



**Produção de etanol a partir de matéria-prima
amilácea: mandioca**

Aline Barreto Oliveira

Monografia em Engenharia de Bioprocessos

Orientadores

Maria Antonieta P. Gimenes Couto, D.Sc.

Eliana Mossé Alhadef, D.Sc.

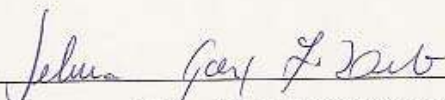
Julho de 2009

**Produção de etanol a partir de matéria-prima amilácea:
mandioca**

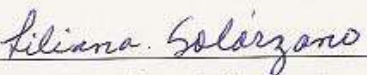
Aline Barreto Oliveira

Monografia em Engenharia de Bioprocessos submetida ao Corpo Docente da
Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de
Engenheira de Bioprocessos

Aprovado por:



Selma Gomes Ferreira Leite, D.Sc.


Maria José de O.C. Guimarães, D.Sc.


Judith Liliana Solórzano Lemos, D.Sc.

Orientado por:


Maria Antonieta P. Gimenes Couto, D.Sc.


Eliana Mossé Alhadef, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Julho de 2009

Oliveira, Aline Barreto.

Produção de etanol a partir de matéria-prima amilácea: mandioca / Aline Barreto Oliveira. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2009.

xii, 95 f.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2009.

Orientadores: Maria Antonieta P. Gimenes Couto e Eliana Mossé Alhadeff.

1. Etanol. 2. Matéria-prima amilácea. 3. Mandioca. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Maria Antonieta P. Gimenes Couto (D.Sc.) e Eliana Mossé Alhadeff (D. Sc.).

*À minha mãe, pelo amor incondicional e palavras de apoio
e carinho, mesmo nos momentos mais difíceis.*

“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à minha família, em especial à minha mãe, avó e irmão, pelo amor, apoio e compreensão.

Gostaria de agradecer também ao meu namorado Antônio Luiz pelo carinho, paciência e compreensão dos muitos momentos de ausência.

Às minhas orientadoras, pela dedicação, incentivo e conhecimentos passados durante a elaboração deste trabalho.

Aos colegas de graduação pelo apoio e momentos de descontração nos corredores da Escola de Química, em especial à Camila Fernandez pela grande ajuda e ótimos conselhos.

À professora Selma pela paciência e disposição para ajudar toda vez que eu aparecia em seu gabinete com algum problema ou dúvida em relação à graduação.

Ao diretor e professor da Escola de Química, Luiz Antonio d'Avila por toda a ajuda prestada no final da minha graduação.

Aos professores da Escola de Química pela excelente formação dada.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia de Bioprocessos.

**PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE MATÉRIA-PRIMA AMILÁCEA:
MANDIOCA**

Aline Barreto Oliveira

Julho, 2009

Orientadoras: Maria Antonieta P. Gimenes Couto, D.Sc.

Eliana Mossé Alhadef, D. Sc.

O aumento da demanda mundial de energia aliado à conscientização do esgotamento das reservas de petróleo e às preocupações com aspectos ambientais e sociais tem levado vários países a investir no desenvolvimento e utilização de fontes alternativas de energia. Estimativas projetam que, em vinte anos, cerca de 30% do total de energia consumida pela humanidade será através da bioenergia, sendo o mercado do etanol o mais promissor.

O Brasil, um dos maiores produtores mundiais de etanol, sendo a principal matéria-prima a cana-de-açúcar, poderia obter álcool etílico a partir de outras biomassas a fim de complementar sua matriz energética e aumentar sua participação no mercado internacional de etanol, aumentando o volume exportado.

Neste contexto, a mandioca apresenta-se como matéria-prima potencial, uma vez que o país é o segundo maior produtor mundial deste tubérculo. A produção de etanol a partir de mandioca apresenta rendimentos comparáveis ao do processo a partir de cana-de-açúcar, além de promover a inclusão social, gerando empregos e aumentando a renda familiar de pequenos produtores rurais, principalmente das regiões Norte e Nordeste, maiores produtoras de mandioca do Brasil. Além disso, o álcool de mandioca também seria uma boa solução para a geração de energia elétrica em comunidades isoladas, principalmente na região Amazônica, onde a cultura desta raiz é amplamente disseminada.

Abstract of the Monograph presented to Escola de Química/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Bioprocess Engineer

ETHANOL PRODUCTION FROM STARCHY RAW MATERIAL: CASSAVA

Aline Barreto Oliveira

July, 2009

Supervisors: Maria Antonieta P. Gimenes Couto, D.Sc.

Eliana Mossé Alhadef, D. Sc.

The increasing global demand for energy combined with the awareness of the depletion of oil reserves and concerns with environmental and social aspects has led several countries to invest in the development and use of alternative energy sources. Estimates project that in twenty years, about 30% of total energy consumed by humanity will be through bioenergy, being the ethanol market the most promising.

Brazil, one of the largest global producers of ethanol, being sugar cane the main raw material, could obtain alcohol from other biomass to complement its energy matrix and increase its participation in the international ethanol market, increasing the volume exported.

In this context, cassava is considered as a potential raw material, since the country is the second largest world producer of the tuber. The yield of ethanol obtained from cassava is comparable to the process from sugar cane, besides promoting social inclusion, creating jobs and increasing income of small farmers, mainly from North and Northeast regions, the biggest producers of cassava in Brazil. Moreover, the alcohol of cassava would be a good solution for the generation of electricity in isolated communities, mainly in the Amazon region, where the culture of this root is widespread.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Capítulo 1 - Introdução | 13 |
| Capítulo 2 – Motivação para a busca de fontes alternativas de energia | 14 |
| Capítulo 3 – A mandioca | 19 |
| 3.1. Características | 19 |
| 3.2. Variedades | 22 |
| 3.3. Cadeia produtiva da mandioca no Brasil | 23 |
| 3.4. Sistemas produtivos | 24 |
| 3.5. Cooperativas e associações de produtores | 27 |
| 3.6. Arranjos produtivos locais (APLs) | 28 |
| 3.6. Importância social da mandioca no Brasil | 29 |
| Capítulo 4 – Mercado da mandioca | 31 |
| 4.1. Mercado mundial da mandioca | 31 |
| 4.2. Mercado da mandioca no Brasil | 36 |
| 4.3. Importações e exportações brasileiras da mandioca | 41 |
| Capítulo 5 – Mercado de etanol | 43 |
| Capítulo 6 – O álcool de mandioca | 46 |
| 6.1. Histórico | 46 |
| 6.2. Situação atual do álcool de mandioca | 47 |
| 6.3. Produtos | 49 |
| 6.4. Processo | 51 |
| 6.5. Aproveitamento de resíduos da indústria de álcool de mandioca | 74 |
| 6.6. Balanço energético global da produção de etanol de mandioca | 79 |
| Capítulo 7 – Análise do potencial da mandioca como matéria-prima para a produção de etanol | 81 |
| 7.1. Comparação entre o álcool de mandioca e o álcool de cana-de-açúcar | 81 |
| 7.2. Possível importância social do álcool de mandioca | 84 |
| 7.3. Inovações tecnológicas na produção de álcool de mandioca | 85 |
| 7.4. A discussão alimento x combustível | 86 |
| 7.5. A análise estrutural da indústria de álcool de mandioca | 87 |
| Capítulo 8 – Considerações finais | 96 |
| Capítulo 9 - Referências bibliográficas | 98 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Possibilidades de utilização de biomassa para a geração de energia..... | 18 |
| Figura 2. Estrutura da Mandioca (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) | 19 |
| Figura 3: Glicosídeos cianogênicos: linamarina e lotaustralina | 22 |
| Figura 4: Ambiente Organizacional da Cadeia da Mandioca..... | 24 |
| Figura 5: Molécula de glicose | 52 |
| Figura 6: Estrutura da amilose..... | 53 |
| Figura 7: Estrutura da amilopectina | 53 |
| Figura 8: Diagrama de blocos da produção de álcool a partir de mandioca: (a) Hidrólise ácida; (b) Hidrólise enzimática..... | 54 |
| Figura 9: Ação da α -amilase sobre amilose (a) e amilopectina (b)..... | 59 |
| Figura 10: Ação da β -amilase sobre amilose (a) e amilopectina (b)..... | 60 |
| Figura 11: Ação da α -amilase (setas vermelhas), β -amilase (setas verdes) e da amiloglicosidase (setas azuis) sobre o amido..... | 61 |
| Figura 12: Processo descontínuo de fermentação alcoólica com recirculação de leveduras. | 66 |
| Figura 13: Processo contínuo de fermentação alcoólica com recirculação de leveduras..... | 67 |
| Figura 14: Produção de álcool hidratado por processo contínuo | 71 |
| Figura 15: Produção de álcool anidro por processo contínuo..... | 72 |
| Figura 16: Balanços de massa do etanol, água, CO ₂ e efluentes no processamento industrial da mandioca para produção de etanol..... | 73 |
| Figura 17: Resíduos gerados durante a obtenção do álcool de mandioca | 75 |
| Figura 18: Modelo das Cinco Forças de PORTER | 88 |
| Figura 19: Análise ambiental da indústria de álcool de mandioca..... | 95 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Matriz energética mundial..... | 27 |
| Gráfico 2: Matriz energética brasileira..... | 28 |
| Gráfico 3: Maiores produtores mundiais de mandioca..... | 31 |
| Gráfico 4: Quantidades produzidas (em toneladas) pelos maiores produtores mundiais de mandioca..... | 32 |
| Gráfico 5: Produção (em toneladas) dos maiores produtores de mandioca desde a década de 70 | 33 |
| Gráfico 6: Maiores importadores mundiais de mandioca..... | 34 |
| Gráfico 7: Produção brasileira de mandioca desde a década de 70..... | 37 |
| Gráfico 8: Representatividade das regiões do Brasil na produção de mandioca..... | 38 |
| Gráfico 9: Importação de derivados de mandioca | 42 |
| Gráfico 10: Produção mundial de etanol..... | 43 |
| Gráfico 11: Consumo mundial de etanol..... | 44 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Composição nutricional da raiz e folha de mandioca..... | 21 |
| Tabela 2: Aplicação de derivados da raiz de mandioca..... | 27 |
| Tabela 3: Maiores exportadores mundiais de mandioca | 35 |
| Tabela 4: Maiores consumidores de mandioca (dados de 2003)..... | 35 |
| Tabela 5: Maiores consumidores <i>per capita</i> de mandioca (dados de 2003) | 36 |
| Tabela 6: Áreas destinadas à colheita e colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção de mandioca, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação produtoras no Brasil (dados de 2006)..... | 40 |
| Tabela 7: Os 10 principais estados produtores de mandioca no Brasil | 41 |
| Tabela 8: Composição da mandioca em massa seca | 52 |
| Tabela 9: Comparação de rendimento de hidrólise com ácidos, enzimas comerciais, microrganismos (processo amilo) e malte..... | 61 |
| Tabela 10: Produtividade de alguns processos de fermentação alcoólica | 64 |
| Tabela 11: Rendimento teórico de etanol de derivados de mandioca.. .. | 69 |
| Tabela 12: Composição da água de lavagem das raízes da farinha Plaza, Santa Maria da Serra, SP, com 99,46% de umidade..... | 76 |
| Tabela 13: Custos energéticos da etapa agrônômica e industrial e outros parâmetros pertinentes ao balanço energético para produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, mandioca e milho. | 80 |
| Tabela 14: Comparativo entre o álcool de mandioca e de cana-de-açúcar. | 81 |

Capítulo 1

Introdução

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a potencialidade da mandioca como matéria-prima para a produção de etanol, estudando sua viabilidade, possíveis vantagens e benefícios decorrentes da utilização deste tubérculo como forma de complementar a matriz energética brasileira. A análise desta potencialidade será embasada nos capítulos apresentados a seguir.

No Capítulo 2 serão discutidas as motivações para a investigação de novas fontes de energia e o importante papel da biomassa neste contexto.

Nos Capítulos 3 e 4, serão abordadas as características, variedades, cadeia produtiva e importância da mandioca, além dos seus mercados nacional e internacional.

Já no Capítulo 5 será feito o estudo do mercado brasileiro e mundial de etanol a fim de estudar a produção e a demanda do mesmo como combustível.

O Capítulo 6 contém um breve histórico do etanol de mandioca, sua situação atual no Brasil e no mundo, os produtos obtidos na fermentação alcoólica e uma revisão bibliográfica sobre o processo para obtenção de etanol a partir de matérias-primas amiláceas, abordando ainda os resíduos gerados neste processo e suas potenciais utilizações como forma de reduzir custos de produção.

O Capítulo 7 consiste na avaliação do potencial de mandioca como matéria-prima para a produção de etanol, sendo feita a comparação entre o etanol produzido a partir desta matéria-prima e o obtido de cana-de-açúcar, as inovações tecnológicas mais recentes, seus possíveis benefícios sociais, além do estudo da análise desta potencial indústria.

Por fim, as considerações finais são apresentadas no Capítulo 8 e as referências bibliográficas, no Capítulo 9.

Capítulo 2

Motivação para a busca de fontes alternativas de energia

A preocupação mundial com o meio ambiente e o aumento dos preços internacionais do petróleo abriram uma janela de oportunidades sem precedentes para o Brasil no campo dos combustíveis limpos. Hoje, o país domina a tecnologia dos chamados biocombustíveis, um mercado em ascensão e que no momento faz parte da agenda de discussões de qualquer país preocupado em buscar novas fontes energéticas renováveis e menos poluentes a preços mais competitivos que os combustíveis derivados do petróleo (CARDOSO e ALVES, 2008).

O modelo tecnológico adotado pela sociedade moderna após a Revolução Industrial, iniciada na Europa no fim do século XVIII, que teve a produção e emprego de energia como um dos seus principais pilares, apoiou-se preferencial em fontes de energia provenientes de combustíveis não-renováveis, tais como carvão mineral, gás natural e petróleo.

O petróleo é a principal matéria-prima energética e industrial do planeta. Suas reservas no mundo, passíveis de serem exploradas com a tecnologia atual, somam 1,137 trilhão de barris, 78% das quais estão no subsolo dos países que fazem parte da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). O consumo anual deste combustível fóssil está estimado em 80 milhões de barris/dia (BACCHI, 2006).

Levando em conta estes números, estima-se que estas reservas serão capazes de suprir a demanda mundial apenas por aproximadamente 80 a 100 anos, se o nível atual de consumo for mantido. No entanto, estudos indicam que a demanda projetada de energia no mundo terá um aumento de 1,7% ao ano até 2030, quando a mesma deverá alcançar 15,3 bilhões de toneladas equivalentes de petróleo por ano (MUSSA, 2003 *apud* PLANO NACIONAL DA AGROENERGIA, 2005).

Neste contexto, não é admissível imaginar que toda a energia adicional requerida no futuro possa ser suprida por fontes fósseis. Além disso, pode-se prever que, mesmo antes do esgotamento das reservas, o preço do petróleo será muito elevado, o que motivará a busca por novas reservas e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Esta previsão e, principalmente, as crises do petróleo levaram os países desenvolvidos a tomar consciência da necessidade de desenvolver políticas visando um aproveitamento racional e integral dos recursos energéticos disponíveis, objetivando a redução da dependência de fontes não-renováveis de energia, em especial o petróleo. Desta forma, há uma necessidade de obter alternativas de recursos energéticos que permitam a substituição desta fonte de energia.

Em relação ao esgotamento das fontes de energias não-renováveis, o Brasil apresenta a vantagem de ser menos dependente do que a média mundial. Segundo o Ministério de Minas e Energia (2008), em 2007, 46% da matriz energética brasileira correspondiam à oferta interna de energia renovável. Essa proporção é uma das mais altas do mundo, contrastando significativamente com a média mundial, de 12,9%, e mais ainda com a média dos países da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos – OECD¹, em sua grande maioria países desenvolvidos, de apenas 6,7 % (Gráficos 1 e 2).

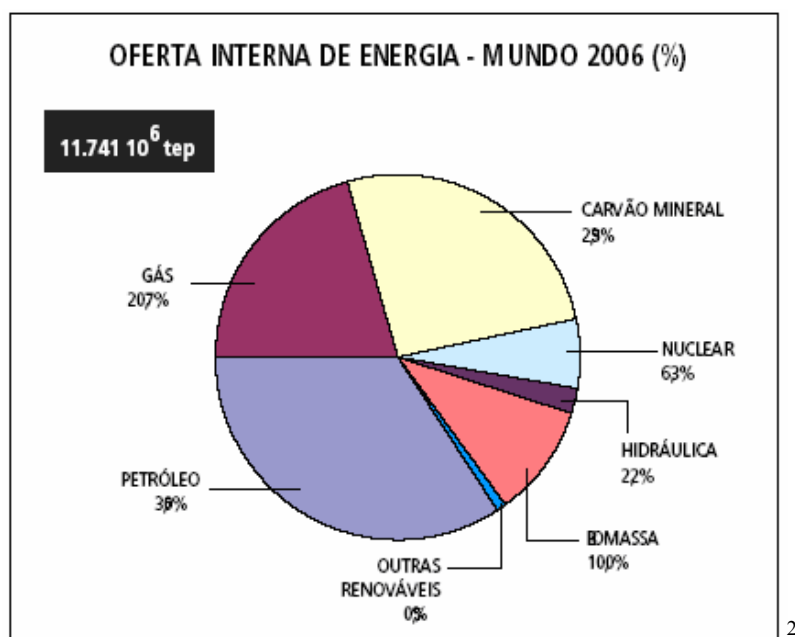


Gráfico 1: Matriz energética mundial. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2007

¹ São os seguintes os 30 países membros da *Organisation de Coopération et de Développement Économiques*: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Coreia do Sul, Dinamarca, Espanha, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia. Além desses países, também integra a OCDE a União Européia.

² TEP: Tonelada equivalente de petróleo.

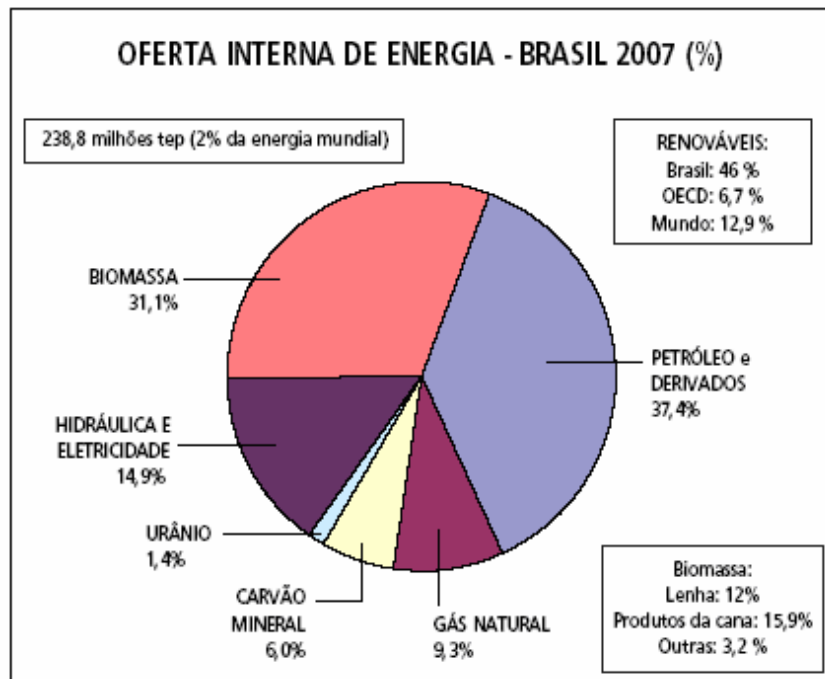


Gráfico 2: Matriz energética brasileira. Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2007.

Além da questão energética, há também a questão ambiental. A concentração de CO₂ atmosférico teve um aumento de 31% nos últimos 250 anos. Os números tendem a aumentar significativamente se as fontes emissoras de gases que causam efeito estufa (CO₂, N₂O, CH₄, Clorofluorcarbonetos, Hidrofluorcarbonetos, Perfluorcarbonetos, SF₆) não forem controladas, sendo uma das mais importantes a queima de combustíveis fósseis (GUADAGNINI, 2006).

Através do Protocolo de Kyoto, discutido e negociado no Japão em 1997 e em vigor desde Fevereiro de 2005, diversos países assumiram o compromisso de reduzir a emissão dos gases que provocam o efeito estufa, considerado, de acordo com a maioria das investigações científicas, o responsável pelo aquecimento global. Este tratado internacional propõe que os países desenvolvidos reduzam a quantidade de gases poluentes em pelo menos 5,2% até 2012 em relação aos níveis de 1990. Outros acordos como a Diretiva para a Obtenção de Eletricidade de Fontes Renováveis do Parlamento Europeu são instrumentos indutores do uso da bioenergia (BACCHI, 2006).

Neste contexto, a utilização da biomassa torna-se destaque, pois os combustíveis gerados a partir desta fonte de energia estão atrelados às questões sociais como emprego, renda e fluxos migratórios.

Biomassa é o conjunto de materiais orgânicos gerados por organismos autótrofos do reino vegetal (fitomassa) ou acumulados nos seres heterótrofos do reino animal (zoomassa) (COELHO, 1982 *apud* SOARES *et al.*, 2006).

Os organismos fotossintéticos (autótrofos) são capazes de transformar a energia solar em energia química, mediante a atuação da clorofila contida nos cloroplastos das plantas. Essa energia é retida e acumulada nos espaços intermoleculares e é liberada em processos que envolvem oxidação, redução e hidrólise.

O potencial energético da biomassa é enorme, tanto em escala mundial como no Brasil. Estimativas projetam que, em vinte anos, cerca de 30% do total de energia consumida pela humanidade será através da bioenergia (SOARES *et al.*, 2006).

Os biocombustíveis poderiam ser uma das soluções para o fornecimento de eletricidade em comunidades isoladas, o que simultaneamente pode constituir um incentivo para o desenvolvimento de atividades extrativistas sustentáveis que contribuam para o desenvolvimento destas comunidades (LORA E ANDRADE, 2004 *apud* SOARES *et al.*, 2006).

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra, etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A figura 1 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energia.

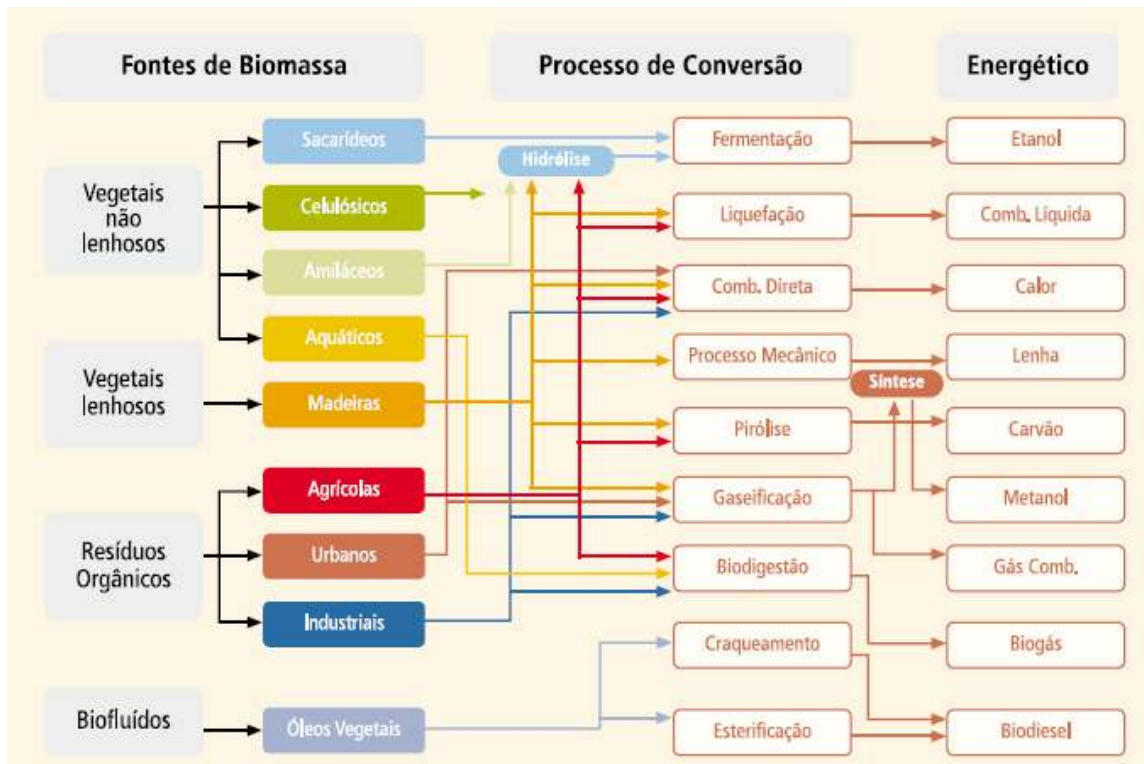


Figura 1: Possibilidades de utilização de biomassa para a geração de energia. Fonte: Balanço Energético Nacional, MME, 1982 *apud* Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), s.d..

