de casos de constipação intestinal, pressão alta e obesidade.

Diversas linhas de pesquisa estão sendo conduzidas no CERAT, na área de valorização desse resíduo, entre elas: aumento teor nitrogênio por processos químicos ou biológicos, produção de cogumelos comestíveis, ensilagem, produção de álcool fino, extração do amido residual por processo físico (moagem a seco) ou biológico (enzimático), produção de ciclodextrinas, produção de xaropes, elaboração de embalagens rígidas biodegradáveis, farinha de mandioca "light", enchimento para comprimidos, briquetes de carvão vegetal, etc.

Tabela 24.4
Opções de uso do farelo

Formas de Uso	Local Pesquisado	Fase de Desenvolvimento	Dificuldades
Alimentação animal Direta ou ensilagem	FMVZ – UNESP/Botucatu	Em aplicação e pesquisa por mercado	Transporte
Alimentação animal Confecção de ração	Diversos	Em aplicação	Custo
Alim. animal, enriquecido químico	ESAL, Lavras	Piloto	Custo
Enriquecimento biológico/bolores	Diversos	Avaliado/piloto	Custos e dificuldades de aeração
Enriquecimento biológico/leveduras	USALQ/Piracicaba	Avaliado/laboratório	Custo de secagem
Álcool fino	CERAT/Botucatu	Em avaliação/laboratório	Viscosidade
Ciclodextrina	CERAT/Botucatu	Em avaliação/laboratório	Extração
Enzimas	CERAT/Botucatu ESALQ/USP/Piracicaba	Avaliado/laboratório	Aumento de escala
Farinha light	CERAT/Botucatu	Avaliado/laboratório	Custo
Farinha/fibra	FM/Botucatu	Avaliado/laboratório	Calórico
Cereal desjejum	CERAT/Botucatu	Avaliado/laboratório	Mercado
Embalagem rígida e expandida	CERAT/Botucatu e	Piloto e Produção	Equipamento
Recheio para comprimidos	F.F./UNESP/Araraquara Branqueado ou não	Avaliado/laboratório Comparação com bagaço de cana	Útil como desagregante
Hidrólise açucares	CERAT/Botucatu	Avaliado/laboratório	Viscosidade
Briquetes	CERAT/Botucatu	Avaliado/piloto	Briquetador
Enriquecimento biológico	Vários países	Viável Avaliado/laboratório	Custos
Extração da fécula a seco	CERAT/Botucatu – ITAL	Avaliado/laboratório	Qualidade amido
Extração enzimática	CERAT/Botucatu – ITAL	Viável Avaliado/laboratório	Usos
Papelão	CERAT/Botucatu e ESALQ	Avaliado/laboratório Viável para fabricação de papel triplex e fibrocimento	Alto teor de amido
Purificação de minérios	Diversos USP/São Paulo	Uso industrial	Mercado reduzido

Fonte: CERAT/UNESP (2000)

RESTRIÇÕES AINDA EXISTENTES

- Processo ou equipamento economicamente viável para secar o farelo, alguns equipamentos estão disponíveis no mercado mas custo é elevado e são de baixa qualidade. Talvez o metano no tratamento anaeróbio possa ser usado mas depende de cálculos teóricos sobre a necessidade de energia necessária para secar o farelo;
- Caracterização morfológica e química das fibras. Acompanhar a morfologia da raiz para verificar como se dá o aparecimento das células espessadas do parênquima;
- Verificar se no farelo restam fenólicos