O Brasil possui excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala devido à imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

Uma das vantagens na utilização de biomassa, vista como aspecto estratégico para o país, seriam os seus efeitos na área social, ao elevar o nível de renda das populações pobres no campo e criar um grande contingente de novos postos de trabalho, promovendo desenvolvimento e inclusão sociais.

Capítulo 3

A mandioca

3.1. Características

A mandioca consiste em uma raiz nativa do território sul-americano largamente explorada pelas sociedades pré-colombianas que, mesmo antes da chegada do europeu ao continente, já a cultivavam e a processavam. Pertence à ordem *Malpighiales*, família *Euphorbiaceae*, gênero *Manihot* e espécie *Manihot esculenta* Crantz e é a única, entre as 98 espécies conhecidas da família *Euphorbiaceae*, cultivada para fins de alimentação.

É uma planta arbustiva com muitos galhos, podendo atingir 3 m de altura, com raiz tuberculosa, comprida, espessa e com látex abundante. Produz de seis a oito raízes feculentas, com peso médio de 600 gramas por raiz, com cerca de 30 cm de comprimento por 7 cm de diâmetro. Seu ciclo pode ser de um a dois anos (CARDOSO, 2005). A figura 2 mostra a estrutura da planta de mandioca.



Figura 2. Estrutura da Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Fonte: CARDOSO, 2005.

Uma das lendas sobre a origem da mandioca conta que a filha de um chefe selvagem deu à luz uma criança a partir de uma gravidez misteriosa, que muito desgostara seu pai. No entanto, o carisma da menina, surpreendentemente branca, fez os aborrecimentos desaparecerem. Seu nome era Mani. Foi motivo de admiração e curiosidade naquela e em outras tribos, tanto sua aparência como pela precocidade com que andou e falou. Subitamente, Mani morreu com um ano de idade, deixando a todos muito tristes. A criança foi enterrada dentro da própria casa, em sepultura diariamente regada e cuidada, conforme os hábitos de seu povo. Em pouco tempo, no local de sua sepultura brotou uma vistosa planta, cujos frutos, quando ingeridos pelos pássaros, causavam-lhes uma leve embriaguez. Os índios, encantados com aquela novidade, escavaram a terra para encontrar o que julgaram ser parte do corpo de Mani, devido à sua coloração muito branca. Desta maneira, os índios aprenderam a usar a raiz e atribuíram-lhe o nome mani-óca, a casa de Mani (CASCUDO, s.d. *apud* SEBRAE, 2008).

A mandioca é favoravelmente cultivada em climas tropicais e subtropicais, com uma faixa de temperatura-limite de 20°C a 27°C, em relação à média anual. A temperatura média ideal para a atividade gira em torno de 24°C a 25°C (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA *apud* SEBRAE, 2008). A mandioca não tolera alagamentos nem congelamento do solo e se desenvolve de maneira mais produtiva sob exposição direta ao sol. Obedecidas as condições mínimas para seu desenvolvimento, a adaptação da planta aos aspectos ambientais é muito eficiente e, por isso, é considerada uma cultura rústica (SEBRAE, 2008).

A resistência da mandioca às condições climáticas é determinante na sua utilização como reserva alimentar nas regiões de grande estiagem, como é o caso do Nordeste. Por constituir grande fonte de carboidrato com baixos custos de produção, tem importância social significativa em países tropicais de baixa renda (O’HAIR, 1998 *apud* SEBRAE, 2008). De acordo com estimativas da EMBRAPA, entre 600 e 700 milhões de pessoas ao redor do mundo obtêm suas reservas habituais de carboidratos por meio da mandioca (FOLEGATTI e MATSUURA, s.d. *apud* SEBRAE, 2008).

Segundo a literatura (Tabela 1), a composição de plantas de mandioca são, em geral, bastante variáveis. A raiz da mandioca é eminentemente calórica, gerando cerca de 1.500 cal/Kg, a partir dos carboidratos (350 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 resíduos e produtos quando os equipamentos nos quais a mandioca é processada são feitos deste metal (CEREDA, 2001).

Tabela 1: Composição nutricional da raiz e folha de mandioca. Fonte: FOLEGATTI e MATSUURA, s.d. *apud* SEBRAE, 2008.

| Componentes | Raiz | Folha |
|-----------------------|-------------|--------------|
| Umidade (g/100g) | 60-65 | 70-75 |
| Carboidratos (g/100g) | 30-35 | 14-18 |
| Proteínas (g/100g) | 0,5-2,5 | 7,0 |
| Lipídios (g/100g) | 0,2-0,4 | 1,0 |
| Vitaminas | | |
| A (µg/100g) | 50 | 960-3.000 |
| B1 (µg/100g) | - | 120-250 |
| B2 (µg/100g) | - | 270-600 |
| C (mg/100g) | 25 | 29-31 |
| Niacina (mg/100g) | - | 1,7-2,4 |
| Minerais | | |
| Cálcio (mg/100g) | 50 | 300 |
| Ferro (mg/100g) | 0,9 | 7,6 |
| Fósforo (mg/100g) | 40 | 119 |

Em geral, a raiz da mandioca é branca, mas pode adquirir coloração avermelhada ou amarelada, dependendo da variedade. As mudanças também podem ser notadas no formato das folhas e do caule (SEBRAE, 2008).

Além de conter carboidratos, a mandioca é uma excelente fonte de betacaroteno, precursor da vitamina A, nas raízes de coloração amarela e de licopeno nas raízes de coloração rosada. A partir desta constatação, é possível adaptar a escolha das variedades a serem cultivadas em cada região, em função de deficiências alimentares específicas (FUKUDA, s.d. *apud* SEBRAE, 2008).

A mandioca tem grande número de usos correntes e potenciais. Além dos produtos que têm as raízes como matéria-prima básica, há produtos gerados a partir da parte aérea, constituída de folhas e hastes que são usados na alimentação animal e humana. Na alimentação animal, as folhas e as hastes são usadas na preparação de silagens e feno ou mesmo frescas. Podem também ser pelletizadas, puras ou misturadas com outros alimentos. Na alimentação humana as folhas, depois de desidratadas, são utilizadas, na forma de farinha ou diretamente, na preparação de alimentos típicos das regiões Norte e

Nordeste do Brasil. As hastes são também fonte de material de plantio (manivas) para as novas lavouras (CASTIONI; SAITO; DO VALLE, s.d.).

3.2. Variedades

Há uma grande variedade de nomes atribuídos à mandioca, alguns de cunho regionalista, outros denominando espécies diferentes da planta. Dependendo da região, pode ser popularmente conhecida como aipim, candinga, macaxeira, mandioca-brava, mandioca-doce, mandioca-mansa, maniva, maniveira, tapioca, entre outros nomes.

Desde as culturas pré-colombianas, a sabedoria popular, utilizando critérios de toxicidade e palatabilidade das raízes, tem transmitido, geração após geração, a diferença entre os dois grupos de variedades: as mandiocas bravas ou amargas e as mandiocas mansas ou doces. Nas mandiocas bravas, o sabor amargo está associado ao potencial cianogênico, ou seja, à capacidade da liberação de ácido cianídrico (HCN), substância altamente tóxica que torna esta variedade imprópria para o consumo humano ou animal. O potencial cianogênico está relacionado principalmente à presença dos glicosídeos cianogênicos lotaustralina e linamarina (Figura 3), presentes nas partes aéreas e subterrâneas da planta em concentrações diferenciadas, dependendo de fatores como idade da planta, variedade, condições ambientais como o solo, umidade e temperatura. Em presença de enzimas e de ácidos, esses glucosídeos cianogênicos sofrem hidrólise originando o ácido cianídrico – HCN (Cianogênese) (CARDOSO, 2005).

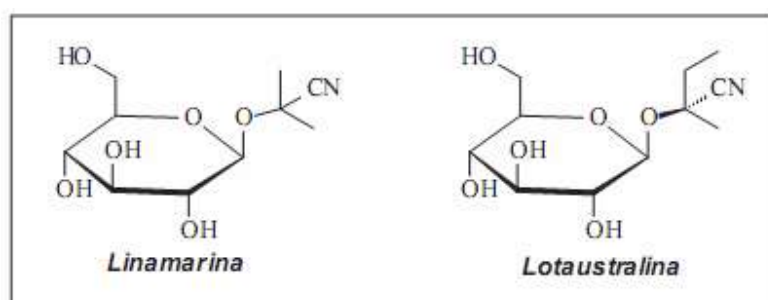


Figura 3: Glicosídeos cianogênicos: linamarina e lotaustralina. Fonte: CEREDA; CAGNON; PANTAROTTO, 2002.

Evidências revelam que o sabor amargo é perceptível a partir de 100 mg eq. HCN/kg de polpa das raízes (LORENZI *et al.*, 1993 *apud* VALLE *et al.*, 2004). As

mandiocas doces, com pouco processamento, são mais seguras para o consumo. Não há entre os grupos qualquer característica morfológica da planta que permita distingui-los (VALLE *et al.*, 2004).

As variedades bravas são utilizadas para produzir farinha, extrair amido e outros produtos, mas somente são consumidas após algum tipo de processamento industrial com efeito desintoxicante. Já as variedades mansas, conhecidas como variedades de mesa, são mais versáteis e podem ser destinadas ao processamento tal quais as variedades bravas ou consumidas após preparos mais simples como cozidas, fritas ou assadas.

No entanto, cabe destacar que as caracterizações segundo doce ou amarga não possuem grande precisão, uma vez que estas propriedades de sabor não estão necessariamente ligadas à produção dos glucosídeos cianogênicos, que são a base da toxicidade da mandioca. Portanto, é necessário fazer um criterioso estudo das variedades a fim de minimizar os riscos de intoxicação.

O fato de a cultura da mandioca ser rústica foi o fator determinante para a sua diversidade genética. Cerca de 7 mil variedades estão disponíveis para melhoramento genético, concentradas nos principais bancos de germoplasma do país: o Centro Nacional de Pesquisa de Mandioca e Fruticultura (CNPQ, da EMBRAPA), o Cenargen (da divisão Recursos Genéticos e Biotecnologia da EMBRAPA), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ – USP), em Piracicaba. A preservação desta diversidade é importante, pois permite o trabalho de melhoramento genético de mudas e garante o suprimento de cultivares adequados para cada situação de cultivo (PEREZ, 2007 *apud* SEBRAE, 2008).

3.3. Cadeia produtiva da mandioca no Brasil

Como dito anteriormente, a mandioca pode ter duas finalidades, a mandioca de mesa ou a mandioca destinada à indústria. Apesar de haver alguns componentes comuns, estas duas possibilidades possuem dinâmicas de mercado bastante distintas, caracterizadas pela participação de agentes exclusivos. O ambiente organizacional da cadeia produtiva da mandioca pode ser observado na figura 4.

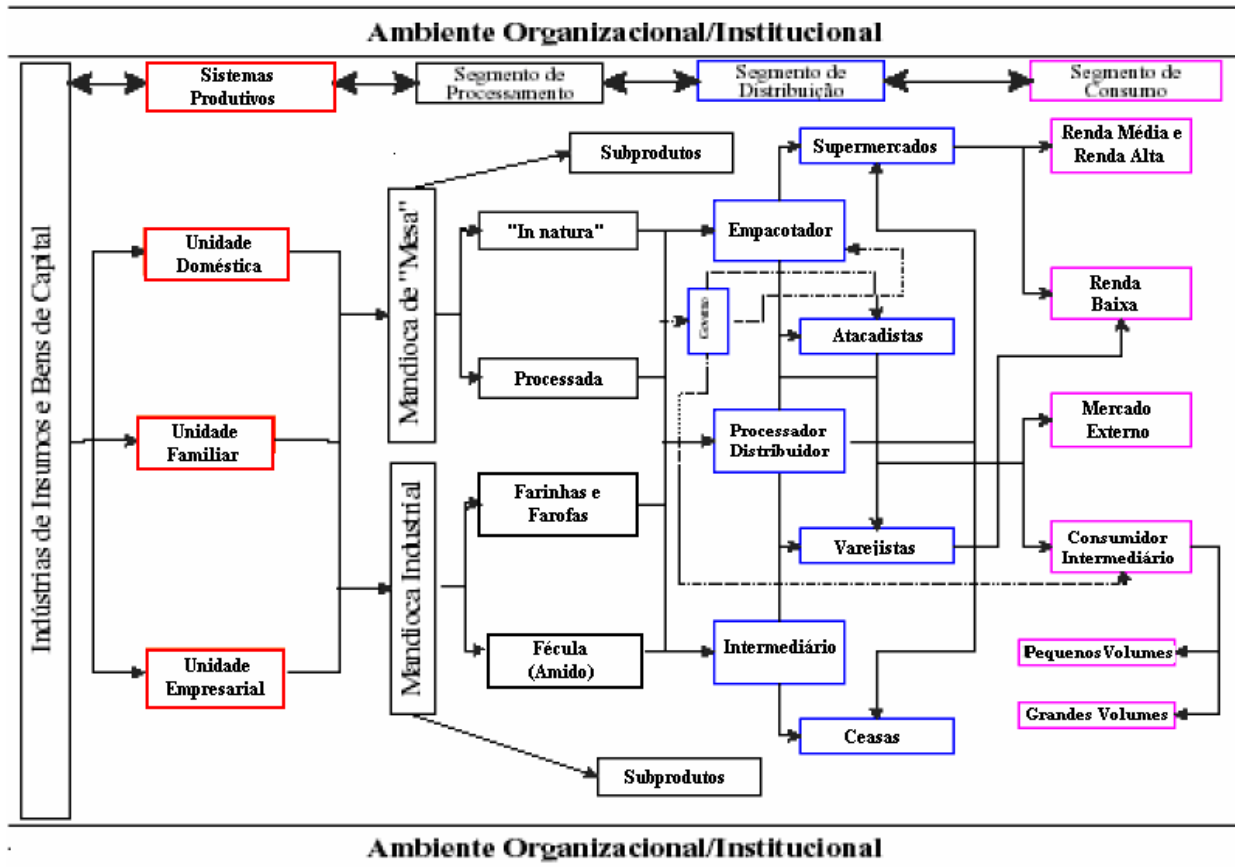


Figura 4: Ambiente Organizacional da Cadeia da Mandioca. Fonte: Relatório: Melhoria da Competitividade da Cadeia Agroindustrial de Mandioca em SP, s.d. *apud* CASTIONI; SAITO; DO VALLE, s.d..

3.4. Sistemas produtivos

- Unidade doméstica

Há o predomínio de pequenos produtores que empregam pouca tecnologia, muitas vezes com reduzido ou nenhum uso de fertilizantes e agrodefensivos. Este tipo de processo, desenvolvido manualmente da plantação à colheita, é comum nas plantações que abastecem o consumo local e que, em geral, são dedicadas às variedades mansas. Pode ser encontrado em praticamente todos os estados, mas assume importância maior no Nordeste do país (Folegatti e Matsuura, s.d. *apud* SEBRAE, 2008).

Segundo CASTIONI; SAITO; DO VALLE (s.d.), este sistema produtivo vem perdendo participação na produção de mandioca de mesa voltada para o mercado e também no fornecimento de raiz para a produção de farinha e fécula, pois participa apenas esporadicamente do mercado. Isto ocorre, pois, cada vez mais, estes mercados exigem estabilidade de preço e qualidade no fornecimento do produto final, graças às relações estabelecidas entre os processadores e os diversos segmentos varejistas e até mesmo o mercado institucional.

De acordo com o mesmo autor, tudo indica que a produção da unidade doméstica tende a se manter importante como elemento estratégico no fornecimento de carboidratos para a população rural de menor renda, explorando assim, mercados regionais de menor expressão quando considerados em termos individuais.

- Unidade familiar

Estabelecida em áreas pequenas ou grandes, com maior ou menor grau de tecnologia. Produtores de maior porte já operam com máquinas que aumentam a eficácia dos processos produtivos e apresentam condições de competitividade para ingressar na cadeia produtiva da mandioca destinada à indústria. Este tipo de propriedade detém uma parte significativa do mercado (SEBRAE, 2008).

- Unidade empresarial

Distingue-se pela contratação de mão-de-obra terceirizada. O nível tecnológico nem sempre é fator distintivo, uma vez que os investimentos podem ser muito semelhantes aos produtores familiares. Também possuem boa participação de mercado, em especial nos estados do Sul e Sudeste, e participando fortemente das cadeias voltadas à transformação industrial da mandioca (BARROS, 2004 *apud* SEBRAE, 2008).

Observa-se predominância da unidade familiar no segmento destinado à mandioca de mesa, enquanto na cadeia de mandioca para indústria predominam a unidade familiar e a unidade empresarial.

Segundo CASTIONI; SAITO; DO VALLE (s.d.), a competitividade estabelecida pelas indústrias de processamento tem levado as unidades domésticas a se afastar cada vez mais do mercado industrial, beneficiando as unidades familiares e empresariais. As exigências de qualidade e profissionalização, além da estabilidade das especificações do produto, exigência e necessidade das empresas transformadoras, são as maiores responsáveis por este processo.

O segmento de mandioca de mesa é caracterizado, fundamentalmente, por dois caminhos para a comercialização do produto: *in natura*, ou seja, sem nenhum tipo de transformação e processada.

O segundo tipo tem apresentado significativo crescimento, pois possibilita a união de duas características exigidas atualmente pelos consumidores: a praticidade e a busca por uma alimentação mais saudável. Atualmente, a comercialização de mandioca pré-cozida e congelada, minimamente processada e na forma de *snacks* e *chips* vem aumentando (CASTIONI; SAITO; DO VALLE, s.d.).

Já a mandioca *in natura* é amplamente comercializada nas Centrais de Abastecimento Regionais, nas feiras livres e nos supermercados. Muitos canais informais também são utilizados, como barracas montadas à beira das estradas, apesar de o volume ser menos expressivo (SEBRAE, 2008).

A cadeia da mandioca destinada à indústria possui maior número de elementos intermediários/agentes entre os produtores e o consumidor final, uma vez que as raízes passam por processos mais complexos e também integram, como matéria-prima, a produção de diversos produtos industrializados. Os dois principais produtos desta rede de valor são a farinha e a fécula de mandioca.

A farinha tem essencialmente uso alimentar, com elevada especificidade regional que em muitos casos torna o produto cativo a mercados locais (CARDOSO e SOUZA, 2002). No entanto, a farinha oferece diversas possibilidades de aplicação, tanto dentro quanto fora do setor alimentício.

A fécula e seus produtos derivados têm sido utilizados em produtos amiláceos para a alimentação humana ou como insumos em diversos ramos industriais tais como: alimentos embutidos, embalagens, colas, mineração, têxtil e farmacêutica (CASTIONI; SAITO; DO VALLE, s.d.) (Tabela 2).

Tabela 2: Aplicação de derivados da raiz de mandioca. Fonte: CASTIONI; SAITO; DO VALLE, s.d..

| | | | | |
|-----------------------------|-----------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Alimentação Humana: | | Química Fina: | | |
| Frigoríficos | Padarias | Adesivos | Aplicações Diversas | Modificados |
| Massas | Biscoitos | Têxteis | Tratamento de águas | Indústria química |
| Sopas | Sorvetes | Explosivos | Dextrinas(química) | Pré-gelatinizados |
| Cervejas | | Produtos Farmacêuticos e Cosméticos | | Perfuração de poços petrolíferos |
| Gomas de mascar e balas | | Indústria Petrolífera | Colas e adesivos | |
| Acúcares líquidos e sólidos | | Siderurgia(fundição) | Separação de minérios | |
| Alimentação Animal | | Indústria Papeleira | | Indústria Madeireira |
| Rações pelletizadas | | Papéis | Cartões corrugados | Compensados Aglomerados Laminados |

No entanto, CASTIONI; SAITO; DO VALLE (s.d.) ressaltam que essa subdivisão tem caráter didático e parece ser mais adequada para atender às imposições da demanda. A produção de mandioca de mesa, por exemplo, tende a ganhar, cada vez mais, características específicas para responder aos pré-requisitos das indústrias de congelados. Não há mais espaço para a produção de raízes que, *a priori*, possam ser destinadas para as indústrias de fécula ou farinha, e apenas esporadicamente, sejam utilizadas para fins culinários. Por outro lado, a produção de raiz para atender as indústrias necessita ganhar eficiência via escala e alongamento do período de safra.

3.5. Cooperativas e associações de produtores

As Sociedades Cooperativas estão reguladas pela Lei 5.764, de 16 de dezembro de 1971, que definiu a Política Nacional de Cooperativismo e instituiu o regime jurídico das Cooperativas.

Cooperativas são associações de pessoas com interesses comuns, economicamente organizadas de forma democrática, isto é, contando com a participação livre de todos e respeitando direitos e deveres de cada um de seus cooperados, aos quais presta serviços, sem fins lucrativos. As cooperativas têm finalidade essencialmente econômica. Seu principal objetivo é o de viabilizar o negócio produtivo de seus associados junto ao mercado

Já as associações são organizações que têm por finalidade a promoção de assistência social, educacional, cultural, representação política e defesa de interesses de classe.

A representatividade de muitas associações e cooperativas de produtores de mandioca vem crescendo no Brasil, apesar de muitos produtores individuais e familiares não participarem das já estabelecidas.

Algumas podem ser destacadas como, por exemplo, a da Associação Brasileira de Produtores de Amido de Mandioca (ABAM). Esta associação, sem fins lucrativos, tem o objetivo de desenvolver a atividade econômica e unir as empresas produtoras de amido de mandioca no Brasil. A ABAM desenvolve pesquisas, promove a divulgação de boas práticas nas lavouras e nas indústrias de processamento de mandioca, além de atuar como representante dos produtores, defendendo seus interesses no diálogo com outras instâncias da sociedade, como governo, comércio e imprensa (SEBRAE, 2008).

O Sindicato de Indústrias de Mandioca do Paraná (SIMP) possui uma base numerosa de associados, de produtores a fecularias, servindo de sustentação em termos de informações e orientações. Outras organizações coletivas como a Cooperativa Agrícola Mista Vale do Piquirí (Coopervale - PR) e a Cooperativa Mista Agropecuária dos Pequenos Agricultores do Sudoeste da Bahia (Coopasub - BA) têm sido de extrema importância para os pequenos produtores associados em diversas etapas de suas atividades, desde a disponibilização de equipamentos para produção de fécula até financiamento e vendas conjuntas. A Cooperativa de Produtores Rurais de Presidente Tancredo Neves (Coopatan – BA) também desenvolve parcerias com outros organismos de apoio (como o SEBRAE e a EMBRAPA), à busca de melhores condições competitivas para seus associados (SEBRAE, 2008).

3.6. Arranjos produtivos locais (APLs)

Segundo PORTER (1998), APLs ou *clusters* são concentrações geográficas de companhias interconectadas e instituições de uma área particular. Abrangem uma série de indústrias ligadas e outras entidades importantes para a competição. Incluem fornecedores de insumos especializados, como componentes, máquinas e serviços e fornecedores de infraestrutura especializada e freqüentemente envolvem canais e consumidores, assim como fabricantes de produtos complementares e empresas de setores relacionados pelas habilidades, tecnologias ou insumos comuns. Muitos *clusters* incluem instituições governamentais e outras como universidades, centros de treinamento e associações de

comércio, que provêm treinamento, educação, informação, pesquisa e suporte técnico especializados.

No contexto do agronegócio, os APLs são soluções importantes para os pequenos produtores, uma vez que as condições do ambiente de negócios podem representar grandes oportunidades para superar as barreiras impostas pelas economias de escala dos *players* de maior porte (SEBRAE, 2008).

Alguns APLs bem sucedidos na mandiocultura são o Pólo de Paranaíba (PR), o APL Mandioca no Agreste (AL) e o Vale do Ivinhema (MS). Outras cidades que sediam APL's são Cruzeiro do Sul (AC), Tefé e Alvarães (AM) e Dom Eliseu – PA (BRASIL, s.d.). Os mais constantes parceiros destes pólos são o SEBRAE e o Banco da Amazônia (BASA) (SEBRAE, 2008).

Instituições de apoio e cooperação técnica e financeira, articuladas com o APL, estão empreendendo esforços no sentido de dinamizar esse seguimento produtivo, através do fortalecimento da rede de cooperação entre produtores e instituições públicas e privadas, estabelecendo ações, que além do incremento na produção e mercado, facilitem e ampliem o diálogo entre os produtores e desses com as instituições, favoreça o desenvolvimento da cooperação e a busca de estratégias comuns para o beneficiamento e comercialização de produção e acelere o desenvolvimento da aprendizagem coletiva, necessária para a difusão e geração de inovações. (PACHECO, 2007 *apud* SEBRAE, 2008).

3.7. Importância social da produção de mandioca no Brasil

O Governo Federal, preocupado com a geração de empregos no campo, vem tomando medidas de apoio a agricultura familiar. O aumento substancial de recursos para o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) e a instituição de uma política pública de garantia de renda e apoio à comercialização com a retomada da política de preços mínimos conferem condições de melhor planejamento para o segmento da agricultura familiar (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2004).

Em 2003, por meio do Programa de Compras Públicas, foram investidos R\$ 400 milhões para a aquisição de cinco produtos básicos para a alimentação da população brasileira – arroz, feijão, mandioca, milho e trigo. Esses alimentos atenderão parte da demanda do Programa Fome Zero (CONSELHO ESTADUAL DO TRABALHO,

EMPREGO E GERAÇÃO DE RENDA NO ESTADO DE MINAS GERAIS – CETER, s.d.).

A importância da agricultura familiar para a geração de empregos pode ser estimada a partir de algumas projeções. Segundo o Sensor Rural da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE) (2003), utilizando a equivalência homens/ano e hectares, se ocupados os 100 milhões de hectares agricultáveis disponíveis no Brasil somente com a cultura da mandioca, seriam gerados 38 milhões de empregos. A cultura está concentrada, predominantemente, entre micro e pequenos produtores com área média de 3 hectares.

Em termos econômicos, estima-se que as atividades ligadas ao cultivo da mandioca e seu processamento em farinha e fécula gerem aproximadamente um milhão de empregos diretos (CARDOSO, 2003). Segundo a ABAM, se forem considerados empregos diretos e indiretos este número sobe para 10 milhões. A receita bruta anual dessa atividade ficou em R\$ 4,1 milhões no ano de 2005.

A cultura da mandioca proporciona inclusão social, gerando empregos e aumentando a renda familiar de pequenos produtores rurais. Além disso, a mandioca é uma das principais fontes de energia da população de baixa renda e, sem dúvida, um tipo de cultura que tende a fixar o homem no campo.

Capítulo 4

Mercado da mandioca

4.1. Mercado mundial da mandioca

A produção de mandioca continua crescendo na maioria dos países que a cultivam, principalmente naqueles considerados em desenvolvimento com baixa renda. A maior contribuição para este aumento veio da África. Segundo a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), em 2007, dos vinte maiores produtores mundiais, doze encontravam-se no continente africano, seguido da Ásia, que possui cinco países neste grupo. A América do Sul tem três representantes: Brasil, Paraguai e Colômbia, nesta ordem (Gráfico 3). O gráfico 4 mostra a produção dos dez maiores no mundo no ano de 2007.

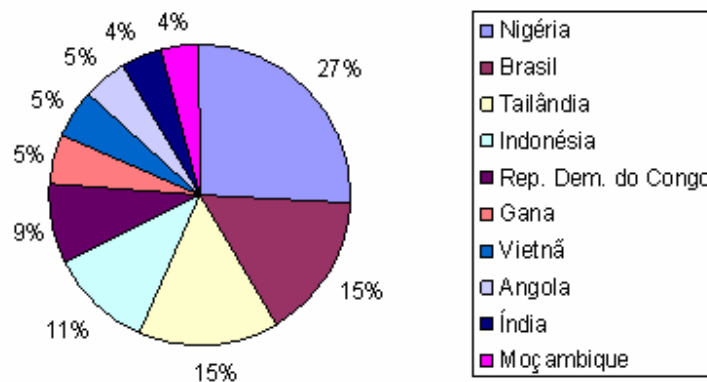


Gráfico 3: Maiores produtores mundiais de mandioca. Fonte: FAO

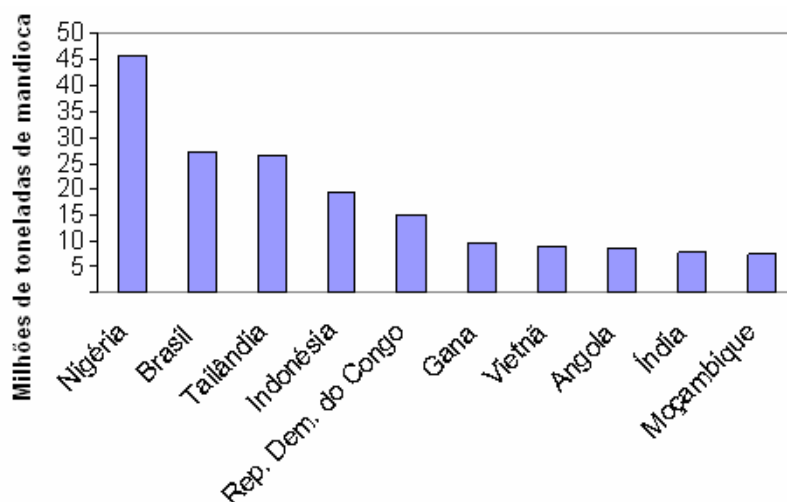


Gráfico 4: Quantidades produzidas (em toneladas) pelos maiores produtores mundiais de mandioca. Fonte: FAO.

A África apresenta-se como o maior produtor mundial, com destaque para a Nigéria, posicionada na primeira colocação. Em 2007, foram produzidas 45,75 milhões de toneladas de mandioca, o que corresponde a aproximadamente 20% das 228 milhões de toneladas produzidas no mundo. A maior parte desta produção foi consumida no próprio país. Esta característica é observada em outros países da África. Os países africanos não apresentam indústrias dedicadas ao processamento da mandioca, sendo o consumo quase que exclusivamente *in natura*. Isto se deve ao fato de a mandioca ser a principal fonte alimentar de mais de 60% da população africana (GROXKO, 2006 *apud* SEBRAE, 2008).

Dada a importância que a cultura representa à maioria da população, em determinados países, os produtores já estão se organizando em Associações. Nos últimos anos começou a ganhar importância a instalação de algumas indústrias modernas com o objetivo de agregar mais valor ao produto (SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ – SEAB, 2006).

Dando continuidade à atividade, os Governos Federais, preocupados em produzir alimentos, estão investindo em pesquisa agrícola com vistas à melhoria da produtividade e na organização da comercialização (SEAB, 2006).

A Ásia, assim como a África, registrou grande crescimento nos últimos anos. A Tailândia, que produzia apenas 3,2 milhões de toneladas em 1970, passou para 26,4 milhões em 2007, ou seja, um aumento de 725%. A contribuição asiática é da ordem de

30% sobre a produção mundial e tem como destaque a Tailândia e a Indonésia, que juntas produziram 46 milhões de toneladas em 2007. Pelo gráfico 5, percebe-se que a Tailândia foi o país onde houve maior aumento da produção nos últimos 37 anos.

Ao contrário da África e da Ásia, a América Latina estabilizou a sua produção. O Brasil, que já foi o maior produtor mundial e participava com 30% em 1970, apresentou crescimento pouco significativo desde então, contribuindo com apenas 12% da produção mundial em 2007.

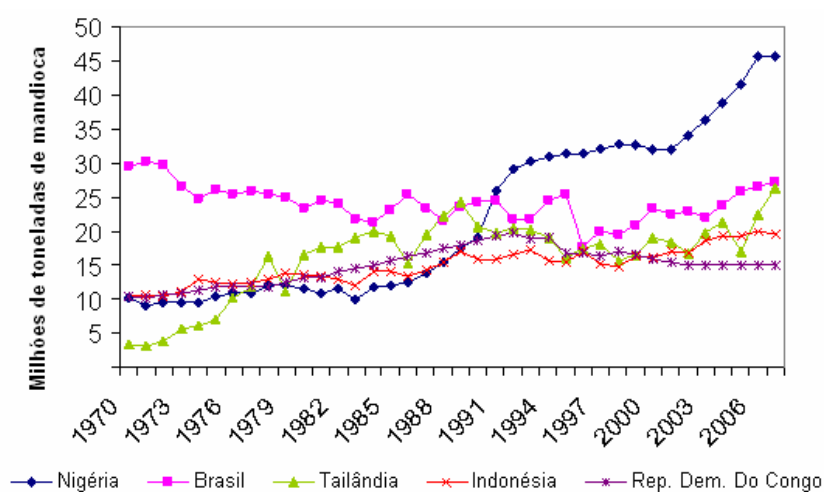


Gráfico 5: Produção (em toneladas) dos maiores produtores de mandioca desde a década de 70. Fonte: FAO.

A produtividade (medida em toneladas/hectare) varia bastante entre os países. Segundo dados da FAO, em 2007, a Índia apresentou a maior produtividade, 31,4 t/ha. A média mundial está em torno de 10,3 t/ha. O Brasil está situado acima da média, com uma produção de 14,4 t/ha.

Os maiores produtores, no entanto, não apresentam diferenças significativas com relação à produtividade, o que mantém a ordem dos países na lista de área dedicada à produção da mandioca bastante semelhante à lista por quantidade produzida (SEBRAE, 2008).

De acordo com os últimos dados disponíveis pela FAO (2006), a China é o maior importador mundial de mandioca e seus derivados, incluindo raspa de mandioca, fécula, farinha de mandioca e tapioca. Em 2006, foram importadas aproximadamente 6,2 milhões

de toneladas, o que equivale a 75% de toda a mandioca importada no mundo. Entre os maiores importadores aparecem também a Indonésia, Coréia do Sul, Malásia, Japão, Espanha e Estados Unidos, nesta ordem como apresentado no gráfico 6.

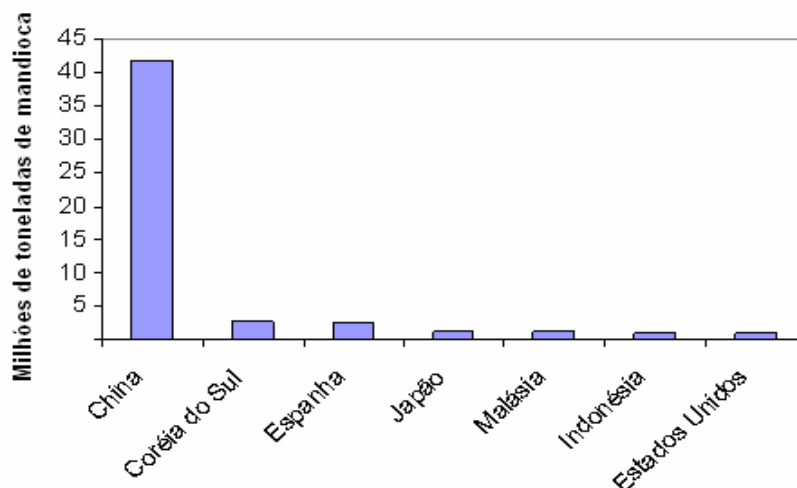


Gráfico 6: Maiores importadores mundiais de mandioca. Fonte: FAO.

Apenas uma pequena parte da produção mundial de mandioca é exportada. Algumas oportunidades se desenvolveram gradativamente no mercado externo a partir de decisões favoráveis na Organização Mundial do Comércio (OMC) em 2004. Tanto a União Européia (EU), que importa a maioria da mandioca dos países do sudeste asiático quanto os Estados Unidos mantêm políticas protecionistas de subsídios à exportação e barreiras à importação de seus produtos agrícolas, visando aumentar sua competitividade. A mandioca sofre particularmente com essas barreiras, uma vez que é considerada como um substituto direto de culturas locais importantes como milho, batata e trigo. Apesar dos avanços nas negociações internacionais, as dificuldades para a exportação de mandioca continuam grandes (SEBRAE, 2008).

A Tailândia, quarta maior produtora, detém a hegemonia mundial das exportações, chegando a aproximadamente 82% do comércio internacional. A maior parte desta quantidade é exportada para a União Européia. Na Tailândia, a cadeia de mandioca é altamente desenvolvida. O Governo investiu em órgãos de pesquisa e os produtores se organizaram em associações. Essa articulação torna o país líder das exportações e quando

as cotações internacionais estão desfavoráveis o Governo intervém para assegurar os preços (CASTIONI; SAITO; DO VALLE, s.d.).

Apesar de o Brasil ser o 2º maior produtor mundial, sua participação nas exportações é ainda bastante pequena. Em 2006, o Brasil ocupava a 7ª colocação no ranking dos países exportadores, mas o volume efetivamente exportado representa apenas 0,3% do total mundial, o que, em parte, se deve ao volume extremamente alto exportado do primeiro da Tailândia (Tabela 3).

Tabela 3: Maiores exportadores mundiais de mandioca. Fonte: FAO

| Países | Quantidade (toneladas) |
|---------------|-------------------------------|
| Tailândia | 1.9016.535 |
| Vietnã | 2.601.637 |
| Indonésia | 413.167 |
| China | 374.895 |
| Costa Rica | 203.285 |
| Paraguai | 111.575 |
| Brasil | 83.235 |

A principal característica do mercado da mandioca é o consumo ocorrer em locais vizinhos à produção, ou seja, os mercados locais são os mais importantes para os produtores. Essa constatação é confirmada pela tabela 4, uma vez que a maioria dos países consumidores também consta da lista de maiores produtores.

Tabela 4: Maiores consumidores de mandioca (dados de 2003). Fonte: FAO.

| Países | Quantidade (toneladas) |
|--------------------|-------------------------------|
| Rep. Dem. do Congo | 15.872.383 |
| Nigéria | 14.173.429 |
| Indonésia | 13.188.605 |
| Brasil | 7.414.819 |
| Índia | 6.664.602 |
| Tanzânia | 5.816.412 |
| Moçambique | 4.665.705 |
| Gana | 4.595.317 |
| Angola | 3.299.331 |

Já nos dados de consumo *per capita*, há clara predominância dos países africanos, o que demonstra o papel da mandioca como alimento de segurança nacional para estas populações (Tabela 5).

Tabela 5: Maiores consumidores *per capita* de mandioca (dados de 2003). Fonte: FAO

| Países | Quantidade (Kg/pessoa.ano) |
|--------------------|----------------------------|
| Rep. Dem. do Congo | 300 |
| Moçambique | 247 |
| Angola | 242 |
| Congo | 236 |
| Gana | 219 |
| Tanzânia | 157 |
| Benin | 156 |

4.2. Mercado da mandioca no Brasil

A cultura da mandioca tem um importante papel no cenário econômico brasileiro, tanto para a alimentação humana e animal, quanto como geradora de emprego e de renda, principalmente nas áreas pobres da região Nordeste. A raiz da mandioca constitui uma das principais fontes de carboidratos de uma parte significativa da população de baixa renda no Brasil. Seu consumo ocorre tanto por meio da compra do produto e de seus derivados quanto pela produção doméstica.

A compra de mandioca e de seus derivados pelas famílias com renda inferior a um salário mínimo é de 10% da despesa anual com alimentação, colocando-a em segundo lugar nos gastos alimentares dessa população, atrás apenas do feijão, que representa 13% (CARDOSO e SOUZA, 2002).

Apesar do destaque na alimentação do brasileiro, durante anos os governantes não deram a devida atenção à mandioca pelo fato de a mesma ser uma cultura de subsistência. Até o início da década de 80, a mandioca e seus subprodutos eram considerados domésticos e a prioridade das políticas públicas eram os produtos exportáveis. Como dito anteriormente, o Brasil, que já foi o maior produtor mundial e participava com 30% em 1970, nos últimos anos manteve sua produção praticamente estável, com alguns períodos de queda, na média de 23 milhões de toneladas (Gráfico 7).

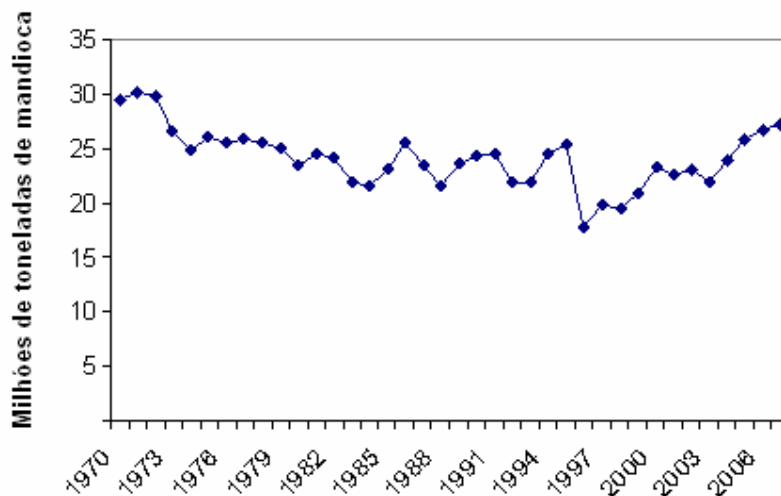


Gráfico 7: Produção brasileira de mandioca desde a década de 70. Fonte: FAO

Segundo BONCHRISTIANI (2007), esta redução é característica de produtos alimentares básicos, que são voltados basicamente para o mercado interno e com possibilidade de serem substituídos. Nos últimos anos, houve aumento no consumo de massas, que utilizam produtos de trigo, em detrimento da farinha de mandioca. Além disso, nos anos 70, preparados à base de raízes e folhas de mandioca eram bastante utilizados na alimentação animal, principalmente na suinocultura e, nas últimas duas décadas, cederam lugar às rações balanceadas.

Ainda segundo BONCHRISTIANI (2007), outro fator que contribuiu fortemente para a estagnação da produção, foi a mudança do hábito alimentar da população causada pelo êxodo rural, que causou diminuição do número de pessoas que consumiam maiores quantidades de produtos de mandioca.

Paralelamente aos fatores citados, as freqüentes e grandes oscilações nos preços, que já se tornaram cíclicos a cada 2 ou 3 anos, e a falta de planejamento mais efetivo entre os produtores e as indústrias, no sentido de se evitar super ofertas de matéria-prima e na seqüência o desabastecimento, também são causas para a estagnação da produção brasileira de mandioca (SEAB, 2006).

Por conta da disseminação da mandioca em plantações de quintal, o volume agregado nacional efetivo é de difícil mensuração. Os dados oficiais levam em conta apenas a quantidade que passa por etapas formalizadas de comercialização (SEBRAE, 2008).

Segundo dados da FAO, entre 2003 e 2007, houve um aumento médio de 5,6% da produção de mandioca no Brasil. Este movimento representa uma recuperação gradativa das perdas sofridas na segunda metade da década de 90, quando o setor sofreu um grande abalo no volume produzido.

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2006), o Nordeste é a maior região produtora de mandioca, correspondendo a 36% do total produzido no país (Gráfico 8).

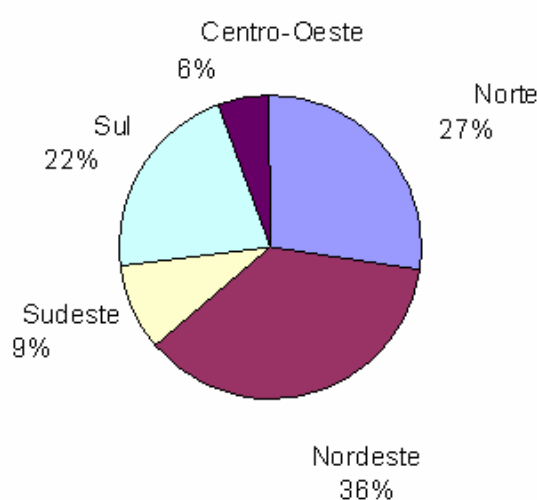


Gráfico 8: Representatividade das regiões do Brasil na produção de mandioca. Fonte: IBGE, 2006.

A produção do Nordeste conta com a presença de centenas de “casas de farinha”, dedicadas à produção de pequenos volumes de farinha de mandioca. O produto é consumido quase exclusivamente na própria região. Já a quantidade gerada no Sul/Sudeste destina-se predominantemente ao processamento industrial, para a produção de farinha, fécula e outros derivados. Estes são utilizados tanto na indústria alimentícia quanto em outras aplicações (SEBRAE, 2008).

A maior contribuição vem da Bahia, segundo maior produtor nacional e responsável por 46% da produção nordestina. Este estado conta com centenas de pequenas fábricas de farinha espalhadas por todas as regiões produtoras. Em condições de safras normais, a Bahia exporta a farinha de mandioca para outros estados nordestinos e nos anos de 2004 e 2005 abasteceu parte do mercado de São Paulo (SEAB, 2006).

A região Norte é a segunda maior produtora, apresentando 27% da produção nacional. Nesta região situa-se o maior produtor do país, o estado do Pará. Em 2006, o volume produzido por este estado correspondeu a aproximadamente 20% da produção nacional e a 70% de toda a Região Norte. No Pará, a mandioca é destinada basicamente à alimentação da população, através de vários tipos de farinhas e vários pratos à base das folhas da mandioca (SEAB, 2006).

No sudeste, destaca-se o Estado de São Paulo que embora com uma produção de mandioca estável na faixa de 1 milhão de toneladas, destaca-se pelas modernas fecularias e pela grande quantidade comercializada dos produtos da mandioca. Já o estado de Minas Gerais destina boa parte da produção à fabricação de polvilho azedo (SEAB, 2006).

A Região Sul contribuiu, em 2006, com 22% da produção nacional. O destaque nesta região é o estado do Paraná, terceiro maior produtor nacional, contribuindo com aproximadamente 14% de toda a mandioca produzida no país e 67% do volume produzido na região Sul.

O Rio Grande do Sul continua produzindo mais de um milhão de toneladas, destinadas basicamente para o consumo animal e humano. No caso de Santa Catarina, a sua produção já foi mais significativa, porém na década de 80 muitas de suas indústrias foram transferidas para o Paraná e atualmente alguns industriais já estão preferindo o Estado do Mato Grosso do Sul (SEAB, 2006).

A região Centro-Oeste possui a industrialização mais recente. O estado do Mato Grosso do Sul está aumentando rapidamente a sua produção e também a instalação de novas indústrias de fécula (SEAB, 2006).

A tabela 6 apresenta as áreas destinadas à colheita e colhidas, a quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção de mandioca em cada região e estado do Brasil (IBGE,2006).

Já a tabela 6 reúne dados referentes à quantidade produzida em toneladas em 2006 pelos 10 estados brasileiros citados como maiores produtores de mandioca do país (IBGE,2006).