• FOLHAS

As folhas de mandioca são ricas em vitaminas A e C, minerais e proteína. Se a deficiência energética e protéica na alimentação humana constituem grave problema em muitos países e têm sido bastante abordadas pela pesquisa, a deficiência em micro elementos e vitaminas muitas vezes passam despercebidas, embora se constitua em barreira para assimilação de outros nutrientes. A utilização de alimentos que por preconceito ou desconhecimento não são empregados normalmente na alimentação humana costuma representar uma vantagem adicional pela economia que representa. Neste aspecto enquadra-se a utilização de folhas na alimentação humana. As folhas da mandioca como alimento humano, foram pouco estudadas no Brasil, embora em diversos países entre os quais a África, sejam utilizadas com esse propósito. Apenas na região norte do país ocorre o consumo popular das folhas cozidas, para elaborar a maniçoba. A proposta para seu aproveitamento tem sido em alimentação animal, para o que algumas práticas agrícolas, como a poda, tem sido estudadas. A pesquisa tem procurado estabelecer a influencia da poda sobre a quantidade e qualidade das raízes, principalmente sobre o teor de fécula.

A possibilidade de consumo de folhas desidratadas de mandioca em alimentação humana é recente. Não há ainda cálculos do custo da obtenção desse material mas seria possível obter uma renda complementar para os pequenos agricultores, por sua simplicidade. A colheita manual proporcionaria a fixação da mão de obra volante, pois deverá ser feita mensalmente para proporcionar maior massa foliar sem maiores prejuízos para a planta e as raízes. O custo de produção dessas folhas deverá ser estabelecido. Através do estudo econômico, haveria possibilidade de que pequenas indústrias se instalem para aproveitar essa matéria prima, proporcionando empregos em regiões carentes e justifican-

do que a complementação alimentar não seja feita simplesmente pela distribuição de vitaminas e complementos nutricionais a uma comunidade dependente.

A proposta de utilização na forma desidratada por processo térmico da farinha de folhas, permite concentrar a fração protéica mas conduz a outros problemas, como a perda de vitaminas, a retenção do cianeto, manutenção dos fenólicos e o elevado teor de fibras responsáveis por fatores antinutricionais. Aminogramas realizados em cultivares do Paraná, mostraram que a não ser para os sulfurados, os demais aminoácidos encontram-se acima dos teores recomendados pela FAO/WHO, principalmente em caso de recomendação para adultos. Em comparação com ração de caseína, obteve-se uma Digestibilidade de 67,78 % para a ração de folha de mandioca, sendo que a de caseína apresentou 95,12%. A melhor opção seria a extração da fração protéica, em processo de baixo custo, com a trituração, fermentação e separação a borra.

Caso não se consiga um produto desidratado com boas características alimentícias, uma alternativa para aproveitar essa proteína seria a produção de hidrolisados. O fracionamento da proteína das folhas de mandioca poderá proporcionar material de boas características nutricionais e plásticas, cujos resíduos poderiam ser utilizados em alimentação animal ou processos biossintéticos.

Tabela 24.5
Opções de uso das folhas

Formas de Uso	Local Pesquisado	Fase de Desenvolvimento	Dificuldades
Consumo humano Cozida	Vários países e norte do Brasil	Em aplicação	Aspectos regionais
Consumo humano Desidratada	CNPMF/EMBRAPA CERAT/UNESP Varias regiões do Brasil	Industrias artesanais Piloto em Instituições de Pesquisa Industrialização caseira	Efeito antinutricional das fibras
Extração proteína	CERAT/UNESP	Em andamento	Pesquisa
Alimentação animal	Uso generalizado mas descontínuo	Em aplicação	
Alimentação animal Componente ração	Esparso	Em aplicação Promissor em granjas de aves	Falta de organização do setor
Alimentação bicho da seda	UFCE/Fortaleza	Em avaliação	Desconhecidas

Fonte: CERAT/UNESP, 2000

RESTRIÇÕES AINDA EXISTENTES

- Para consumo direto, a existência de fibras em quantidade, o que provoca ação antinutricional;
- Para consumo animal, falta organização do setor;
- De forma geral, faltam informações sobre a viabilidade econômica do investimento e impacto sobre a produção de raízes.

OUTROS RESÍDUOS SÓLIDOS

O descarte, juntamente com a massa ou farelo, varredura e crueira, poderão ser usados "in natura", para composição de ração animal, podendo constituir receita para a indústria. As cascas. embora passíveis de tratamento por digestão anaeróbia poderão ser empregadas em fins mais nobres, como adubo ou alimentação animal.