Tabela 6: Áreas destinadas à colheita e colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção de mandioca, segundo as Grandes Regiões e Unidades da Federação produtoras no Brasil (dados de 2006). Fonte: IBGE, 2006.

| Grandes Regiões e Unidades da Federação | Área destinada à colheita (ha) | Área colhida (ha) | Quantidade produzida (t) | Rendimento médio (kg/ha) | Valor (1.000 R\$) |
|--|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Brasil | 1.974.419 | 1.896.509 | 26.639.013 | 14.046 | 4.373.156 |
| Norte | 496.044 | 489.400 | 7.305.504 | 14.927 | 1.030.985 |
| Rondônia | 28.959 | 28.959 | 503.276 | 17.378 | 107.382 |
| Acre | 31.581 | 29.762 | 455.581 | 15.307 | 78.340 |
| Amazonas | 87.088 | 85.641 | 770.415 | 8.995 | 174.675 |
| Roraima | 6.220 | 5.810 | 77.160 | 13.280 | 27.006 |
| Pará | 314.096 | 314.076 | 5.078.426 | 16.169 | 552.346 |
| Amapá | 8.125 | 7.800 | 85.500 | 10.961 | 60.996 |
| Tocantins | 19.975 | 17.352 | 335.146 | 19.314 | 30.238 |
| Nordeste | 954.050 | 883.529 | 9.614.526 | 10.881 | 1.071.252 |
| Maranhão | 212.096 | 212.088 | 1.720.322 | 8.111 | 231.506 |
| Piauí | 52.311 | 52.311 | 506.076 | 9.674 | 51.269 |
| Ceará | 88.602 | 88.602 | 860.780 | 9.715 | 94.356 |
| Rio Grande do Norte | 48.802 | 48.692 | 521.581 | 10.711 | 52.803 |
| Paraíba | 28.831 | 28.831 | 270.215 | 9.372 | 33.841 |
| Pernambuco | 59.246 | 59.246 | 660.451 | 11.147 | 93.708 |
| Alagoas | 15.902 | 15.902 | 190.684 | 11.991 | 19.597 |
| Sergipe | 61.166 | 33.185 | 490.420 | 14.778 | 60.018 |
| Bahia | 387.094 | 344.672 | 4.393.997 | 12.748 | 434.155 |
| Sudeste | 136.572 | 136.207 | 2.491.650 | 18.293 | 540.752 |
| Minas Gerais | 60.725 | 60.360 | 907.671 | 15.037 | 309.087 |
| Espírito Santo | 18.510 | 18.510 | 325.518 | 17.586 | 42.372 |
| Rio de Janeiro | 10.167 | 10.167 | 152.611 | 15.010 | 48.483 |
| São Paulo | 47.170 | 47.170 | 1.105.850 | 23.443 | 140.810 |
| Sul | 292.779 | 292.779 | 5.749.253 | 19.636 | 1.296.433 |
| Paraná | 172.951 | 172.951 | 3.840.363 | 22.204 | 538.950 |
| Santa Catarina | 32.432 | 32.432 | 611.699 | 18.860 | 92.696 |
| Rio Grande do Sul | 87.396 | 87.396 | 1.297.191 | 14.842 | 664.786 |
| Centro-Oeste | 94.974 | 94.594 | 1.478.080 | 15.625 | 433.734 |
| Mato Grosso do Sul | 29.437 | 29.337 | 495.348 | 16.884 | 50.932 |
| Mato Grosso | 39.943 | 39.943 | 563.653 | 14.111 | 300.627 |
| Goiás | 24.754 | 24.474 | 405.302 | 16.560 | 76.802 |
| Distrito Federal | 840 | 840 | 13.777 | 16.401 | 5.373 |

Tabela 7: Os 10 principais estados produtores de mandioca no Brasil. Fonte: IBGE, 2006.

| Estados | Quantidade (toneladas) |
|-------------------|------------------------|
| Pará | 5.078.426 |
| Bahia | 4.393.997 |
| Paraná | 3.840.363 |
| Maranhão | 1.720.322 |
| Rio Grande do Sul | 1.297.191 |
| São Paulo | 1.105.850 |
| Minas Gerais | 907.671 |
| Ceará | 860.780 |
| Amazonas | 770.415 |
| Pernambuco | 660.451 |

4.3. Importações e exportações brasileiras da mandioca

De acordo com dados da FAO, em 2006, o Brasil importou aproximadamente 14 mil toneladas de mandioca e seus derivados, o que o coloca na condição de 18º maior importador.

No gráfico 9, pode-se observar um grande aumento das importações de mandioca e seus derivados a partir de 1999, atingindo um pico de aproximadamente 60 mil toneladas em 2004. O principal responsável por estes números foi a fécula, utilizada pelas empresas modificadoras de amido, que o fornecimento nacional não conseguiu suprir. A escassez ocorreu devido à maior demanda por amido em alguns processos industriais. Os preços elevados no mercado interno levaram os potenciais compradores a comprar a fécula no exterior, especialmente em países como a Tailândia e Paraguai (CARDOSO; ALVES; FELIPE, 2007 *apud* SEBRAE, 2008).

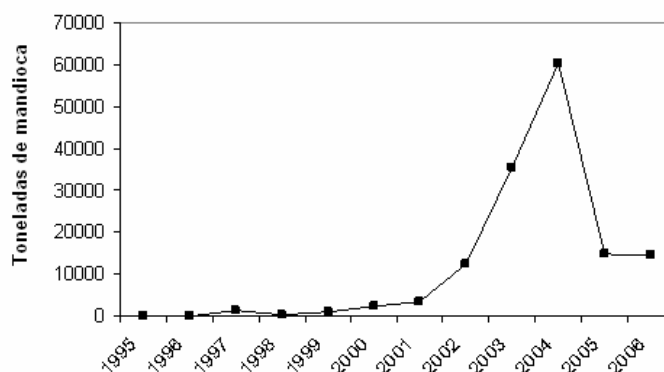


Gráfico 9: Importação de derivados de mandioca. Fonte: FAO

Em relação à exportação brasileira, a fécula é um dos derivados da mandioca mais importantes, sendo os principais destinos os Estados Unidos, Holanda, Uruguai e Argentina.

Como visto anteriormente, há grande concentração das exportações. Em 2006, apenas 3 países, Tailândia, Vietnã e Indonésia, foram responsáveis por mais de 95% das exportações.

Capítulo 5

Mercado do etanol

A produção mundial de álcool em 2008 atingiu 81 bilhões de litros, o que representa um aumento de aproximadamente 24% em relação ao ano anterior (Gráfico 10). Neste mesmo ano, Estados Unidos detiveram a liderança mundial na produção com 36 bilhões de litros, o que equivale a 44% do volume da oferta mundial. O Brasil, com produção de aproximadamente 25,5 bilhões de litros, posicionou-se como segundo produtor mundial, com participação de 31%. Já União Européia, China e Índia representam regiões ou países produtores relevantes, com participação na oferta com 7%, 5% e 2%, respectivamente (LMC INTERNATIONAL, 2008).

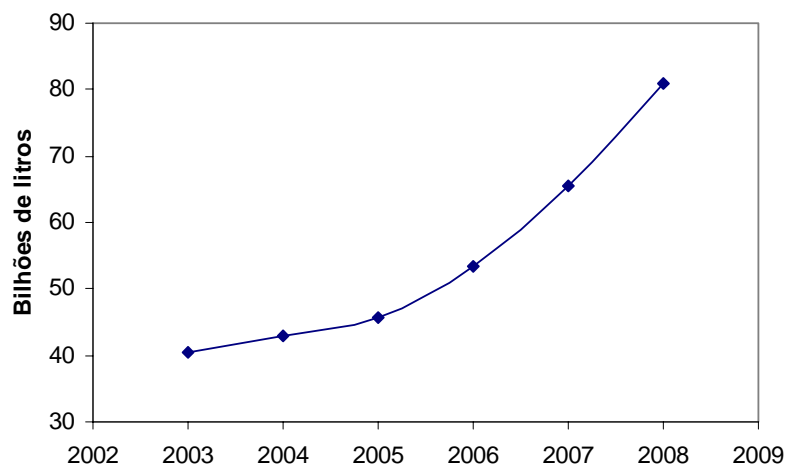


Gráfico 10: Produção mundial de etanol. Fonte: LCM INTERNATIONAL, 2008.

Em relação ao consumo, o mercado mostra-se promissor. Há a tendência de aumento no consumo de etanol carburante, uma vez que há grande interesse de diversos países em adicioná-lo à gasolina.. Em 2008, houve o consumo de aproximadamente 80 bilhões de litros de etanol, o que representa um aumento de aproximadamente 27% em relação a 2007. Os maiores consumidores foram Estados Unidos e Brasil com 27,7 e 20,0

bilhões de litros, respectivamente (LMC INTERNATIONAL, 2008). A evolução do consumo de etanol nos últimos seis anos pode ser observada no gráfico 11.

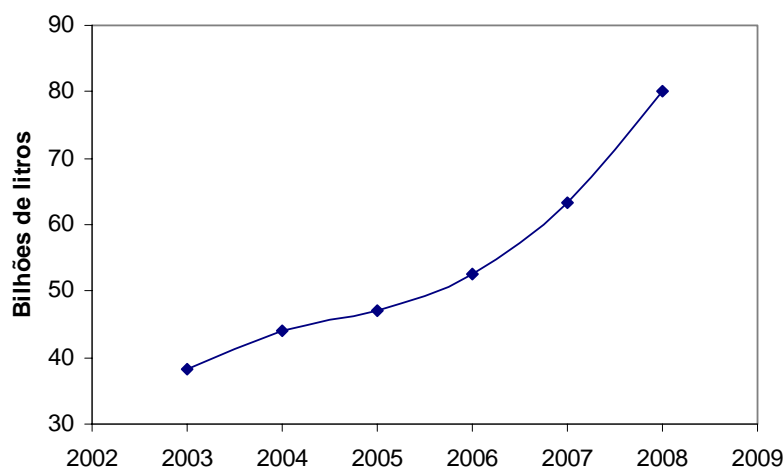


Gráfico 11: Consumo mundial de etanol. Fonte: LCM INTERNATIONAL, 2008.

Percebe-se que os maiores produtores de etanol são também os maiores consumidores. Com exceção da União Européia, que passou a exigir a mistura de 2% em todo o bloco somente no segundo semestre de 2005, e deve ampliar para 5,75% em 2010, os demais países produtores já utilizam este biocombustível misturado à gasolina em diferentes percentuais, sendo que apenas o Brasil possui o uso exclusivo do produto como combustível para motores exclusivamente a álcool ou *Flex Fuel* (VIAN e RIBEIRO, 2008).

O mercado americano de etanol foi o que mais cresceu nos últimos anos, em função da substituição do MTBE (metil tércio butil éter) pelo etanol, numa proporção de até 10%, como oxigenador da gasolina em vários estados. A expansão da demanda americana tem sido respaldada pelo crescimento da oferta de milho no país e pela expansão da capacidade produtiva instalada (VIAN e RIBEIRO, 2008).

Segundo POGETTI (2008), os Estados Unidos têm investimentos anunciados de aumento da capacidade de produção em 27 bilhões de litros e ainda projetos em andamento com adicionais 23 bilhões de litros de álcool, a partir do processamento de milho. Esta capacidade está na vizinhança do teto de 55 bilhões de litros estabelecido pela Lei de Energia para consumo de álcool de milho.

O mercado brasileiro de etanol também se mostra promissor. Segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) (2008), de janeiro a novembro de 2008, foram produzidos 17,477 bilhões de litros de etanol (hidratado e anidro), o que representa um aumento de 4,33 bilhões de litros de álcool a mais que na safra anterior (janeiro a novembro de 2007). Houve também o aumento do consumo, em 3,6 bilhões de litros, e nas exportações.

Segundo dados estatísticos da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) (2008), em 2007, a venda de automóveis *Flex Fuel Vehicles* (FFV) representou 90% das vendas de novos automóveis no Brasil (POGETTI, 2008).

De acordo com POGETTI (2008), uma pesquisa realizada pelo IBOPE em 2007 apurou que 88% dos consumidores, proprietários ou usuários de carros FFV, utilizam álcool no abastecimento de seu veículo. Idêntica pesquisa no ano anterior apontava que 76% dos usuários de automóveis FFV utilizavam exclusivamente álcool no abastecimento. Segundo o autor, estes resultados demonstram a tendência na sedimentação da utilização de álcool no abastecimento de veículos.

Considerando que a expectativa de crescimento de vendas de veículos leves é da ordem de 5,5% ao ano e que os veículos FFV deverão participar de 90% das novas vendas, projeta-se para 2015 a existência de uma frota de 30 milhões de carros, dos quais 19 milhões serão FFV (POGETTI, 2008).

Considerando-se que 90% dos carros FFV utilizem álcool, além do consumo de etanol na mistura 25% para automóveis movidos à gasolina, estima-se que a demanda de álcool para o mercado brasileiro, para fins carburantes será de 32,6 bilhões de litros, o que representa um crescimento médio anual de 7,6% (Sousa, 2008 *apud* POGETTI, 2008).

Percebe-se, portanto, que o Brasil dispõe de um mercado consumidor interno de etanol combustível bastante desenvolvido, o que faz com que o sucesso indústria alcooleira nacional não dependa, exclusivamente, da inserção do país no comércio mundial do produto (VIAN e RIBEIRO, 2008).

Capítulo 6

O Álcool de mandioca

6.1. Histórico

O interesse em utilizar mandioca para produzir álcool não é recente no Brasil. As primeiras iniciativas ocorreram durante o colapso da economia mundial na década de 1930 e na Segunda Guerra Mundial, a partir de 1945 (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Com a crise do petróleo na década de 1970, o governo brasileiro lançou um programa para a substituição em larga escala dos combustíveis derivados de petróleo por álcool, o Programa Nacional do Álcool (Proálcool). Este Programa visava buscar matérias-primas alternativas para a produção de etanol, apresentando-se a mandioca como um dos produtos potenciais na primeira fase do Programa.

Outro objetivo do Proálcool era o de viabilizar projetos de menor porte, podendo ser alternativa energética no meio rural. Desta forma, a mandioca passou a ser considerada uma alternativa ainda mais viável, pelo fato de possibilitar que unidades de menor porte também produzissem álcool a partir deste tubérculo (MACHADO e JOB, 2006 *apud* FELIPE e ALVES, 2007b).

Neste período, seis usinas para a produção de álcool a partir de mandioca foram instaladas no Brasil. Entre 1978 e 1983, a Petrobras produziu o combustível em uma unidade do Maranhão. O fato de essas usinas terem sido construídas em regiões pouco tradicionais em termos de produção de mandioca tornou estes projetos inviáveis. Além disso, o bom desempenho da produção de álcool de cana-de-açúcar resultou no abandono de algumas pesquisas (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Atualmente, a mandioca é uma importante matéria-prima para a produção de etanol na Ásia, com destaque para a China, Tailândia e Indonésia, havendo significativos incentivos governamentais nestes países. Na Tailândia, inclusive, já há trocas de tecnologias com empresas e pesquisadores brasileiros (FELIPE e ALVES, 2007a).

No Brasil, algumas unidades industriais estão em fase de implantação no Nordeste. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) também tem

intensificado os trabalhos de melhoramento genético da mandioca para a produção de etanol (FELIPE e ALVES, 2007a).

Recentemente, foi aprovado o Projeto de Lei 1522/07, que prevê redução de impostos por até cinco anos para agentes que comercializarem etanol proveniente de mandioca no Brasil. Ainda é necessária, porém, a análise da proposta pelas comissões de Minas e Energia, de Finanças e Tributação e de Constituição e Justiça e de Cidadania da Câmara (FELIPE e ALVES, 2007a).

6.2. Situação atual do álcool de mandioca

6.2.1. No mundo

Muitos países estão realizando pesquisas significativas para avaliar a utilização de mandioca para a produção de etanol, principalmente com fins energéticos. Neste contexto, os países asiáticos, principalmente China e Tailândia, possuem posição de destaque.

A Tailândia tem se mostrado o país mais promissor para a produção de álcool de mandioca. A necessidade de alcançar maior independência energética, uma vez que grande parte de sua matriz é importada, aliada ao forte apoio governamental tem contribuído para o desenvolvimento desta indústria. Há vários projetos em andamento e grandes investimentos em tecnologia agrícola e industrial para tornar a mandioca uma das principais alternativas energéticas (FELIPE e ALVES, 2007b). Segundo a FAO, em 2008, foi inaugurada na Tailândia uma usina de etanol de mandioca com capacidade de produzir até meio milhão de litros de etanol por dia.

A China possui o Plano de Desenvolvimento para Energias Renováveis, que tem como objetivo aumentar a aplicação de etanol obtido a partir de não cereais para 2 milhões de toneladas e de biodiesel para 200 mil toneladas até 2010, o que será equivalente à substituição de 10 milhões de toneladas de petróleo. Como resultado, a mandioca vem ganhando espaço e se tornando a principal matéria-prima para a produção de etanol (NATIONAL DEVELOPMENT AND REFORM COMMISSION – CHINA, 2007).

Em Dezembro de 2007, a China inaugurou em Beihai a maior planta para produção de etanol combustível a partir de mandioca com uma produção anual de milhares

de toneladas, que demandaria uma média de 1,5 milhões de toneladas de mandioca (WIKIPEDIA, s.d.).

Em Novembro de 2008, o Grupo Hainan Yedao investiu aproximadamente 51 milhões de dólares na implantação de uma usina de etanol de mandioca na China, cuja previsão de produção anual é de 125 milhões de litros de álcool (BUSINESSGREEN, 2008).

Na África, as iniciativas para a produção do álcool de mandioca ainda são pouco relevantes, apesar do continente se destacar na produção da raiz. No entanto, nota-se o interesse de algumas empresas de apenas exportar o produto *in natura* (na forma de chips) deste continente para a fabricação de álcool na Ásia, mais especificamente na China (FELIPE e ALVES, 2007b).

Outros países também têm investido na mandioca para a produção de biocombustíveis. Em 2008, a Indonésia estava implementando a produção de etanol de mandioca a fim de se preparar para a mistura de etanol à gasolina que se tornaria obrigatória em 2009. Outras construções de usinas de álcool de mandioca também estão em andamento em países como Papua Nova Guiné e Ilhas Fiji e pesquisas piloto estão em andamento na Nigéria, Colômbia e Uganda (FAO, 2008).

6.2.2. No Brasil

Atualmente, há apenas uma usina de álcool de mandioca em operação no país, em São Pedro do Turvo (SP), e uma planta piloto que será instalada no campus de Botucatu (SP) pelo Centro de Raízes e Amidos Tropicais (Cerat) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp).

Segundo a ABAM (2007a), em 2007, o Estado de Pernambuco preparava-se para ser o precursor do retorno da produção de álcool de mandioca no Brasil, com a construção de uma usina de US\$ 4 milhões, que também produziria álcool fino para fabricação de bebidas e perfumes. A maior parte da raiz necessária para o funcionamento da usina é proveniente de assentamentos legalizados pelo Governo e de colônias agrícolas pertencentes a penitenciárias locais. Outra parte da matéria-prima será gerada em plantio próprio. A iniciativa foi resultado de uma *joint-venture* e, segundo estimativas, geraria cerca de 100 empregos diretos e mil indiretos em Pernambuco.

Em 2007, foram anunciados três projetos de usinas para produção de etanol de mandioca, com investimentos que poderiam chegar a um total de US\$ 45 milhões. Uma das destilarias, com capacidade de produção 120 milhões de litros de etanol por ano, seria construída em Nazaré da Mata, na Zona da Mata de Pernambuco e parte da produção seria destinada ao mercado de combustíveis e o restante, às indústrias químicas e de bebidas (ABAM, 2007b).

A segunda seria construída em Palmital, interior de São Paulo, e a terceira ainda estava em estudo de viabilização de projeto. A planta paulista deveria entrar em operação a partir de 2008. A tecnologia da nova planta foi adquirida da Tailândia, país que já utiliza a mandioca para a produção de álcool (ABAM, 2007b).

Atualmente, há um projeto a produção de etanol a partir da mandioca no Acre, que visa à construção de uma microdestilaria para o processamento de raízes de mandioca colhidas por famílias de pequenos agricultores no Vale do Juruá. A produção de álcool contemplará o mercado local de mistura de etanol à gasolina, em torno de 25%. Segundo o idealizador do projeto, o pesquisador Diones Salla, a implementação da usina possibilitará que a população local produza o seu próprio combustível, que será utilizado para acionar motores geradores para produzir energia elétrica em comunidades isoladas (AGÊNCIA AMAZÔNIA DE NOTÍCIAS, 2008).

6.3. Produtos

O etanol, também chamado álcool etílico, é um composto ternário de carbono, hidrogênio e oxigênio, com fórmula C_2H_5OH . O etanol é o mais comum dos álcoois, apresenta-se na fase líquida em temperatura ambiente, é incolor e límpido e possui sabor ardente.

6.3.1. Álcool hidratado

O álcool hidratado possui várias aplicações, sendo as mais comuns a fabricação de bebidas, a fabricação de cosméticos, a fabricação de vacinas e antibióticos, a fabricação de detergentes, produtos de limpeza, tinturas, têxteis, pinturas, solventes e, principalmente, sua utilização como combustível. Seu teor de água é, em média, de 7%, uma vez que a Agência

Nacional do Petróleo (ANP) fixa o teor alcoólico na faixa de 92,6 a 93,8 °INPM³. Este produto não é utilizado como aditivo à gasolina.

6.3.2. Álcool neutro

O álcool neutro é o de melhor qualidade, mais puro, sendo próprio para qualquer aplicação que envolve o consumo humano ou veterinário. É virtualmente isento de qualquer impureza e seu nome deriva do fato de possuir odor típico de álcool, diferente de um álcool que contenha traços de alguma impureza. Mesmo assim, dependendo da aplicação, pode tolerar a presença de traços de alguma impureza menos agressiva, principalmente se não utilizado em produtos de consumo humano interno (ZARPELON, s.d.).

O álcool neutro constitui-se principalmente em bem de produção intermediário, ou seja, é matéria-prima para as indústrias de bebida, perfumaria, farmacêutica e eventualmente indústrias químicas e alimentícias.

6.3.3. Álcool anidro

É o álcool cuja aplicação não tolera a presença significativa de água. O álcool anidro é utilizado em aplicações industriais como reativo, solvente, na fabricação de aerossóis (inseticidas, repelentes de insetos, desodorantes de ambientes, fungicidas, etc.). Também aplicações de álcool neutro, como em aerossóis, podem requerer a necessidade de desidratá-lo, sendo neste caso indicado ser produzido através da técnica da peneira molecular, que não incorpora nenhuma outra substância residual (ZARPELON, s.d.).

A aplicação mais generalizada do álcool anidro é como combustível, na forma de aditivo a gasolina, principalmente, melhorando a combustão, pelo aumento da octanagem e pela presença de oxigênio na molécula do álcool, reduzindo a liberação de monóxido de carbono (ZARPELON, s.d.). Segundo a ANP, o álcool anidro deve possuir teor alcoólico mínimo de 99,3° INPM.

³ °INPM: Porcentagem de álcool em peso.

6.3.4. Álcool industrial

O álcool industrial tem uso em uma grande quantidade de produtos industriais que não seja para a fabricação de produtos que envolvam o consumo humano. Sua qualidade depende da necessidade específica de cada aplicação, mas em geral é requerida a graduação alcoólica mínima de 96,0% v/v e teores relativamente baixos de impurezas. Conforme o uso e dependendo da legislação, pode ser desnaturado⁴ (ZARPELON, s.d.).

6.4. Processo

Pode-se obter etanol por três maneiras gerais: por via destilatória, por via sintética e por via fermentativa. No Brasil, devido ao grande número de matérias-primas naturais existentes em todo o país, a via fermentativa é a mais utilizada (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

Qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato pode ser utilizado como matéria-prima para a obtenção de etanol. Estas matérias-primas podem ser classificadas em:

- Açucaradas: cana-de-açúcar, melão, mel e frutas;
- Amiláceas: grãos amiláceos, raízes e tubérculos feculentos;
- Celulósicas: palhas, madeiras e resíduos agrícolas.

No entanto, apenas matérias-primas açucaradas, como é o caso da cana-de-açúcar, podem ser diretamente fermentadas. Matérias-primas amiláceas e celulósicas devem passar por um pré-tratamento a fim de liberar os açúcares redutores. Entretanto, após este pré-tratamento, as etapas do processo de obtenção de álcool são basicamente as mesmas para todas as matérias-primas.

⁴ Álcool impurificado com determinadas substâncias, para que o mesmo tenha apenas usos industriais, não podendo, portanto, ser usado em bebidas.

6.4.1. Matéria-prima

A mandioca é classificada como matéria-prima amilácea, uma vez que possui o amido como principal carboidrato constituinte. Esta raiz também é composta por outros carboidratos de diferentes pesos moleculares, incluindo desde açúcares simples até glicosídeos e material celulósico, além de proteínas, lipídios, vitaminas e sais minerais em menor quantidade (CEREDA, 2001 *apud* OSTROWSKI, 2006). A composição percentual em massa seca da mandioca é apresentada na tabela 8.

Tabela 8: Composição da mandioca em massa seca. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

| | Composição |
|-----------------------|------------|
| Massa seca (%) | 40,6 |
| Amido (% Massa úmida) | 33,50 |
| % Massa seca | |
| Amido | 82,5 |
| Açúcares redutores | 0,20 |
| Fibras | 2,70 |
| Proteínas | 2,60 |
| Matéria graxa | 0,30 |
| Cinzas | 2,40 |

O amido é um carboidrato de estrutura complexa formado por resíduos de D-glicose ligadas entre si por ligações denominadas glicosídicas. Estas ligações recebem numerações entre 1 e 6, conforme mostrado pela figura 5.

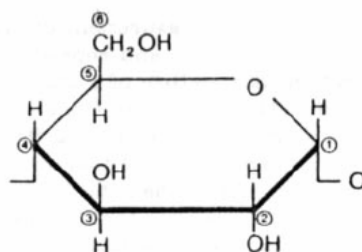


Figura 5: Molécula de glicose. Fonte: CEREDA *et al.*, 2002.

O amido é composto por grânulos compactados insolúveis de amilose e amilopectina. A proporção entre essas duas macromoléculas difere de acordo com a variedade de mandioca. No geral, o teor de amilose no amido desta tuberosa varia entre 20 e 25% (CEREDA *et al.*, 2002).

A amilose, cuja estrutura é apresentada na figura 6, é uma molécula essencialmente linear formada por unidades de D-glicose ligadas em $\alpha(1-4)$ com um pequeno número de ramificações.

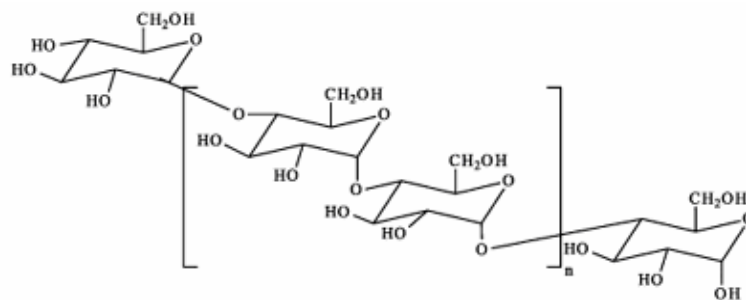


Figura 6: Estrutura da amilose. Fonte: CORRADINI *et al.*, 2005.

Já a amilopectina, assim como a amilose, é formada por ligações $\alpha(1-4)$ nas porções retilíneas, apresentando muitas ramificações devido à presença de ligações $\alpha(1-6)$ entre as cadeias de glicose. Estas ramificações ocorrem entre 20 a 30 moléculas de glicose. Esta característica torna a amilopectina menos suscetível que a amilose ao ataque de certas enzimas amilolíticas (VILPOUX *et al.*, 2003). A estrutura da amilopectina é apresentada na figura 7.

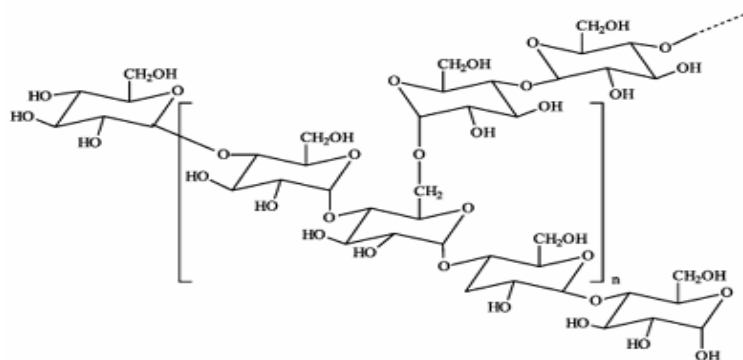


Figura 7: Estrutura da amilopectina. Fonte: CORRADINI *et al.*, 2005.

As variedades de mandioca mais indicadas para a produção de etanol são aquelas que apresentam maior teor de amido, como a industrial.

6.4.2. Etapas do processo

Segundo VENTURINI FILHO e MENDES (2003), a obtenção industrial de álcool etílico de mandioca por via fermentativa envolve as seguintes etapas (Figura 8):

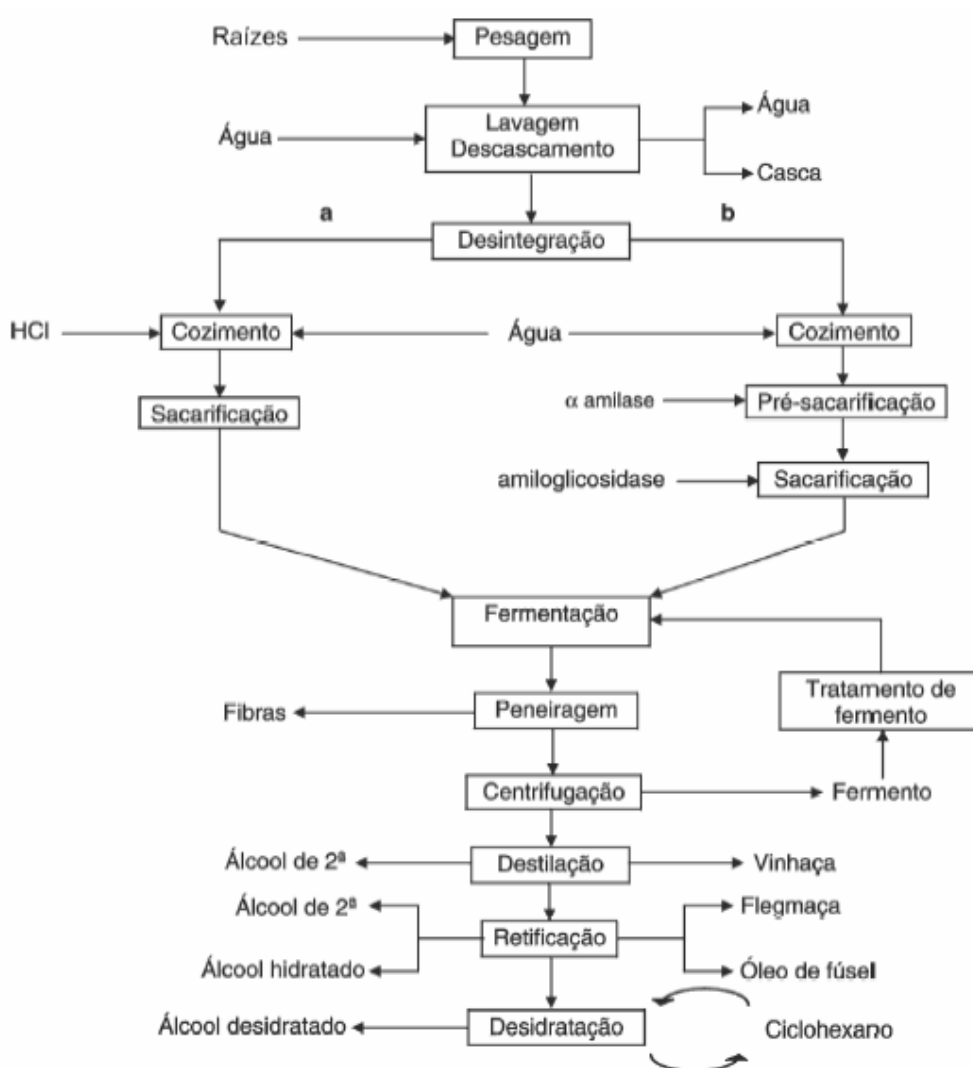


Figura 8: Diagrama de blocos da produção de álcool a partir de mandioca: (a) Hidrólise ácida; (b) Hidrólise enzimática. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

6.4.2.1. Pesagem, lavagem e descascamento

Após a pesagem as raízes de mandioca são lavadas e descascadas em lavadores e descascadores para a eliminação de impurezas como terra e areia, que afetam negativamente os equipamentos e o processo.

6.4.2.2. Desintegração

Nesta etapa, a raiz é ralada a fim de aumentar a superfície específica e facilitar a penetração do calor, a gelificação e o ataque das enzimas amilolíticas ou do ácido clorídrico, durante a sacarificação do amido. Se a raspa de mandioca é usada como matéria-prima, dispensam-se as operações de lavagem e descascamento. Nesse caso, a raspa é moída em moinho de martelo.

6.4.2.3. Cozimento ou gelatinização

Para que se possa fazer a sacarificação do amido, é necessário que este se encontre sob forma de goma ou geleificado. O objetivo da gelatinização é intumescer os grânulos de amido a fim de torná-los mais suscetíveis ao ataque das enzimas amilolíticas ou dos outros compostos químicos utilizados na etapa de sacarificação.

Sob baixas temperaturas a gelatinização ocorre primeiramente nas regiões amorfas do grânulo. Sob aquecimento continuado, eventualmente todas as regiões amorfas são desestabilizadas e as regiões cristalinas começam a gelatinizar. A extensão desse processo, entretanto, depende da temperatura. Com a elevação da temperatura de aquecimento, a extensão de regiões cristalinas que são gelatinizadas também aumenta. Quando a temperatura é suficientemente elevada, ambas as regiões, amorfas e cristalinas, são gelatinizadas. (LUND, 1981 *apud* CEREDA, 2001).

O inchamento dos grânulos em água e a concomitante solubilização da amilose e amilopectina induzem à gradual perda da integridade granular com a geração de uma pasta viscosa (LEACH *et al.*, 1959 *apud* CEREDA, 2001).

O primeiro passo da etapa de gelatinização é a hidratação da matéria-prima com água acidulada de pH 4,5 a 5,0, a 55-65 °C, até a absorção de 40 a 50%, o que se consegue

em 13-15 horas. Passa-se o material hidratado para os cozedores, onde se procede ao máximo de desagregação do produto na forma coloidal de goma. Para facilitar a solubilização das matérias protéicas e o cozimento do amido, opera-se sob pressão de 3 atm, aproximadamente, e em presença de solução de ácido clorídrico de pH 5,5, com adição de 200-300 litros de água por 100 Kg de grãos hidratados. O tempo de cozimento varia com a natureza do amido, podendo-se estabelecer 3 horas como parâmetro indicativo (LIMA; BASSO, DE AMORIM, 2001)

6.4.2.4. Sacarificação

Uma vez que os agentes de fermentação alcoólica não produzem enzimas amilolíticas, matérias-primas amiláceas devem ser submetidas à etapa de sacarificação com o objetivo de transformar o amido em açúcares fermentescíveis.

A hidrólise consiste no fracionamento do polímero de amido com liberação de moléculas menores. Se for completa, dará origem apenas à glicose. A sacarificação pode ser realizada por via química ou biológica.

Hidrólise química

A hidrólise química do amido tem por base o fato de que a ligação glicídica é estável em condições alcalinas, mas é hidrolisada em condições ácidas. Durante a hidrólise, há o desdobramento total das moléculas de amilose, que se rompem e transformam-se em dextrinas cada vez mais simples e finalmente em glicose (VILPOUX *et al.*, 2003).

Vários compostos podem ser utilizados para promover a hidrólise química do amido, sendo os ácidos minerais os mais utilizados. Processos físicos, como calor ou pressão, podem ser utilizados como catalisadores, acelerando a sacarificação.

Segundo CEREDA (2002), a hidrólise ácida é tanto mais rápida quanto maior o poder ionizante do ácido. A hidrólise também depende da temperatura e atinge velocidade máxima na temperatura de ebulição, sob pressão normal. Aumentando a pressão, é possível aumentar ainda mais a velocidade.

Para realizar a hidrólise ácida, adiciona-se ácido, geralmente HCl concentrado na proporção de 0,1 a 0,2% sobre o peso seco de amido, à goma proveniente da etapa de

gelatinização, que possui concentração em torno de 50% em massa seca. Em seguida, submete-se à ação do calor por período de tempo que depende do processo (VILPOUX *et al.*, 2003).

A hidrólise química do amido é muito utilizada no Brasil devido ao seu baixo investimento. Outra vantagem deste tipo de hidrólise é o pequeno tempo necessário para realizar a sacarificação. No entanto, a hidrólise ácida apresenta como desvantagens a corrosão dos equipamentos e a necessidade de neutralização da solução açucarada após a hidrólise. Além disso, este tipo de hidrólise pode provocar certa destruição de açúcares. Outro ponto negativo é o fato de este processo gerar açúcares não fermentescíveis, o que contribui para a queda do rendimento (VILPOUX *et al.*, 2003).

Hidrólise biológica

Na hidrólise biológica ocorre a ação de enzimas amilolíticas sobre o amido. Estas enzimas podem ser de origem vegetal, produzidas por microrganismos adicionados ao processo ou preparados enzimáticos purificados produzidos por culturas puras.

a) Maltagem

O malte é um cereal germinado em condições especiais de umidade, temperatura e aeração. O objetivo da maltagem é elevar o conteúdo enzimático dos grãos do cereal utilizado através da síntese de amilases. O malte, rico em enzimas amilolíticas, é seco e reduzido a pó. A sacarificação ocorre pela ação das enzimas quando o malte é adicionado ao amido previamente preparado, transformando-o em maltose, dissacarídeo diretamente fermentescível e dextrinas, não fermentescíveis.

b) Processo amilo

Neste tipo de hidrólise, há o emprego de um fungo capaz de produzir amilase que atua sobre o amido transformando-o em açúcares fermentescíveis. As espécies mais utilizadas são *Amylomyces rouxii*, *Aspergillus oryzae*, *Rhizopus japonicus*, *Chlamydomucor*

oryzae e *Mucor delemar* (LIMA; BASSO, DE AMORIM, 2001). Associa-se ao fungo com propriedades amilolíticas, a levedura encarregada da fermentação alcoólica dos açúcares proveniente da hidrólise. Como em fungos é comum a presença de maltase, o processo geralmente chega até glicose (CEREDA *et al.*, 2002).

c) Ação direta de enzimas

São utilizados preparados enzimáticos produzidos previamente por culturas puras de fungos e bactérias. As enzimas comerciais normalmente são produzidas através do cultivo de *Bacillus subtilis*, no caso da α -amilase, e *Aspergillus niger* ou *Aspergillus awamori*, no caso da amiloglicosidase.

Neste tipo de hidrólise, é necessário realizar primeiro a pré-sacarificação com enzimas liquidificantes, que reduzem a viscosidade das pastas gelatinizadas do amido para depois proceder à sacarificação de fato, quando são obtidos os açúcares através da ação de enzimas sacarificantes.

Em todos os casos citados anteriormente, há a atuação das chamadas diastases ou enzimas amilolíticas, que atuam sobre o amido transformando-os em açúcares fermentescíveis, ou seja, que poderão ser metabolizados pelo agente de fermentação.

Estas enzimas catalisam as reações de hidrólise e são classificadas segundo o mecanismo de ação em endo-enzimas ou exo-enzimas. As endo-enzimas são enzimas que atuam ao acaso em ligações glicídicas no interior das moléculas de amido. A endo-enzima mais utilizada em processos fermentativos para a produção de etanol é a α -amilase. Já as exo-enzimas hidrolisam a molécula de amido a partir de uma extremidade não redutora. As mais comuns são a β -amilase e a amiloglicosidase.

- **α -amilase**

A α -amilase ataca a amilose e a amilopectina, catalisando especificamente e ao acaso a hidrólise das ligações $\alpha(1-4)$ do amido, deixando as ligações $\alpha(1-6)$ intactas, iniciando o ataque pelas extremidades não redutoras. Esta enzima transforma o amido em α -dextrinas de alto peso molecular. A ação da α -amilase sobre a amilose produz apenas

dextrinas. A α -amilase é considerada uma enzima liquidificante, porque reduz drasticamente a viscosidade de pastas gelificadas de amido, e é utilizada na etapa de pré-sacarificação (CEREDA *et al.*, 2003). A estrutura da α -amilase pode ser observada na figura 9.

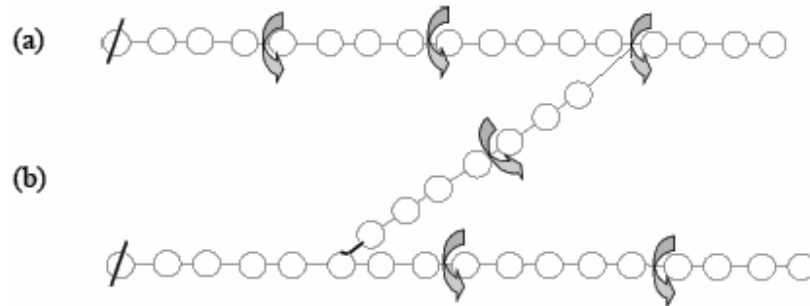


Figura 9: Ação da α -amilase sobre amilose (a) e amilopectina (b). Fonte: CEREDA *et al.*, 2002.

- **β -amilase**

A β -amilase catalisa especificamente a hidrólise das ligações $\alpha(1-4)$ do amido a partir de uma extremidade não-redutora produzindo apenas maltose. Glicose pode aparecer apenas se o número de unidades de glicose for ímpar, de forma que ao cortar maltose, sobra uma glicose (VILPOUX *et al.*, 2003).

A β -amilase é considerada uma enzima sacarificante, uma vez que produz açúcares a partir do amido. A ação conjunta de α e β -amilases sobre a amilopectina, com a impossibilidade de hidrolisar as ligações $\alpha(1-6)$, produz as chamadas dextrinas-limites, designação genérica para um conjunto de dextrinas de diferentes pesos moleculares, nas quais todas as extremidades possuem uma unidade de glicose ou uma unidade de maltose, ligadas por $\alpha(1-6)$ (VILPOUX *et al.*, 2003). A β -amilase é utilizada na etapa de sacarificação propriamente dita. A estrutura da β -amilase pode ser observada na figura 10.

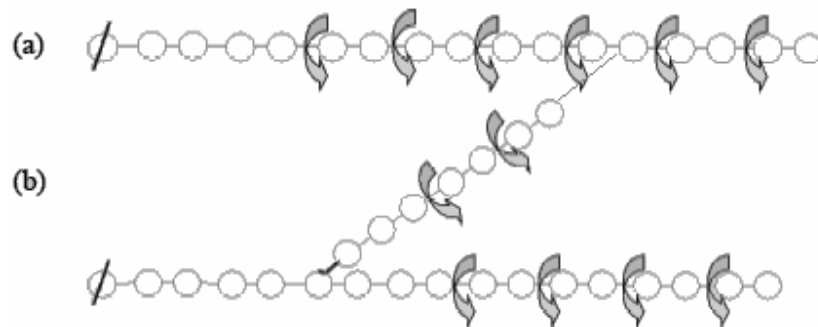


Figura 10: Ação da β -amilase sobre amilose (a) e amilopectina (b). Fonte: CEREDA *et al.*, 2002.

- **Amiloglicosidase**

A amiloglicosidase consiste em uma enzima liquidificante e sacarificante, que hidrolisa completamente o amido em glicose a partir de uma extremidade não redutora. É a única das três enzimas citadas capaz de hidrolisar ao mesmo tempo as ligações $\alpha(1-4)$ e $\alpha(1-6)$.

O resultado da conversão enzimática do amido por amiloglicoamilase é a transformação total deste polímero em unidades de glicose (VILPOUX *et al.*, 2003). Assim como a β -amilase, a amiloglicosidase é utilizada na etapa de sacarificação propriamente dita.

A figura 11 mostra as áreas de atuação sobre a molécula de amido de cada uma das enzimas citadas anteriormente.

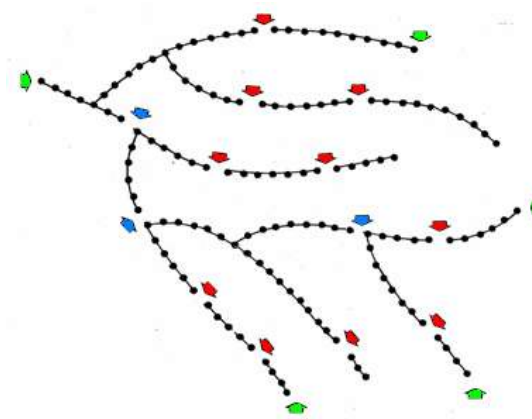


Figura 11: Ação da α -amilase (setas vermelhas), β -amilase (setas verdes) e da amiloglicosidase (setas azuis) sobre o amido.

A utilização da hidrólise enzimática possui muitas vantagens em relação à sacarificação química, como por exemplo, menor gasto de energia, uma vez que as condições do processo são mais brandas. Além disso, ao contrário da hidrólise química que produz quantidades significativas de sal devido à necessidade de neutralização da solução açucarada após a hidrólise, o teor de minerais na hidrólise enzimática é mínimo (devido à necessidade de Ca^{+2} para a atividade das enzimas – no caso de utilização de água dura, não há necessidade de adicionar Ca^{+2}), o que permite a utilização de resinas de troca iônica para a remoção dos sais formados. (VILPOUX *et al.*, 2003). Outras desvantagens inerentes ao processo de hidrólise química ácida foram citadas anteriormente no item que aborda este tipo de sacarificação.

Conforme pode ser observado na tabela 9, a hidrólise por enzimas comerciais apresenta rendimentos superiores à hidrólise ácida ou a outros tipos de hidrólise enzimática.

Tabela 9: Comparação de rendimento de hidrólise com ácidos, enzimas comerciais, microrganismos (processo amilo) e malte. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

| Hidrólise | Ácida (%) | Enzimática (%) | | |
|------------------------------------|-----------|--------------------|----------------|---------|
| | | Enzimas comerciais | Processo amilo | Malte |
| Rendimento de hidrólise (*) | 43 - 73 | 95 | 80 - 85 | 70 - 74 |

(*) Rendimento baseado na produção teórica de glicose.

No entanto, segundo VILPOUX (2003), os custos elevados da linha de processamento enzimático e das enzimas são fatores restritivos à aplicação desta tecnologia. Além do investimento inicial, a tecnologia enzimática exige mão de obra mais especializada, assim como laboratórios e análises mais sofisticados.

6.4.2.5. Fermentação

Segundo LEHNINGER (2005), fermentação é o termo geral para a degradação anaeróbica da glicose ou outro nutriente orgânico para a obtenção de energia conservada na forma de ATP.

No processo conhecido como fermentação alcoólica, uma molécula de glicose é transformada em duas moléculas de piruvato, através da glicólise, que por sua vez, sob condições anaeróbicas, são convertidas em etanol e CO₂.

A transformação da glicose em etanol e CO₂ envolve 12 reações em seqüência ordenada, cada qual catalisada por uma enzima específica chamadas de enzimas glicolítica (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

O objetivo principal do agente de fermentação ao metabolizar anaerobicamente o açúcar é gerar energia. O álcool e o CO₂ são apenas produtos de excreção, não possuindo utilidade metabólica para a célula em anaerobiose.

Segundo LIMA; BASSO; AMORIM (2001) na seqüência de reações enzimáticas de produção de ATP e intrínsecas à produção de etanol, rotas metabólicas alternativas aparecem para propiciar a formação de materiais necessários à constituição de biomassa e de outros produtos de interesse metabólico. Desta forma, juntamente com o etanol e o CO₂ são excretados glicerol, ácidos orgânicos, álcoois superiores, acetaldeído, acetoína, butilenoglicol e outros compostos em menores quantidades.

Ainda segundo LIMA; BASSO; AMORIM (2001), estima-se que 5% do açúcar metabolizado pela levedura seja desviado para gerar tais produtos secundários da fermentação, resultando em um rendimento de 95 % de etanol. Entretanto, em condições industriais, nas quais fatores químicos, físicos e microbiológicos afetam os agentes de fermentação, normalmente, são obtidos rendimentos de 90%.

- **Agentes de fermentação alcoólica**

As leveduras são os microrganismos mais importantes na obtenção de etanol por via fermentativa. Algumas bactérias também são capazes de produzir etanol. No entanto, processos que utilizam leveduras como agentes de fermentação apresentam maiores rendimento e produtividade com baixa produção de componentes secundários (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

A levedura empregada na fermentação depende de várias circunstâncias, entre as quais o substrato ou a matéria-prima utilizada, o teor alcoólico desejado no produto final, a duração da fermentação, as propriedades do produto e outros. A levedura mais utilizada

para a produção de álcool comum, aguardente, cerveja e outras bebidas e na panificação é a *Saccharomyces cerevisiae*.

- **Condições de fermentação**

- a) Temperatura**

Uma vez que leveduras são microrganismos mesófilos, as temperaturas ótimas para a produção industrial de etanol situam-se entre 26 e 35 °C. Temperaturas mais altas aumentam a velocidade da fermentação, mas também favorecem a contaminação bacteriana, ao mesmo tempo em que a levedura fica mais sensível à toxidez do etanol (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

- b) pH**

A faixa de pH adequada para o desenvolvimento da fermentação é entre 4,0 e 5,0. O pH baixo inibe o desenvolvimento de bactérias contaminantes, sem prejudicar o desenvolvimento da levedura, além de aumentar o rendimento, uma vez que restringe o crescimento da biomassa LIMA; BASSO; AMORIM (2001).