24.5. PROPOSTAS PARA ÁREA DE USO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS EM INDUSTRIALIZAÇÃO DE TUBEROSAS AMILÁCEAS

- Estabelecer uma nomenclatura internacional para identificar resíduos das diferentes matérias primas;
- Reunir, propor e modificar métodos para adequá-los ao produto a ser analisado;
- Reunir e sistematizar a literatura sobre a área;
- Divulgar informações sobre os resíduos e as utilizações potenciais.

CITAÇÕES BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, M.; CARDOSO, E.M.R.; GONGALVES, W.M.F.; BARRIGA, J.P.; MAIA, J.G.; BARBOSA, W.C. Utilização do tucupi na coagulação do látex da seringueira. Com. Téc. Empr. Bras. Pesqu. Agropec., Belém, v.10, p.1-13, 1978.

AHMED, S.Y.; GHILDYAL, N.P.; KUNHI, A.A.; LONSANE, B.K. Confectioner's syrup from tapioca processing waste. Stach/Starke, Weinheim, v.35, f.12, p.430-2, 1983.

ANRAIN, E. Tratamento de efluentes de fecularia em reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA AMBIENTAL, 12. Balneário de Camburiu, 1983. Balneário de Camburiu, Fundação de

Amparo Tecnologia e ao Meio Ambiente, Anais ... p.1-21, Florianópolis, , 1983.

BALAGOPAL, C.; MAINI, S.B.; HRISHI, N. Microbial treatment of starch factory effluents and the production of single cell protein. J. Root Crops , v.3, f.2 , p.47-50, 1977.

BANZON, J.; FULMER, E.I.; UNDERKIFLER, L.A. Fermentative utilization of cassava. I - The butyl-acetonic fermentation. Iowa Acad. Sci ., v.48 , p.233-6, 1941.

BANZON, J.; FULMER, E.I.; UNDERKOFLER, L.A. Fermentative utilization of cassava. II - The production of ethanol. Iowa State College J. Sci., v.23, p.219-35, 1949.

BARANA, A. C. Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica. Tese de Doutorado, 2000. 95p. Faculdade de Ciências Agronômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BRANCO, S.M. Investigations on biological stabilizations of toxic wastes from manioc processing. Prog. Wast. Tech ., v.11, f.6 , p. 51-4, 1979.

CEREDA, M. P. et al. Tratamiento anaeróbio en dos fases de suspensiones amiláceas I - Fase acidogênica. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment., v.26, p.101-8, 1986.

CEREDA, M. P. Resíduos da industrialização mandioca no Brasil. Ed. Paulicéia., São Paulo, 1994, 174 p.

CEREDA, M.P. A agua residual das feculartas. O Estado de São Paulo , São Paulo, 18 Jun.1972. Supl. Agr.. p.5

CEREDA, M.P. & FIORETTO, A.M.C. Potencial de utilização de água de fecularias. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 2. Cruz das Almas, 1983.

CEREDA, M.P. et al. Tratamento anaeróbio em duas fases, de suspensões amiláceas II. Fase metanogênica. Influência da adição de CN. Rev. Microbiol., v.21, p.73-8, 1990.

CEREDA, M.P.; FIORETTO, A.M.C.; WOSIACKI, G.; SICHIERI, V.L.F.S. Parâmetros de crescimento de duas cepas de *Trichosporon* sp. SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO, 6. Fortaleza, 1984.

CEREDA, M.P.; MOTTA, L.C.; TAKAHASHI, M. Utilização da manipueira da mandioca (*Manihot esculenta*), em digestão anaeróbia. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 5. Fortaleza, 1988.

DAMASCENO, S. Cultivo de *Geotrichum fragrans* em manipueira, 1999, 114 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

FABRICAÇÃO DE TIJOLOS COM MANIPUEIRA. EMBRATER, Brasília, 1982 (Fichário de Tecnologias Adaptadas no-12, EMBRATER, T273).