- c) Concentração de matéria-prima**

O aumento da concentração de açúcares no mosto aumenta a velocidade de fermentação, a produtividade e, dentro de certos limites, acarreta menor crescimento dos agentes de fermentação (LIMA; BASSO, DE AMORIM, 2001). No entanto, altas concentrações de açúcares causam estresse osmótico, o que pode levar a quedas no rendimento do processo.

d) Contaminação bacteriana

Uma vez que a fermentação industrial devido à dimensão do processo não é conduzida sob condições de completa assepsia, há freqüente contaminação bacteriana, que, dependendo da intensidade, pode comprometer o rendimento do processo fermentativo, uma vez estes microrganismos são responsáveis por fermentações secundárias como a láctica, acética, dextrânica e butírica. As bactérias mais comuns em contaminações de fermentações são as lácticas (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

Para minimizar a presença dos microrganismos contaminantes, deve-se utilizar inóculos assépticos, realizar o monitoramento biológico permanente ao longo do processo, controlar a qualidade microbiológica das matérias-primas, da água de processo e manter as instalações sanitizadas (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

e) Nutrição mineral e orgânica

Leveduras são microrganismos que não são capazes de metabolizar carboidratos complexos como o amido. Exigem uma fonte de carbono orgânico simples como glicose, sendo necessário, como dito anteriormente, sacarificar o amido da mandioca, antes de iniciar o processo de fermentação.

Também é necessário adicionar ao mosto de fermentação algumas vitaminas, nitrogênio (nas formas amoniacal, amídica ou amínica), fósforo, enxofre, potássio, magnésio, cálcio, zinco, manganês, cobre, cobalto, iodo e outros elementos em menor quantidade (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

6.4.2.5.1. Sistemas de fermentação

Os processos de fermentação alcoólica podem ser classificados em descontínuos (batelada), batelada alimentada ou contínuos. No caso da produção industrial de etanol a partir de mandioca, os processos descontínuo e contínuo com recirculação de células devem ser utilizados, pois a reciclagem dos agentes de fermentação aumenta a concentração de levedura no mosto, aumentando a produtividade do processo como pode ser visto na tabela 10 (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003). Como estes dois processos são os mais

vantajosos para a indústria alcooleira, eles serão abordados mais detalhadamente neste texto.

Tabela 10: Produtividade de alguns processos de fermentação alcoólica. Fonte: Rehm e Reed, s.d. *apud* VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

| Processo | Produtividade (g/L.h) |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Descontínuo | 2 |
| Descontínuo com reciclo de células | 15 |
| Contínuo mono-estágio | 5 |
| Contínuo multi-estágio | 12 |
| Contínuo com recirculação de células | 40 |

a) Processo descontínuo com recirculação de células

É conhecido no meio alcooleiro como batelada alimentada ou *Melle-Boinot* (figura 12) e é o processo de fermentação mais utilizado nas destilarias brasileiras, apesar de possuir um rendimento menor que o processo contínuo com recirculação de células, devido ao caráter conservador da indústria de produção de etanol brasileira. A utilização de um processo contínuo exigiria investimentos para a mudança de tecnologia de produção e a implantação de um sistema de controle e automação.

Sua principal característica é o reaproveitamento das leveduras. Este sistema, além de possibilitar uma redução no tempo de fermentação, causa um menor consumo de substrato para o crescimento celular, sendo quase todo ele utilizado para a conversão em álcool, uma vez que já se dispõe de uma concentração elevada de células no início da fermentação (LEAL, 2006).

Neste processo, o inóculo já preparado no fundo do fermentados recebe o mosto em filete contínuo até o enchimento da dorna. A fermentação é monitorada pelo controle de sua temperatura e pelo acompanhamento da variação do °Brix do mosto. Quando o °Brix torna-se constante, a fermentação é considerada encerrada e o mosto fermentado juntamente com as leveduras em suspensão são enviados a uma centrífuga. Esse equipamento separa as células do mosto fermentado. O mosto fermentado, praticamente isento de células, segue para a destilaria, para recuperação do álcool etílico (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

As leveduras recuperadas, antes de retornar ao processo fermentativo, recebem um tratamento químico, onde recebem água e ácido sulfúrico na proporção 1:1 até o meio atingir um pH de 2,5-3,0. Esta suspensão de células, conhecida como pé-de-cuba, permanece neste pH sob agitação por aproximadamente 2 horas (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003). Este tratamento visa destruir a maior parte dos microrganismos contaminantes, bem como as leveduras alcoólicas debilitadas. Após o tratamento, o fermento é enviado novamente ao fermentador, reiniciando o processo (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

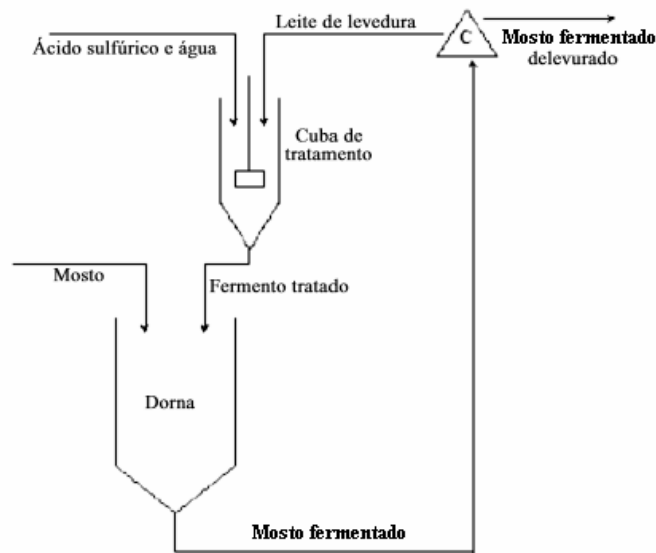


Figura 12: Processo descontínuo de fermentação alcoólica com recirculação de leveduras. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

O processo descontínuo alimentado possui a vantagem de possibilitar a limpeza e higienização do fermentador, uma vez que o mesmo é esvaziado a cada ciclo de operação evitando contaminações nas dornas de fermentação. No entanto, este tipo de processo apresenta tempos mortos que diminuem a produtividade, além de exigir mais mão-de-obra e serem de difícil automatização (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

b) Processo contínuo com recirculação de células

Segundo VENTURINI FILHO e MENDES (2003), este processo pode ser conduzido com uma ou mais dornas ligadas em série, sendo este último o que apresenta mais produtividade. No processo contínuo, o primeiro fermentador recebe continuamente mosto e ar, os quais fornecem às leveduras alcoólicas nutrientes e oxigênio para a multiplicação e produção de etanol. O mosto parcialmente fermentado do primeiro fermentador é enviado em fluxo contínuo para os demais fermentadores, os quais apresentam tempo de residência variável em função do volume e fluxo do mosto.

O mosto fermentado, contendo os agentes de fermentação em suspensão, que sai continuamente da última dorna, é centrifugado, com objetivo de recuperar as leveduras. Esta leveduras passam por um tratamento similar ao descrito para o processo de batelada-alimentada, retornando, posteriormente, ao processo. Já o mosto fermentado sem as leveduras é encaminhado para a destilação (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003). Na figura 13 pode-se observar um esquema do processo contínuo com recirculação de leveduras.

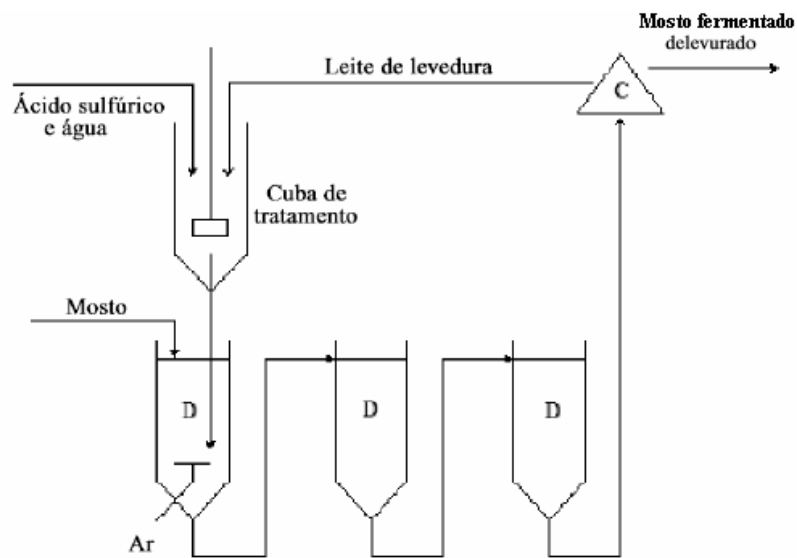


Figura 13: Processo contínuo de fermentação alcoólica com recirculação de leveduras.

Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

Neste processo, ao contrário do descontínuo, as dornas estão permanentemente cheias, não permitindo a limpeza dos fermentadores, sendo necessário redobrar a atenção

em relação a contaminações. No entanto, o processo contínuo pode ser considerado mais adequado para produções em maiores escalas uma vez que são mais facilmente automatizados (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

6.4.2.5.2. Rendimento da fermentação

Segundo VENTURINI FILHO e MENDES (2003), os rendimentos teóricos da glicose e do amido são, respectivamente, 647,0 e 718,9 litros de etanol por tonelada de carboidrato. O maior rendimento teórico da fermentação alcoólica do amido deve-se ao fato de esta molécula apresentar-se desidratada em relação à glicose, uma vez que se perde uma molécula de água a cada ligação $\alpha(1-4)$ ou $\alpha(1-6)$ realizada.

Já o rendimento industrial a partir da transformação amido \rightarrow glicose \rightarrow álcool está entre 600 e 610 litros de álcool por tonelada de fécula proveniente de raízes frescas de mandioca. Desta forma, a eficiência global do processo de produção de etanol a partir de fécula de mandioca é de 83,5% para a glicose e de 84,9% para o amido (Lima e Marcondes, 1979 *apud* VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

A quantidade de etanol produzida a partir de certa quantidade de mandioca depende diretamente do teor de amido e açúcares presentes nas raízes utilizadas no processo. Considerando-se apenas a fermentação de amido e açúcares, uma tonelada de mandioca com teor de amido em torno de 33% e 2% de açúcares produz 211 litros de álcool combustível. No entanto, já existem variedades de mandioca com 36% de amido, o que proporciona 230 litros de etanol por tonelada de mandioca (DA SILVA, s.d.).

Reunindo dados de outros autores, VENTURINI FILHO e MENDES (2003) fizeram uma comparação entre a composição química e rendimento teórico de etanol, considerando a fermentação não só do amido, mas de outros componentes dos derivados de mandioca, com exceção dos açúcares fermentescíveis (Tabela 11).

Tabela 11: Rendimento teórico de etanol de derivados de mandioca. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

| Composição química | Fécula | Farinha | Raspas | Raiz |
|--------------------------------------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Umidade (%) | 12,28 | 12,85 | 15,77 | 59,40 |
| % em massa seca | | | | |
| Cinzas | 0,12 | 0,86 | 1,05 | 2,40 |
| Fibra | 0,17 | 2,57 | 3,10 | 2,70 |
| Amido | 96,41 | 82,30 | 84,10 | 82,50 |
| Proteína | 0,18 | 1,46 | 0,18 | 2,60 |
| Gordura | 0,10 | 0,32 | 0,40 | 0,30 |
| Rendimento teórico (litros/tonelada) | 607,47 | 515,20 | 508,83 | 240,59 |

Considerando que raízes de mandioca possuem em torno de 2 a 4% de açúcares fermentescíveis sobre massa úmida, pode-se considerar que o rendimento teórico é maior do que o especificado na tabela 11 (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

6.4.2.6. Destilação, retificação e desidratação

A destilação consiste no processo de separação de componentes de uma mistura que está baseado na volatilidade de cada um destes componentes em uma determinada temperatura e pressão. No caso de destilação de misturas homogêneas de líquidos perfeitamente miscíveis, como é o caso das misturas hidroalcoólicas, o destilado consiste na mistura de vapores dos dois componentes, com predominância daquele que possui menor volatilidade. Misturas hidroalcoólicas apresentam, à pressão atmosférica, uma temperatura de ebulição entre 78,35 e 100 ° C, a temperatura de ebulição de etanol e água, respectivamente. A temperatura de ebulição será tão mais próxima de 78,35 quanto maior sua riqueza em etanol (LIMA; BASSO; AMORIM, 2001).

No processo de produção de etanol, o líquido a ser destilado é o mosto fermentado, constituído de fases gasosa, sólida e líquida. Na fase gasosa há a predominância do CO₂, um dos produtos da fermentação alcoólica. A fase sólida é constituída de leveduras, bactérias contaminantes, sais minerais, açúcares não fermentados e não fermentescíveis e outras impurezas em solução (LIMA; BASSO, DE AMORIM, 2001).

Já a fase líquida, a mais importante quali e quantitativamente, é constituída de água (88 – 93%), etanol (7 – 12%) e outros constituintes secundários como aldeídos, ácidos

orgânicos, ésteres, álcoois superiores, glicerol, furfural, entre outros. (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003). Segundo LIMA; BASSO; DE AMORIM (2001), estes compostos possuem pequena importância em relação ao volume, mas possuem grande efeito na qualidade do destilado.

Na destilação, o etanol é geralmente separado em duas etapas. A primeira separa o mosto fermentado, sob a forma de mistura hidroalcoólica impurificada com aldeídos, ésteres, álcoois superiores e ácidos orgânicos. Outra, para separar as impurezas no etanol (LIMA; BASSO, DE AMORIM, 2001). Os processos de destilação podem ser classificados em contínuos e descontínuos (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Destilações descontínuas são realizadas em alambiques e são mais largamente utilizadas para a produção de aguardente em pequenas destilarias como, por exemplo, a tiquira, cachaça de mandioca produzida na região Amazônica do Brasil (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Na destilação descontínua, faz-se a carga no aparelho, esgota-se o álcool do mosto fermentado por aquecimento, evaporação e condensação, descarrega-se o resíduo ou mosto fermentado, faz-se nova carga e assim por diante. Em uma destilação descontínua é realizada a destilação simples. Primeiramente, são vaporizadas substâncias mais voláteis que o álcool e a água. O primeiro destilado, chamado de destilado de cabeça, é constituído por uma mistura de água, álcool, bases voláteis, aldeídos e ácidos (LIMA; BASSO, DE AMORIM, 2001).

Após esta primeira separação, a destilação do mosto fermentado resulta em vapores mais ricos em etanol e menos impuros, conhecidos como destilado de coração. Após o esgotamento do etanol, obtém-se o chamado destilado de cauda, vapores menos puros constituídos de água, etanol e álcoois superiores. O produto final é uma mistura dos destilados de cabeça, coração e cauda ou apenas do destilado de coração. No Brasil geralmente não há a separação de cauda e cabeça para a produção de aguardentes. (LIMA; BASSO; DE AMORIM, 2001).

Para a produção industrial de álcool, geralmente, utiliza-se o processo contínuo, que usa colunas ou torres de destilação (figura 14) (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Para a produção de álcool hidratado, utilizam-se duas colunas, uma de destilação e outra de retificação. A coluna de destilação é responsável pela destilação do mosto

fermentado, obtendo-se como produto o flegma e a vinhaça e o álcool de segunda como subprodutos. Já a coluna de retificação tem como objetivo concentrar e purificar o flegma, obtendo-se álcool hidratado como produto e flegmaça, álcool fúsel e álcool de segunda como subprodutos.

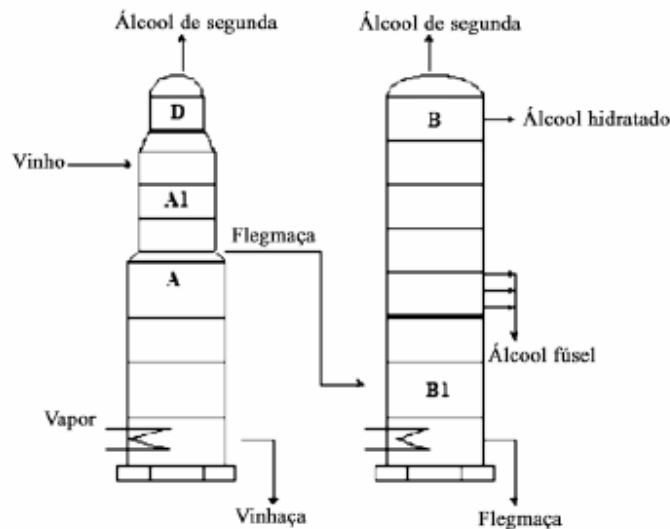


Figura 14: Produção de álcool hidratado por processo contínuo. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

Para obter o álcool anidro, é necessário introduzir alterações no processo, uma vez que nesta concentração a água forma uma mistura azeotrópica com o etanol, não sendo possível fracionar a mistura pelos processos convencionais de destilação. Desta forma, as destilarias costumam utilizar ciclohexano para a formação de novas misturas azeotrópicas a fim de produzir o álcool na sua forma anidra (figura 15).

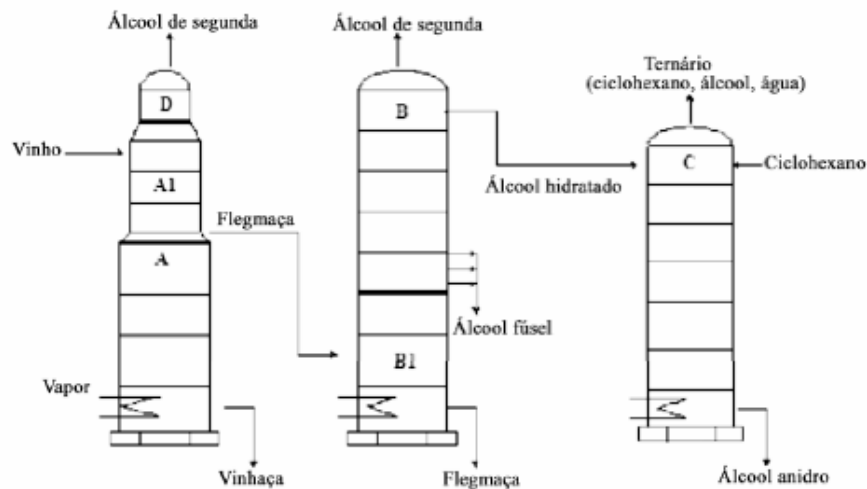


Figura 15: Produção de álcool anidro por processo contínuo. Fonte: VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

6.4.3. Balanço de massa do processo

O balanço de massa pode ser definido como uma contabilização precisa das entradas e saídas de um processo. As entradas geralmente são as matérias-primas e os insumos necessários para a operação. Já a saída consiste basicamente no produto e nos resíduos gerados.

A determinação de balanços de massa é essencial para proporcionar uma visão geral do processo estudado, ampliando a visibilidade dos potenciais produtivos e possibilitando que estudos sejam realizados a fim de torná-lo mais sustentável, reduzindo os impactos sobre os recursos naturais e o meio ambiente (CABELLO; SALLA, 2007).

CABELLO e SALLA (2007) realizaram a determinação do balanço de massa da produção de etanol a partir da mandioca através de um experimento realizado em uma planta piloto desenvolvida pelo CERAT, objetivando otimizar as quantidades de insumos necessárias. Os autores utilizaram mandiocas com 38% de massa seca e teores de amido e açúcares fermentescíveis de 33% e 2%, respectivamente. A sacarificação foi realizada por via enzimática, utilizando α -amilase e amiloglicosidase comerciais.

De acordo com os autores, o processamento industrial de mandioca para a obtenção de etanol de uma tonelada de raízes limpas e frescas requer 1.600 Kg de água, resultando em 2.270 Kg de efluentes, 154 g de CO_2 e 210,60 litros de etanol (Figura 16).

No entanto, o estudo realizado é simplificado, não sendo especificadas as quantidades de cada resíduo gerado durante o processo, como a vinhaça e o óleo fúsel, que serão abordados no próximo item.

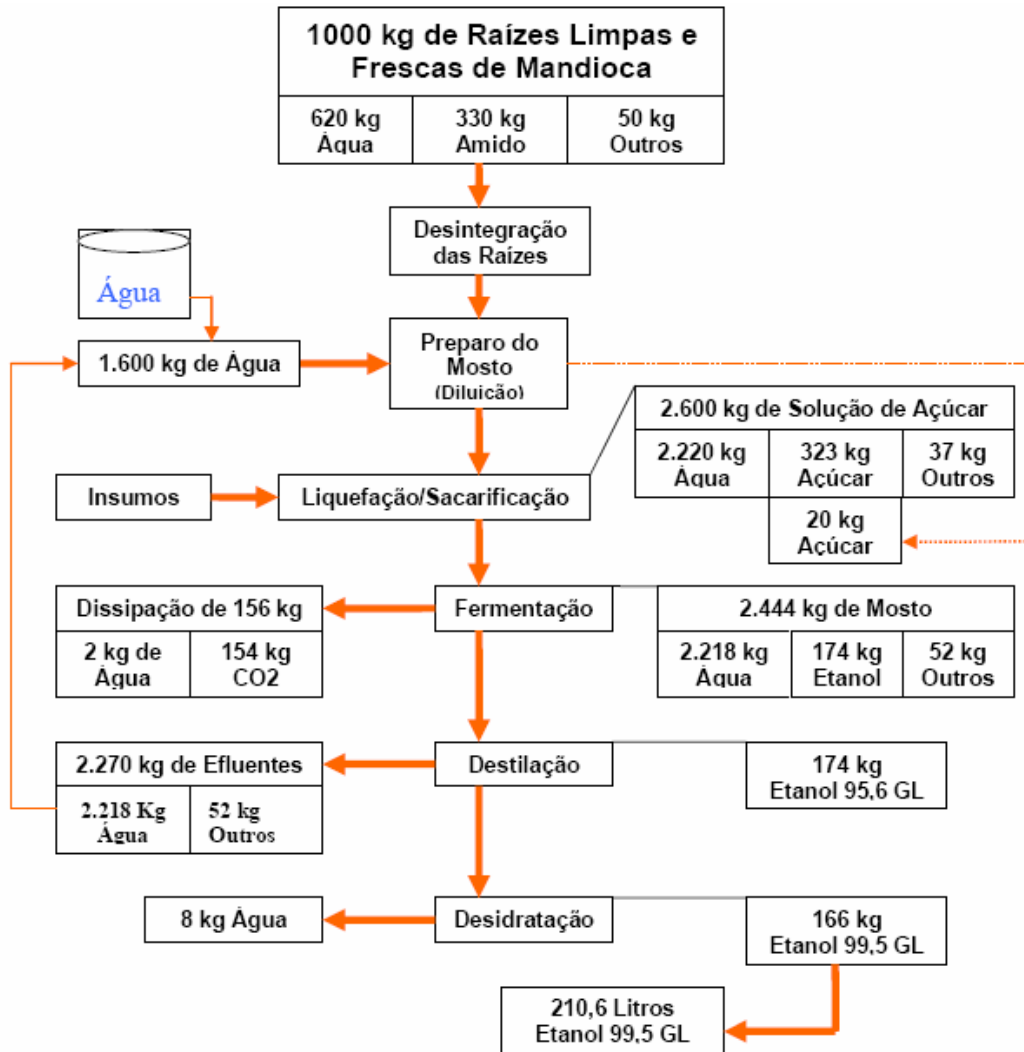


Figura 16: Balanços de massa do etanol, água, CO₂ e efluentes no processamento industrial da mandioca para produção de etanol. Fonte: CABELLO e SALLA, 2007.

6.5. Aproveitamento de resíduos da indústria de álcool de mandioca

A palavra resíduo possui um significado depreciativo, remetendo a um produto do processamento que não tem serventia e deve ser descartado. No entanto, este conceito tem sido gradualmente abandonado e substituído por outros como subprodutos ou co-produtos, alterando o conceito do processo e colocando em foco a possibilidade de melhorar a forma de utilização da matéria-prima (CEREDA, 2001b).

A consciência da necessidade de proteção ao meio ambiente, aliada às exigências feitas pelos órgãos ambientais para o despejo responsável de resíduos, de forma a minimizar seus efeitos na natureza, foram um dos fatores que colaboraram para esta mudança. Atualmente, a imagem de indústria limpa, ambiental e socialmente responsável é uma peça mercadológica (CEREDA, 2001b).

Outro fator importante é o fato de ser cada vez mais caro realizar o tratamento de resíduos. Neste contexto, é importante incentivar o desenvolvimento de processos cada vez mais limpos, que buscam reduzir a quantidade de resíduos gerados, e buscar utilizações viáveis e econômicas para aqueles que são inevitavelmente produzidos. Sempre que possível, o resíduo deve ser reutilizado dentro do próprio processo ou ser a matéria-prima para um novo processo (CEREDA, 2001b).

Desta forma, a gestão de resíduos é um fator estratégico para o crescimento da indústria, uma vez que a destinação correta dos resíduos minimiza custos, diminuindo o tempo de retorno do investimento, e contribui de forma positiva para a imagem da empresa.

Os resíduos da indústria de álcool de mandioca são essencialmente iguais aos gerados na produção de etanol de cana-de-açúcar e podem ter a mesma utilização ou destinação daqueles.

A seguir são expostos os principais resíduos gerados durante a obtenção de etanol e são propostas algumas alternativas para o aproveitamento destes resíduos, objetivando reduzir custos no processo em usinas que possuem mandioca como matéria-prima para que o produto possa ser mais competitivo.

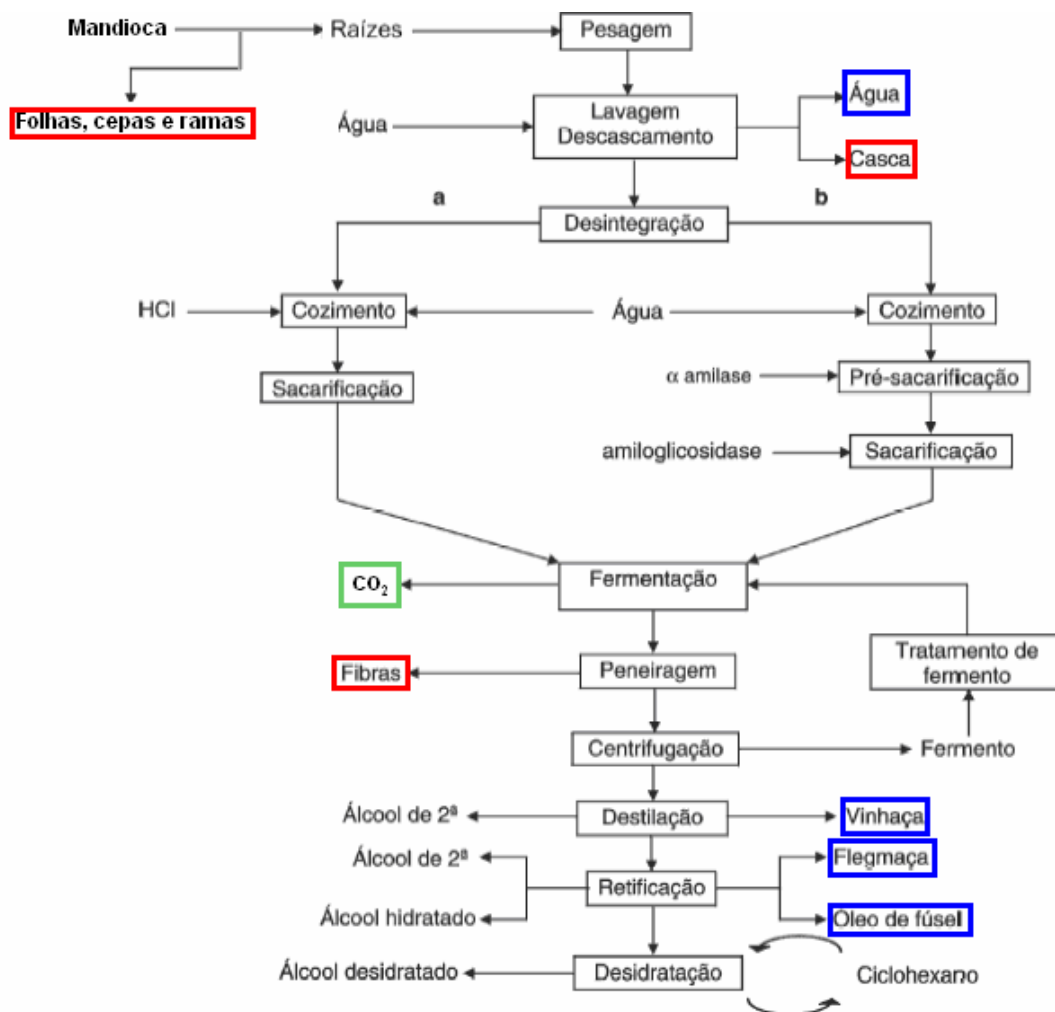


Figura 17: Resíduos gerados durante a obtenção do álcool de mandioca.

Legenda: ■ Resíduos líquidos, ■ Resíduos sólidos, ■ Resíduos gasosos.

Adaptado de VENTURINI FILHO e MENDES, 2003.

6.5.1. Resíduos líquidos

6.5.1.1. Água de lavagem das raízes

A água utilizada para a lavagem das raízes nos lavadores e descascadores carrega em suspensão terra e cascas, que podem ser separados por decantadores e peneiras. Uma vez submetida a estes métodos de separação, esta água constitui-se basicamente naquela captada pela indústria, contendo baixo teor de matéria orgânica originária das raízes em

suspensão ou dissolvida e pode ser reutilizada no processo de lavagem (CEREDA, 2001a). A composição desta água pode ser observada na tabela 12.

Tabela 12: Composição da água de lavagem das raízes da farinha Plaza, Santa Maria da Serra, SP, com 99,46% de umidade. Fonte: CERAT/UNESP, 2000 *apud* CEREDA, 2001a.

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

6.5.1.2. Óleo fúsel

O óleo de fúsel está entre os principais subprodutos da retificação, sendo constituído por impurezas de alto grau de volatilização (AZANIA *et al.*, 2004). A maioria dos componentes do óleo de fúsel são álcoois e ésteres (ENRIQUEZ *et al.*, 1989 *apud* AZANIA *et al.*, 2004). Segundo ALCARDE (s.d.), pode ser refinado, extraíndo-se álcoois com diversos graus de pureza e outras substâncias químicas, como, por exemplo, solventes.

A exemplo do que já ocorre nas usinas de álcool de cana-de-açúcar, o mesmo pode ser vendido para indústrias químicas por um baixo valor comercial (PÉREZ *et al.*, 2001 *apud* AZANIA *et al.*, 2004).

6.5.1.3. Vinhaça

Como na fabricação do etanol a partir da cana-de-açúcar, na produção a partir de amiláceos a vinhaça é o principal efluente. Segundo a Brazil Industrial Solutions (BIS), empresa especializada na construção de usinas de etanol a partir de matérias-primas amiláceas, utilizando vapor direto na coluna de destilação, a proporção deste resíduo é de 10 a 14 litros por litros para cada litro de álcool produzido. Este volume pode ser reduzido se houver um trocador de calor na coluna de destilação, processo conhecido como vapor indireto.

Nas usinas de álcool de cana-de-açúcar, a principal utilização da vinhaça é na aplicação direta nas plantações da cana-de-açúcar, no processo conhecido como conhecido

como fertirrigação. Este mesmo procedimento pode ser adotado nas usinas de álcool de mandioca. A vinhaça possui quantidades consideráveis de nitrogênio e potássio. Realizando a adição de fósforo, é possível realizar a fertilização do solo da própria plantação. Parte da vinhaça também pode ser lançada diretamente na área de plantio como complemento de adubação do solo.

Devidamente concentrado em processo de desidratação, com a torta resultante pode-se produzir desde ração animal até complemento para alimentação humana (BIS, s.d.).

GRANATO e SILVA (2002) sugerem a utilização da vinhaça para a produção de energia elétrica através da geração de biogás em digestores anaeróbios, que poderia ser utilizada na própria usina.

6.5.1.4. Flegmaça

A flegmaça é um resíduo obtido no processo de destilação (retificação) do álcool composto basicamente de glicerina e outras substâncias orgânicas não-voláteis, sendo adicionada à vinhaça e aplicada no campo como substituto da adubação mineral (AZANIA *et al.*, 2004).

6.5.2. Resíduos sólidos

6.5.2.1. Folhas, cepas e ramas

Segundo CEREDA (2001), as folhas de mandioca são ricas em vitaminas A e C, minerais e proteínas, podendo ser aproveitadas para a alimentação humana. A instalação de pequenas indústrias para aproveitamento deste resíduo geraria empregos em regiões carentes, além de fornecer uma complementação alimentar para a população local. No entanto, esta possibilidade de utilização é recente e não há cálculo de custos de obtenção deste material.

Segundo a mesma autora, outra possibilidade seria a produção de hidrolisados. O fracionamento das proteínas das folhas poderia proporcionar material de boas

características nutricionais e plásticas, cujos resíduos poderiam ser utilizados na alimentação animal ou processos biossintéticos.

Em relação às cepas e ramas, a exemplo do que ocorre nas usinas de produção de álcool a partir de cana-de-açúcar, onde o bagaço é utilizado na produção de energias térmica, elétrica e mecânica, deve-se estudar a viabilidade de utilizá-las como fonte de combustível durante o processamento (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

6.5.2.2. Cascas

Segundo CEREDA (2001), as cascas de mandioca consistem em uma fina camada celulósica, correspondendo de 2 a 5% do peso total da raízes.

As cascas são passíveis de tratamento por digestão anaeróbia (Motta, 1985 *apud* CEREDA, 2001) ou ainda empregadas como adubo ou para a alimentação animal (CEREDA, 2001).

6.5.2.3. Fibras

Composto pelo material fibroso da raiz e outros materiais sólidos que foram retidos na etapa de peneiragem, havendo a possibilidade de conter amido não hidrolisado. Pode ser utilizado como ração animal.

6.5.3. Resíduos gasosos

6.5.3.1. CO₂

O gás carbônico produzido durante a fase de fermentação pode ser recolhido e processado para uso em fábricas de refrigerantes, bicarbonato de sódio, cargas de extintores de incêndio, gelo seco ou outros fins. Desta forma, além de agregar valor ao resíduo, a usina não contribuirá para o agravamento do efeito estufa, uma vez que CO₂ não será lançado na atmosfera.

6.6. Balanço energético global da produção de etanol de mandioca

Um dos estudos mais recentes sobre a capacidade de produção de energia de mandioca foi realizado por SALLA (2008). O objetivo da pesquisa foi quantificar a energia consumida para transformar cana, milho ou mandioca em etanol e compará-la à energia obtida a partir deste combustível, a mandioca foi a matéria-prima que proporcionou maior lucro energético. De acordo com o autor, para cada caloria de energia investida com a mandioca há um retorno de 1,76 caloria de energia em etanol, enquanto o milho apresenta um retorno de 1,19 caloria e a cana, apenas 1,09 caloria (Tabela 13).

No entanto, estes valores não consideram a energia gerada através da combustão do bagaço da cana-de-açúcar. Neste caso o balanço energético da cana-de-açúcar sobe para 8,54, apresentando-se muito superior aos balanços energéticos da mandioca e do milho. Porém, como dito anteriormente, a exemplo do que é feito com o bagaço de cana-de-açúcar, há a possibilidade de utilizar a parte aérea da mandioca para a produção de energia, que poderá ser utilizada na própria planta. Segundo VENTURINI FILHO e MENDES (2003), a quantidade de energia disponível nas cepas e ramas são 4.216 Kcal/Kg e 2.035 Kcal/Kg, respectivamente.

Além disso, pela tabela 13, é possível perceber a superioridade da mandioca em relação ao milho, que é amplamente utilizado pelos Estados Unidos, para a produção de etanol.

Tabela 13: Custos energéticos da etapa agrônômica e industrial e outros parâmetros pertinentes ao balanço energético para produção de etanol a partir de cana-de-açúcar, mandioca e milho. Fonte: SALLA, 2008.

| Etapas | Cana-de-açúcar | Mandioca | Milho |
|---|-----------------------|-----------------|--------------|
| Etapa agrônômica (MJ/ha) | | | |
| Preparo de área | 722,38 | 1648,13 | 762,97 |
| Plantio | 329,10 | 487,10 | 423,62 |
| Insumos | 7239,00 | 3403,46 | 12109,29 |
| Condução da lavoura | 1922,35 | 862,74 | 1293,08 |
| Colheita | 1900,77 | 2025,34 | 609,60 |
| Transporte até a indústria | 1729,60 | 670,56 | 185,28 |
| Drenagem energética | 527,70 | 431,00 | 250,00 |
| Consumo agrônômico (MJ/ha) | 14370,9 | 9528,33 | 15633,83 |
| Produtividade (t/ha) | 85,00 | 33,00 | 6,00 |
| Etapa Industrial (MJ/t) | | | |
| Desintegração / moagem | 61,87 | 40,72 | 244,82 |
| Hidrólise/sacarificação/tratamento do mosto | 1179,54 | 1252,63 | 1950,35 |
| Fermentação | 0,38 | 2,99 | 17,97 |
| Destilação | 399,28 | 911,11 | 1668,55 |
| Manutenção | 0,50 | 0,81 | 0,70 |
| Total do consumo industrial (MJ/t) | 1641,57 | 2208,26 | 3882,39 |
| Total do consumo agrônômico + industrial (MJ/ha) | 153 903,11 | 82 401,42 | 38 928,17 |
| Produção estimada de etanol (l/ha) | 7199,50 | 6197,40 | 1980,00 |
| Consumo da produção e processamento (MJ/ha) | 153 903,11 | 82 401,42 | 38 928,17 |
| Energia produzida em Etanol (MJ/ha) | 168 288,31 | 144 864,23 | 46 282,50 |
| Produção de etanol (l/t) | 85 | 188 | 330 |
| Gasto energético para a produção de etanol (MJ/l) | 21,38 | 13,30 | 19,66 |
| Índice energético de etanol (MJ/l) | 23,375 | 23,375 | 23,375 |
| BALANÇO ENERGÉTICO | 1,09 | 1,76 | 1,19 |
| BALANÇO ENERGÉTICO (utilizando-se a queima do bagaço)¹ | 8,54 | 1,76 | 1,19 |
| Fator de correção da produtividade | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

¹ Valores obtidos sem computar o custo energético da cana-de-açúcar nas etapas de tratamento do mosto e destilação.

Capítulo 7

Análise do potencial da mandioca como matéria-prima para a produção de etanol

7.1. Comparação entre o álcool de mandioca e o álcool de cana-de-açúcar

Segundo VENTURINI FILHO e MENDES (2003), há a supremacia da cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de etanol, pois a quantidade de açúcar e, conseqüentemente, de álcool, produzidos pela cana-de-açúcar a partir de uma unidade de área cultivada (ha) por unidade de tempo (ano) é bastante superior aos produzidos pela mandioca. A tabela 14 apresenta a comparação entre o álcool de mandioca e cana-de-açúcar em diferentes aspectos.

Tabela 14: Comparativo entre o álcool de mandioca e de cana-de-açúcar. Fonte: CABELLO, 2005.

| Componente | Mandioca | Cana de açúcar |
|--|-----------------|-----------------------|
| Produtividade agrícola (t/ha.ano) | 30,0 | 80,0** |
| Açúcares Totais (%) | 35,0 | 14,5** |
| Produtividade em açúcares (t/ha.ano) | 10,5 | 11,6 |
| Conversão teórica (m ³ /t açúcares) | 0,718 | 0,681 |
| Produtividade etanol (m ³ /ha.ano) | 7,54 | 7,90 |
| Preço CIF matéria-prima (R\$/t)* | 110,00 | 38,70 |
| Custo unitário etanol (R\$/m ³) | 437,66 | 391,90 |

* Preços de maio/2005

** Dados ÚNICA/SP de maio/2005

No entanto, de acordo com CABELLO (2005), a baixa produtividade agrícola da mandioca quando comparada à cana-de-açúcar deve-se à falta de investimento em pesquisas de variedades voltadas à industrialização. Segundo o mesmo autor, há muito espaço a ser conquistado em termos de produtividade agrônômica na cultura de mandioca, enquanto que para cana-de-açúcar, que há anos vem desenvolvendo o seu potencial agrônômico, os incrementos em produtividade são menores e a maiores custos.

Uma grande vantagem da mandioca em relação à cana-de-açúcar é o fato de as raízes poderem ser colhidas o ano todo, já que podem ser armazenadas no próprio solo, o que evitaria a parada da produção na entressafra, como ocorre em usinas que utilizam a cana-de-açúcar em sua matriz. Além disso, a mandioca apresenta outras vantagens como o baixo potencial poluente e a possibilidade dos resíduos industriais serem utilizados como defensivos agrícolas, adubo, ração animal e na produção de compostos químicos como o ácido cítrico (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Outro ponto positivo consiste na possibilidade de a mandioca ser cultivada por mini, pequenos, médios e grandes produtores, o que a torna ideal para atender a demandas locais. O mesmo não ocorre com o cultivo da cana-de-açúcar, que só é viável quando a produção é de grande porte. Segundo CABELLO (2005), a produção de etanol a partir da mandioca pode ser feita em usinas de pequeno porte, para uso local, o que torna esta alternativa ideal para as comunidades mais afastadas, o que contribuiria para reduzir o preço deste combustível nestas regiões que se encontram distantes das usinas de cana-de-açúcar.

Segundo FADEL (2006), outra vantagem do álcool de mandioca é o investimento necessário para implementar uma usina de álcool a partir desta raiz quando comparado ao necessário para a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar. O custo de uma usina de álcool de cana-de-açúcar, com capacidade de moagem anual de 1 milhão de toneladas de cana é de R\$ 130 milhões a R\$ 140 milhões, incluindo o parque industrial e o investimento agrícola. A moagem ocorre em um período de seis a sete meses por ano, com produção estimada de 85 milhões de litros de álcool, sendo necessária a área agrícola de cerca de 13 mil hectares de terra, considerando-se produtividade, média, de 77 toneladas por hectare.

Já o custo de usina de álcool de mandioca com capacidade de moagem anual de 300 mil toneladas de mandioca é de R\$ 25 milhões, incluindo-se neste valor o parque industrial, de, aproximadamente, R\$ 20 milhões, e mais R\$ 5 milhões do plantio de mandioca, no sistema de parceria com contrato, plantando-se variedades adequadas para serem colhidas em épocas diferentes do ano (FADEL, 2006).

Com o valor do investimento de uma usina para moagem de um milhão de toneladas de cana por ano é possível se montar cinco usinas de mandioca, beneficiando mais de 1.100 produtores de mandioca e gerando benefícios para mais de 13 mil pessoas,

durante 300 dias úteis por ano, com produção de 300 milhões de litros de álcool (FADEL, 2006).

Como visto anteriormente, ao contrário da cana-de-açúcar, que possui açúcares fermentescíveis, a mandioca acumula seus carboidratos na forma de grânulos insolúveis de amido, o que requer um pré-tratamento para disponibilizá-los para a fermentação por leveduras alcoólicas. Este pré-tratamento é, à primeira vista, uma desvantagem na produção de álcool a partir de mandioca, uma vez que requer energia e, no caso da hidrólise enzimática, a utilização de enzimas amilolíticas que ainda apresentam elevados custos. No entanto, segundo CABELLO (2005), como o amido apresenta maiores concentrações de açúcares por unidade de matéria-prima vegetal, há diminuição significativa de volumes mássicos com implicações diretas em investimentos, custeio do sistema, custos de logística, energia, mão de obra e remoção de resíduos.

Outra vantagem da utilização da mandioca como matéria-prima para a produção de etanol é o fato de, a exemplo dos cereais, essa raiz produzir um álcool com melhor qualidade, o que proporcionaria uma vantagem na sua entrada no mercado do álcool fino. Segundo um estudo realizado por BRINGHENTI e CABELLO (2005), onde foi produzido álcool a partir de hidrolisados de resíduos amiláceos de farinheira, aditivados com mel residuário da fabricação da cana de açúcar, foi observada a ausência de álcoois superiores, metanol, glicerol, e ácidos orgânicos, além da ausência de aldeído fórmico nas baixas concentrações de aldeídos totais. Segundo a autora, estas especificações atendem aos rigorosos critérios de qualidade das indústrias alimentícia e farmacêutica.

Em relação ao custo de produção, o álcool de cana-de-açúcar é mais vantajoso. Segundo a tabela 14, o preço do etanol de mandioca é R\$ 0,437/L, já o de cana-de-açúcar, R\$ 0,391/L. Esta diferença pode ser atribuída às diferenças entre os processos de obtenção do álcool a partir destas duas matéria-prima, à maior produtividade agrícola da cana-de-açúcar e à diferença entre os custos das matérias-primas. O processo de obtenção de etanol de mandioca é mais caro, uma vez que são necessários mais insumos químicos como ácidos, no caso da hidrólise ácida, ou enzimas, no caso da hidrólise enzimática, além de maior demanda de energia na etapa de gelatinização do amido.

Outro fator que contribui fortemente para o menor custo unitário do álcool de cana-de-açúcar é a geração de energia através da combustão do bagaço de cana-de-açúcar nas usinas que possuem esta matéria-prima como matriz.

7.2. Potencial importância social do álcool de mandioca

Além de contribuir para o aumento da produção nacional de etanol, complementando a matriz energética brasileira, o álcool de mandioca teria grande importância social, principalmente, para as populações de baixa renda das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Na década de 80, alguns autores defenderam a produção de etanol de mandioca em regiões onde as condições de solo são impróprias para o cultivo da cana-de-açúcar e apropriadas para essa raiz, que é pouco exigente em fertilidade, e em regiões de baixa densidade demográfica e de baixa renda *per capita* como forma de melhorar a distribuição de renda no Brasil (VENTURINI FILHO e MENDES, 2003).

Enquanto a cana-de-açúcar desenvolveu-se como um sistema de produção de grande escala centralizada e concentradora de renda, a mandioca para a produção de etanol pode basear-se em um modelo de grande escala descentralizada e distribuidora de renda. Esse modelo estaria fundamentado em milhões de pequenas propriedades agrícolas extremamente eficientes e distribuidoras de novas oportunidades de trabalho pelas regiões interioranas de municípios de pequenas cidades do Brasil (DA SILVA, s.d.).

O aumento da produção de mandioca, objetivando a obtenção de etanol, geraria centenas de empregos diretos e indiretos tanto na região agrícola quanto na área industrial. Além disso, as usinas propiciariam aumento na arrecadação de impostos de municípios que possuem vocação agrícola para o cultivo de mandioca (ABAM, 2006).

Além do benefício social, a produção de álcool de mandioca reduziria o preço deste combustível em regiões distantes dos centros produtores de etanol como, por exemplo, a região Amazônica onde o álcool é comercializado por um valor muito superior ao praticado no Sudeste do país. Outro ponto extremamente positivo é possibilitar a geração de energia elétrica, utilizando o álcool hidratado para acionar motores geradores, em comunidades isoladas.

7.3. Inovações tecnológicas na produção de álcool de mandioca

A aplicação de inovações tecnológicas na produção de etanol de mandioca é essencial para que este se torne competitivo frente ao álcool produzido a partir de cana-de-açúcar. Neste sentido, algumas pesquisas têm sido realizadas com objetivo de simplificar e melhorar o rendimento do processo de obtenção do etanol a partir desta matéria-prima.

GALDINO (2008) fez uma contribuição recente para tornar a fabricação do álcool de mandioca mais viável e mais barata. Seu estudo consistiu em manipular geneticamente a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para que esta fosse capaz de metabolizar amido, dispensando, assim, a necessidade da hidrólise.

Primeiramente, uma levedura foi isolada e classificada como *Cryptococcus flavus*. Esta levedura é capaz de metabolizar amido, mas não pode ser utilizada na indústria uma vez que não possui status GRAS (*generally regarded as safe*). Em seguida, GALDINO realizou, com sucesso, a clonagem e a expressão do gene da amilase de *Cryptococcus flavus* (AMY1), codificando uma amilase extracelular em *S. cerevisiae*.

Na etapa seguinte, com o objetivo de desenvolver uma cepa de *S. cerevisiae* capaz de degradar o amido de forma mais eficiente, o gene da glicoamilase de *Aspergillus awamori* foi clonado no co-expressão com o gene da amilase de *C. flavus*.

Segundo o autor, o clone de *S. cerevisiae* expressando as duas enzimas foi capaz de crescer em meio contendo amido como única fonte de carbono. Dados preliminares de fermentação em frasco mostraram que esse clone é capaz de produzir 116 g de etanol/L durante 120 horas de cultivo.

Outra importante contribuição foi feita pelo pesquisador Luiz Joaquim Castelo Branco Carvalho, da EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia. Carvalho encontrou na Amazônia uma variedade de mandioca que, em vez de amido, tem grande quantidade de açúcares na raiz, principalmente glicose, substrato utilizado no processo de fermentação para a produção do etanol (FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO - FAPESP, 2008).

A variedade descoberta, chamada de mandioca açúcarada, trata-se de uma mutação genética. Após um processo tradicional de seleção de variedades e cruzamento com plantas adaptadas a algumas regiões escolhidas para futuros plantios, obteve-se uma variedade que dispensa o processo de hidrólise do amido (FAPESP, 2008).