FERNANDES, Jr, A. Ocorrência de instabilidade e seu controle em digestão anaeróbia de manipueira, em reator de banca de mistura completa. Botucatu, 1989. Tese (Mestrado - Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP). 118p.

FIORETTO, A.M.C. Viabilidade de cultivo de *Trichosporon* sp em manipueira. Botucatu, 1987. Tese (Mestrado) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

FIORETTO, A.M.C.; CEREDA, M.P. Biomassa de *Trichosporon* sp. I - Seleção do pH em cultivo submerso agitado. Energ. Agric. , Botucatu, v.2, f.2 , p.39-43, 1987.

FIORETTO, A.M.C.; CEREDA, M.P. Cultivo de *Trichosporon* sp em meio semilíquido elaborado com resíduos de industrias de processamento de mandioca. Energ. Agric., Botucatu, v.3, f.2, p.39-43, 1988.

FIORETTO, A.M.C.; WOSIACKI, G.; BRASIL, O.G.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa oleaginosa de *Trichosporon* sp a partir de amido. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA; 13. São Paulo, 1985.

GABARDO, M. T. (1981) - Tratamento de despejos de fecularia por lagoa anaeróbia e aerada em série. XI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza - CE, 20 a 25 de setembro de 1981.

GOLDMAN, G.H.; FUNGARO, M.H.P.; CEREDA, M.P. & AZEVEDO, J.L. de. Cassava residues induces high produccion of cellulolytic enzymes. Rev Microbiol , v.20 f.2, p.246-8, 1989.

HESS, M.L. Tratamento de despejos de fecularias de mandioca por oxidação biológica. Rev. DAE , São Paulo, v. 23, f.46 , p. 29-35, 1962.

KAMMM, R.; MEACHAM, K.; HARROW, L.S.; MONROE, F. Evaluating new business opportunities from food wastes. Fd. Technol., London, v. 31 , p. 31-40, 1977.

KOK, E.A. O farelo de raspas de mandioca na alimentação dos animais. Bol. Ind. Anim ., São Paulo, v.5, f.4 , p.195-205, 1942.

KUNHI, A.A.M.; GHILDYAL, N.P.; LONSANE, P.K.; AHMED, S.Y.; NATARAJAN, C.P. Studies oun production of alcohol from saccharified waste residue from cassava starch processing industries. Starch Starke, Whinheim, v.33 , p.275-9, 1981.

LACERDA, T. H. M. Estudo cinético da fase metanogênica de substrato de manipueira. Botucatu, 1991. 114p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

LAMO, P.R.; MENEZES, T.J.B. Bioconversão das águas residuais do processamento de mandioca para produção de biomassa. Col. Int. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 10 , p. 1-14, 1979.

MOTTA, L.C.; CEREDA, M.P. Utilização de manipueira da mandioca (*Manihot esculenta* , Crantz) em digestão anaeróbia. Energ. Agric., Botucatu, v. 3, f.2 , p. 23-31, 1988.

MOTTA, L.C.; CEREDA, M.P. & TAKAHASHI, M. Utilização da casca de mandioca (*Manihot esculenta* , Crantz) em digestão anaeróbia. Energ. Agric. , Botucatu, v. 2, f.1, p. 25-33, 1987.

PONTE, J.J. da & FRANCO, A. Implicações da manipueira - um nematicida não convencional - sobre a população rizobiana do solo (nota previa). In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 7, Piracicaba, 1983. Trabalhos apresentados , Piracicaba, SBN, p.125-8, 1983.

PONTE, J.J. da & FRANCO, A. Influencia da idade da manipueira na preservação do potencial nematicida do composto (nota previa). In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE

NEMATOLOGIA, 7, Piracicaba, 1983. Trabalhos apresentados , Piracicaba, SBN, p.237-40, 1983.

PONTE, J.J. da & FRANCO, A. Manipueira, um nematicida não convencional de comprovada potencialidade. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA, 5, Londrina, 1981. Trabalhos apresentados , Piracicaba, SBN, p.25-33, 1982.

PONTE, J.J. da; TORRES, J.; FRANCO, A. Investigações sobre uma possível ação nematicida da manipueira. Fitopatol. Bras. , v.4, f.3 , p.431-434, 1979.

RATLEDGE, G.R. Resources conservation by novel biological processes. I - Grow fat from wastes. Chem. Soc. Rev ., London, v.8, f.2 , p.283-97, 1979.

SAMSON, G.D. (1951) - Liquid glucose from cassava starch. Acta Med. Phillips, v.8, p.43-8.

SICHIERI, V.L.F.S. Produção e caracterização dos lipídeos da biomassa de *Trichosporon* sp. 1986. Tese (Mestrado) Universidade Estadual de Londrina. Londrina.

SICHIERI, V.L.F.S.; WOSIACKI, G.; SILVA, R.S.F.S.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa de *Trichosporon* sp isolado do liquido residual de fecularias. I - Equação polinomial preditiva. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 13. São Paulo, 1985.

SICHIERI, V.L.F.S.; WOSIACKI, G.; SILVA, R.S.F.S.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa de *Trichosporon* sp isolado do liquido residual de fecularias. II - Validação da equação polinomial preditiva. CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA, 13. São Paulo, 1985.

SICHIERI, V.L.F.S.; WOSIACKI, G.; SILVA, R.S.F.S.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa de *Trichosporon* sp isolado do liquido residual de fecularias. III - Determinação da influência do tempo, aeração e da concentração de três nutrientes. SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO, 7, Londrina, 1986. Anais... p.22, Londrina: 1986.

SICHIERI, V.L.F.S.; WOSIACKI, G.; SILVA, R.S.F.S.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa de *Trichosporon* sp isolado do liquido residual de fecularias. IV - Determinação da influencia do binômio tempo x temperatura. SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO, 7. Londrina, 1986. Anais ... Londrina: 1986. p.22.

SICHIERI, V.L.F.S.; WOSIACKI, G.; SILVA, R.S.F.S.; CEREDA, M.P. Produção de biomassa de *Trichosporon* sp isolado do liquido residual de fecularias. V - Determinação da influencia do binômio tempo x concentração. SIMPÓSIO NACIONAL DE FERMENTAÇÃO, 7. Londrina, 1986. Anais ..., Londrina: 1986. p.24.

SUNDHADUL, M. Feasibility study on tapioca waste recovery WORKSHOP STUDY ON RECOVERY BY MICROORGANISMS. Kuala Lumpur, 1973.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. Inf. Agropec. , Belo Horizonte, v.13, f.145 , p.83-7, 1987.

TAKAHASHI, M.; CEREDA, M.P. Métodos de avaliação do rendimento da manipueira na produção de metano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 4. Balneário de Camburiu, 1986. Anais ... Balneário de Camburiu, 1986. p.72.

TAKAHASHI, M.; GULLI, V.F.B.; CEREDA, M.P. Cinética da digestão anaeróbia da manipueira através do modelo de CHEN & HASHIMOTO. CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA EM CIÊNCIAS AGRARIAS, 5. Lavras, 1985. Anais ..., Lavras, 1985.

TAKESHITA, M. Manufacture of alcohol from cassava starch waste by amylo method. J. Agric. Chem. Soc ., Japan, v.16 , p.725-30, 1940.

THAN, N.C.; WU, J.S. Treatment of tapioca starch waste waters by Torula yeast. Can. Int. Food Sci. Technol .,v. 8, p. 202-5, 1975.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M.P. Perspectivas de utilização do liquido residual de unidades de processamento de mandioca. I - Experimentos com meio de composição definida. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 5. Fortaleza, 1988. Anais ... Fortaleza, 1988. p.12.

WOSIACKI, G.; CEREDA, M.P. Perspectivas de utilização do liquido residual de unidades de processamento de mandioca. II - Experimentos com efluentes industriais. CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 5. Fortaleza, 1988. Anais ... Fortaleza: 1988. p.13.