Após três anos de experimentos, a variedade que apresentou melhor desempenho foi utilizada para cruzamentos de autopolinização e cruzamentos convencionais com variedades locais a fim de transferir a característica de elevada quantidade de glicose para as plantas adaptadas em diferentes regiões (FAPESP, 2008).

Com a variedade testada foi obtido um rendimento de 14 m³ de álcool por hectare ao ano, com um processo de fermentação que dura apenas dez horas. Pelo processo convencional de hidrólise de amido da mandioca, o rendimento é em torno de 6,4 m³ de álcool por um processo de fermentação que dura cerca de 60 a 70 horas, enquanto o processo tradicional da cana chegou a 8 m³ em um tempo de 48 horas (FAPESP, 2008).

7.4. A discussão alimento x combustível

O rápido crescimento dos mercados de bio-etanol, causado, principalmente, pelo aumento recente no preço do petróleo, está exigindo demandas crescentes das principais *commodities* agrícolas, que são tradicionalmente utilizadas para alimentação humana e ração animal. O resultado deste processo é o aumento dos preços destas matérias-primas nos mercados internacionais, induzindo substituições na produção e consumo, o que causa o aumento no preço de uma vasta gama de mercados agrícolas (NAYLOR *et al.*, 2008).

Devido a interesses políticos e econômicos, alguns países e regiões como Brasil, Estados Unidos, China, Indonésia e União Européia, provavelmente continuarão a incentivar o crescimento na capacidade de produção de biocombustíveis, independentemente das flutuações do preço do petróleo a curto prazo. Esses interesses incluem metas para revitalizar as economias rurais, gerar investimentos e reservas cambiais estrangeiros e criar indústrias de biocombustíveis competitivas globalmente, a fim de reduzir a utilização de combustíveis fósseis. Desta forma, mesmo que haja queda no preço do petróleo, as exigências sobre o setor agrícola mundial continuarão fortes (NAYLOR *et al.*, 2008).

No entanto, é necessário atentar para o fato de que os principais produtos agrícolas utilizados como matérias-primas para a produção de biocombustíveis, como a mandioca, como a mandioca e o milho, possuem uma participação relativamente grande nas dietas de populações onde há insegurança alimentar, como nos países africanos.

Neste contexto, segundo a FAO (2008), a mandioca poderia ajudar proteger as seguranças alimentar e energética de países pobres ameaçados pelo recente aumento nos preços do petróleo e dos alimentos, uma vez que é a fonte mais barata de amido que existe.

Para que isso seja possível, é necessário realizar investimentos em pesquisa e desenvolvimento a fim de aumentar a produtividade desta cultura e possibilitar a exploração da mandioca para a produção de biocombustíveis. Em países onde há a possibilidade de expansão da área agrícola, como o Brasil, pode-se aumentar a área de cultivo desta tuberosa a fim de suprir tanto a demanda por alimentos como a demanda por energia. No entanto, isso deve ser feito de forma responsável para que não haja danos ao meio ambiente e devastação de biomas brasileiros, como a Amazônia.

Entretanto, apesar de apoiar a utilização deste tubérculo para a produção de etanol, a FAO adverte que as políticas de incentivo à produção de biocombustíveis devem considerar cuidadosamente seus efeitos sobre a produção de alimentos e a segurança alimentar.

7.5. A análise estrutural da indústria de álcool de mandioca

O modelo das Cinco Forças de PORTER, concebido por Michael PORTER em 1979, destina-se à análise da competição entre empresas de uma mesma indústria. As seguintes forças competitivas foram apresentadas (PORTER, 1989 *apud* CHIAVENATO, 2007):

- Entrada;
- Ameaça de substituição;
- Poder de negociação dos compradores;
- Poder de negociação dos fornecedores;
- Rivalidade entre os concorrentes.



Figura 18: Modelo das Cinco Forças de PORTER. Fonte: Wikipedia.

7.5.1. Ameaça de novos entrantes

Novos entrantes contribuem para capacidade adicional da indústria, almejam tomar uma parcela do mercado e dispõem, em muitas das vezes, de recursos relevantes. Como consequência de sua entrada, os preços tendem a cair ou os custos das empresas podem ser inflacionados, resultando em queda de rentabilidade (PORTER, 2004 *apud* POGETTI, 2008).

A possibilidade de um novo entrante depende das barreiras de entradas estabelecidas e da reação dos concorrentes já instalados na indústria. Quanto mais altas as barreiras de entradas, é de se esperar retaliação mais forte contra o novo entrante, mitigando o risco de ocorrência de ingresso de novos competidores (PORTER, 2004 *apud* POGETTI, 2008).

A ameaça de entrada de novas empresas influencia a estrutura industrial, uma vez que as empresas aumentam a capacidade de produção e entram para ganhar parcela do mercado existente. Para impedir a entrada de novos competidores, a indústria depende das barreiras de entrada. Deste modo, podemos apontar como principais barreiras de entrada as seguintes situações (PORTER, 1989 *apud* CHIAVENATO, 2007):

- Economia de escala: as economias de escala aumentam à medida que aumenta a quantidade de um produto fabricado, enquanto os custos de fabricação de cada unidade diminuem. Desta forma, o novo entrante enfrenta o desafio imposto pelas economias de escala dos concorrentes existentes.
- Diferenciação de produto: as empresas existentes diferenciam o produto para torná-lo único e exclusivo e para que o cliente o valorize mais. O novo cliente precisa alocar muitos recursos para superar a fidelidade do cliente.
- Requisitos de capital: o novo entrante precisa dispor de capital e recursos para entrar no setor. São necessários vastos recursos financeiros na abertura de plantas ou no desenvolvimento de tecnologia para competir.
- Custos de mudanças: para ingressar, o novo entrante enfrenta custos adicionais de aquisição de equipamentos auxiliares, retreinamento de pessoal e outros. Quando tais custos de mudança são elevados, o novo entrante enfrenta desafios.
- Acesso aos canais de distribuição: os novos entrantes enfrentam desafios para distribuição de seus produtos, pois as empresas já firmes no mercado dispõem de um forte relacionamento com distribuidores com a finalidade de gerar custos de mudanças para aqueles.

No caso da indústria de mandioca não há barreiras de entrada significativas. Ao contrário do que ocorre no caso da cana-de-açúcar, onde o capital necessário é bastante elevado, a implantação de uma usina de etanol a partir de mandioca necessita de menor capital do que o necessário para aquelas que possuem a cana-de-açúcar como matriz. Esta característica aumenta a ameaça de novos entrantes nesta indústria, principalmente de empresários que possuem menor poder aquisitivo.

Uma forma de aumentar as barreiras de entrada seria fortalecer o relacionamento com as distribuidoras ou outras indústrias compradoras do etanol de mandioca a fim de dificultar o escoamento da produção dos novos entrantes.

Pode-se também investir em tecnologia e no melhoramento do processo de forma que os novos entrantes necessitem de vastos recursos financeiros para competir com as usinas já existentes.

7.5.2. Poder de negociação dos fornecedores

Um grupo de fornecedores tem poder no contexto da indústria quando:

- A indústria é constituída de poucas e grandes empresas fornecedoras e fortemente concentradas.
- Não há produtos substitutos satisfatórios para a indústria, ou seja, há falta de competição com outros produtos o que torna a indústria refém do produto de determinados fornecedores, dando poder para praticarem preços mais altos ou qualidades mais baixas.
- A indústria não é um cliente importante para o grupo fornecedor.
- Os insumos que o fornecedor oferece são essenciais ao sucesso do comprador no mercado.
- O grupo de fornecedores é uma ameaça concreta de integração para frente, ou seja, há possibilidade dos fornecedores produzirem os bens finais da indústria, concorrendo com os compradores, enfraquecendo-os.

A indústria de álcool de mandioca tem como fornecedores os mesmos sistemas produtivos abordados anteriormente, ou seja, as unidades doméstica, familiar e empresarial. No entanto, uma vez que uma das propostas da produção do álcool de mandioca é a de melhorar a distribuição de renda entre famílias mais carentes, seria mais interessante que os principais fornecedores fossem pequenos produtores da localidade onde a usina for implantada. No entanto, caso haja unidades familiar e/ou empresarial próximas à usina, estas também devem ser consideradas como potenciais fornecedores.

Devido ao grande número destes pequenos produtores da mandioca, principalmente nas regiões norte e nordeste do país, as usinas de álcool de mandioca podem facilmente mudar de fornecedores, caracterizando um baixo poder de negociação dos produtores.

No entanto, devido às épocas de safra e entressafra, o mercado de mandioca sofre certa instabilidade na quantidade e preço oferecidos, reduzindo ligeiramente o poder de negociação das usinas, uma vez que é necessário garantir o fornecimento contínuo da matéria-prima para que a mesma não tenha que suspender temporariamente suas atividades.

Assim, quando há escassez da matéria-prima, os fornecedores têm seu poder de negociação aumentado, pois poderão escolher seus clientes com base nas melhores ofertas. Neste contexto, pode-se afirmar que a indústria de álcool de mandioca está interligada a outros mercados que utilizem a mandioca como matéria-prima como o de fécula e de farinha.

Para que a produção de etanol de mandioca seja viável e competitiva frente ao de cana-de-açúcar, o ideal é que a usina possua produção própria de mandioca ou que estabeleça contratos prévios com produtores locais, garantindo, assim, o acesso a esta matéria-prima, mesmo em períodos de escassez, quando o preço deste tubérculo está elevado.

7.5.3. Poder de negociação dos compradores

Os compradores sempre competem para forçar o preço baixar, seja através de negociações por melhor qualidade, mais serviços ou jogando os concorrentes uns contra os outros (PORTER, 2004 *apud* POGETTI, 2008). Segundo CHIAVENATO (2007), um comprador é considerado poderoso quando:

- O cliente adquire grande parte do total da produção do setor. Os compradores grandes são poderosos em razão de serem responsáveis por grande parte dos resultados da indústria.
- O produto adquirido pelo cliente responde por uma parcela significativa dos custos do comprador.
- Os produtos da indústria não são diferenciados ou padronizados. A falta de padronização possibilita a escolha de mais de uma indústria, acabando por jogar um fornecedor contra o outro.
- Os compradores podem apresentar uma ameaça concreta de integração para trás e concorrer com o vendedor. Um comprador poderoso pode optar por fabricar seus próprios insumos, gerando um risco para a indústria desse segmento.

No setor alcooleiro, o fato do etanol ser considerado uma *commodity* enfraquece os produtos, principalmente aquele com a finalidade de combustível, uma vez que há a

intermediação regida pelo governo através das distribuidoras. Segundo POGETTI (2008), a concentração de distribuidoras no Brasil é muito elevada. Dez distribuidoras são responsáveis por adquirir mais de 70% de toda a produção de álcool de 330 destilarias, sendo o canal exclusivo de escoamento da produção por força de disposição regulatória emanada do Governo Federal.

Nesse sentido, os produtores de álcool têm grande parte de seus produtos comprados por um único comprador, no qual representa uma fração significativa dos próprios custos e onde o comprador não enfrenta grandes problemas com custos de mudanças, dados a padronização dos produtos (POGETTI, 2008).

Neste contexto, o álcool de mandioca possui vantagens em relação em diversos aspectos. Primeiramente, o fato de o álcool de mandioca apresentar melhor qualidade do que o de cana-de-açúcar torna-o mais indicado e mais aceito por outros segmentos que não os das distribuidoras, como a alimentícia e farmacêutica, aumentando a sua flexibilidade de venda e diminuindo o poder de negociação dos compradores.

Além disso, devido ao seu maior apelo ecológico e social, o etanol de mandioca poderia ser mais valorizado por compradores mais exigentes como os países europeus, tornando-se um produto diferenciado em relação ao álcool de cana-de-açúcar.

7.5.4. Ameaça de produtos substitutos

A competição com indústrias que possuem produtos substitutos diminui a rentabilidade. A disputa é vencida por aquele que oferece a melhor relação preço/desempenho (PORTER, 1989 *apud* POGETTI, 2008).

O álcool de mandioca pode ser considerado como substituto do etanol de outras matérias-primas, como o milho, beterraba e trigo, da gasolina, do diesel e do gás natural veicular (GNV) por seu menor custo. Além disso, há a questão ambiental e o etanol de mandioca pode explorar o fato de ser um combustível mais limpo que os derivados do petróleo, o que poderia contribuir para acelerar este processo de substituição. Quando utilizado para gerar energia elétrica, principalmente em comunidades isoladas, o álcool hidratado torna-se substituto de outras fontes de energia como a hidrelétrica e a solar.

No entanto, há grande pressão do álcool de cana-de-açúcar que se apresenta como produto substituto bastante competitivo, uma vez que, como citado anteriormente, a

quantidade de álcool produzida pela cana-de-açúcar a partir de uma unidade de área cultivada (ha) por unidade de tempo (ano) é bastante superior aos produzidos pela mandioca, o que torna seus preços mais competitivos. Neste sentido, há a necessidade de aumentar o investimento em pesquisas a fim de aumentar a produtividade agrícola da mandioca e, conseqüentemente, reduzir o custo do álcool a partir desta matéria-prima.

7.5.5. Intensidade da rivalidade entre os concorrentes

A concorrência entre as empresas geralmente assume a forma de disputas em publicidade, preços, produtos diferenciados, aumento da quantidade e qualidade de serviços ao cliente. Essa rivalidade que ocorre na indústria é fruto da percepção da empresa de possíveis oportunidades para melhorar a posição existente (PORTER, 1989 *apud* POGETTI, 2008).

De acordo com CHIAVENATO (2007), os fatores que influenciam a intensidade da rivalidade entre as empresas são:

- Concorrentes numerosos ou equilibrados entre si.
- Crescimento lento do setor. Com o crescimento lento dos mercados, as indústrias tendem a disputar qualquer participação disponível.
- Custos fixos elevados, ou seja, as empresas tendem a produzir toda sua capacidade e dar saída para o mercado a qualquer preço, uma vez que os custos fixos altos tornam a rentabilidade reduzida
 - Concorrentes divergentes em termos de metas e estratégias.
 - Apostas estratégicas elevadas
 - Barreiras de saída elevadas, como ativos especializados, custos fixos de saída, inter-relacionamentos estratégicos, barreiras emocionais e limitações sociais e governamentais fazem com que as indústrias permaneçam no mercado, o que aumenta a competição dentro do segmento.

No caso do álcool combustível, a ausência de diferenciação no produto, especificação técnica da ANP, e a logística prevalecente, que é a retirada pelo distribuidor

na planta industrial, que dificulta a oferta de serviços associados, contribuem para contexto de intensa batalha entre os concorrentes da indústria (POGETTI, 2008).

No entanto, o Projeto de Lei 1522/07, que prevê redução de impostos por até cinco anos para agentes que comercializarem etanol proveniente de mandioca no Brasil, pode tornar o etanol de mandioca mais competitivo acirrando a disputa com produtores de etanol a partir de outras matérias-primas.

Além disso, ao contrário da cana-de-açúcar, que uma vez plantada não há alternativa econômica senão a de colher, moer e produzir, independentemente das condições de mercado (BIANCO, 2008 *apud* POGETTI, 2008), o produtor de mandioca e, conseqüentemente, as usinas podem esperar preços melhores, uma vez que a colheita pode ser adiada em até dois anos. Este aspecto também é motivo de ampliação do confronto competitivo.

Entretanto, cabe salientar que o objetivo, pelo menos inicial, da produção de etanol a partir de mandioca não deve ser o de competir com o produzido a partir da cana-de-açúcar, mas sim complementar a produção do álcool tradicional. Autores defendem que o mesmo deve ser utilizado no local onde foi produzido, principalmente onde há grande dificuldade de acesso ao álcool de cana-de-açúcar.

A partir da análise ambiental feita anteriormente é possível traçar um fluxograma das cinco forças competitivas de PORTER para a indústria do álcool de mandioca (Figura 18).

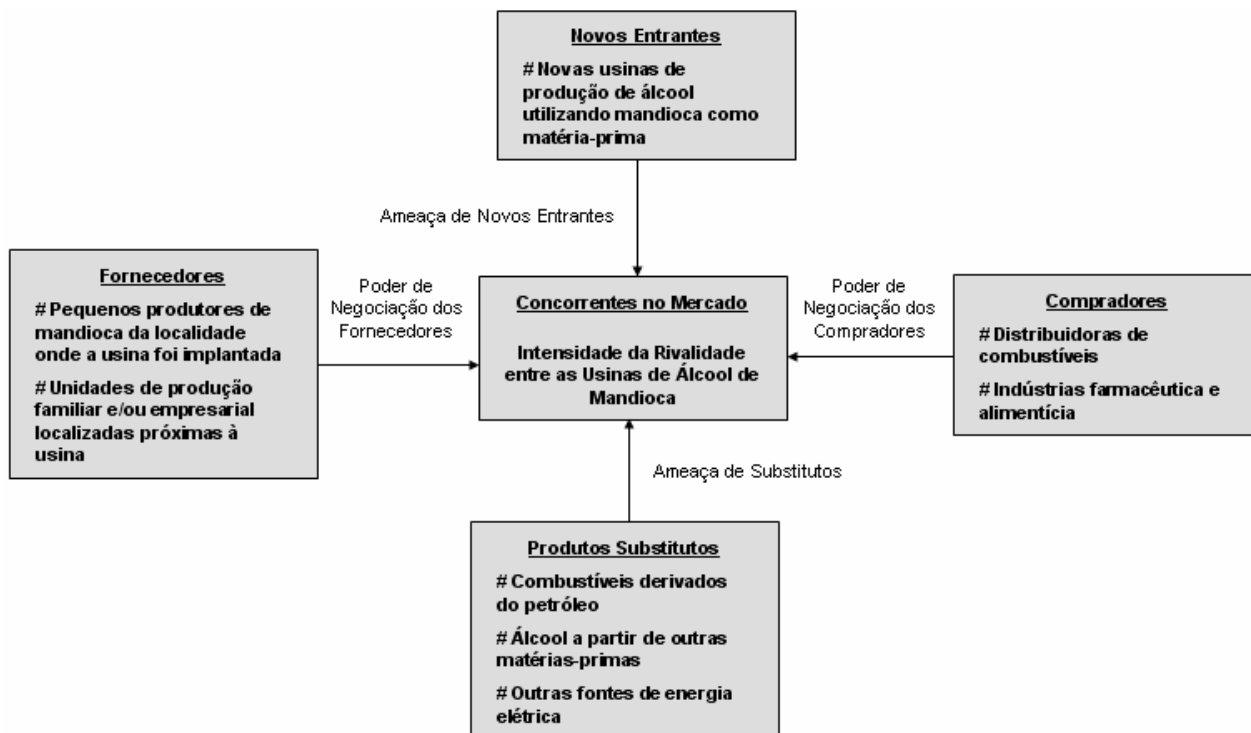


Figura 19: Análise ambiental da indústria de álcool de mandioca. Fonte: Proposto pela autora. Adaptado de PORTER (2004).

Capítulo 8

Considerações Finais

O aumento da demanda de energia, conseqüência do aumento populacional e do desenvolvimento econômico, aliado à conscientização da escassez de novas reservas de petróleo e à preocupação com aspectos ambientais, econômicos e sociais tem levado ao desenvolvimento e utilização de fontes alternativas de energia.

Este estudo indica que os mercados internacional e nacional de etanol mostram-se promissores, apontando para o aumento na demanda do álcool, principalmente o anidro, utilizado em misturas à gasolina em diversas proporções em vários países. Além disso, no Brasil, pesquisas apontam para a consolidação do álcool hidratado como combustível preferencial no abastecimento de automóveis *Flex Fuel*.

Neste contexto, a mandioca apresenta-se como matéria-prima potencial para a produção de etanol. O Brasil é o segundo maior produtor deste tubérculo e possui condições de aumentar sua produção, uma vez que há espaço para a expansão da área de cultivo e margem para o aumento da produtividade. Além disso, a produção de etanol a partir de mandioca apresenta rendimentos comparáveis ao obtido a partir da cana-de-açúcar, além de proporcionar inclusão social, uma vez que gera empregos e aumenta a renda familiar de pequenos produtores rurais, principalmente das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Apesar de atualmente apresentar custo unitário superior ao etanol obtido a partir da cana-de-açúcar, a produção de etanol de mandioca pode se tornar viável, e até bastante competitiva, se houver o investimento em tecnologia no setor e em pesquisas a fim de melhorar o processo de obtenção do álcool, as características da raiz e a produtividade da cultura de mandioca. Além disso, para viabilizar futuras produções em maior escala, é necessário melhorar as relações entre os agentes da cadeia agroindustrial da mandioca a fim de evitar grandes oscilações no preço e na quantidade ofertada, evitando, assim, uma possível escassez de matéria-prima em determinadas épocas.

No entanto, o etanol de mandioca não deve concorrer com o álcool de cana-de-açúcar, que provavelmente continuará sendo a principal matéria-prima para a produção de álcool, mas sim aumentar a produção de etanol, complementando a matriz energética

brasileira e aumentando o volume disponível para exportação, contribuindo para destacar o Brasil no mercado internacional de biocombustíveis.

A mandioca poderá ser matéria-prima de usinas de pequena escala e em regiões específicas, onde há grande quantidade desta matéria-prima disponível, isto é, onde há grande concentração de produtores desta raiz. Outra opção, devido a semelhanças entre os processos, seria adaptar as usinas de etanol de cana-de-açúcar para que estas possam operar com a mandioca no período de entressafra da cana-de-açúcar, evitando a ociosidade destas usinas neste período.

O etanol de mandioca também poderia assumir um papel essencial em regiões distantes dos centros urbanos, onde o álcool de cana-de-açúcar é comercializado a valores mais elevados, além de possibilitar a geração de energia elétrica através de motores que utilizam álcool hidratado em comunidades isoladas.

Capítulo 9

Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Atlas de Energia Elétrica - 2ª Edição. Biomassa. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 2 de abril de 2009.

ALCARDE, André Ricardo. Agência de Informação Embrapa: Cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 28 de maio de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA (ABAM). Álcool de mandioca atrai investimentos. Revista ABAM. Ano IV. Nº 13. Janeiro a Março de 2006. Disponível em: <http://www.abam.com.br>. Acesso em 10 de abril de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA (ABAM). Etanol de mandioca é opção para o mercado. 2007a. Disponível em: <http://www.abam.com.br>. Acesso em 20 de abril de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA (ABAM). Mandioca e batata-doce são novas opções para o álcool. 2007b. Disponível em: <http://www.abam.com.br>. Acesso em 20 de abril de 2009.

AZANIA, A.A.P.M.; AZANIA, C.A.M.; MARQUES, M.O.; PAVANI, M.C.M.D.. Emergência e desenvolvimento de guanxuma (*Sida rhombifolia*), capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) e cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) influenciados por subprodutos da destilação do álcool. *Planta daninha* [online]. 2004, vol.22, n.3, pp. 331-336.

BACCHI, Mirian Rumenos Piedade. Brasil: gerando energia de biomassa, limpa e renovável. Centro de Estudo Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). 2006.

BONCHRISTIANI, Caetano Carlos. Coordenação e ambiente organizacional do sistema agroindustrial da mandioca: uma análise relacional sob a ótica do neocorporativismo. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2007. 82 páginas. Tese, Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, 2007.

BRAZIL INDUSTRIAL SOLUTIONS (BIS). Destilaria de álcool a partir de amido. Disponível em: <http://www.bisbrazil.com.br/tecnologias/alcool.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2009.

BUSINESSGREEN. Cassava bio-ethanol plant to open in China. 2008. Disponível em: <http://www.businessgreen.com>. Acesso em: 20 de maio de 2009.

BRINGHENTI, Lizandra; CABELLO, Cláudio. Análise da qualidade do álcool produzido a partir de resíduos amiláceos da agroindustrialização da mandioca. Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT/UNESP). Botucatu, SP, 2005.

CABELLO, Cláudio. Produção de álcool de mandioca. Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT/UNESP). Botucatu, SP, 2005.

CARDOSO, Carlos Estevão Leite; SOUZA, José da Silva. Importância, potencialidades e perspectivas do cultivo de mandioca no Brasil. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.2, cap.2, p.29-47, 2002.

CARDOSO, Denis e ALVES, Vânia. Nova matriz energética mundial. Gazeta Mercantil. 2008. Disponível em: <http://www.gazetamercantil.com.br>. Acesso em: 24 de março de 2009.

CARDOSO, Éria. Uso de manipueira como biofertilizante no cultivo do milho: avaliação do efeito no solo, nas águas subterrâneas e na produtividade do milho. Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2005. 49 páginas. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Criciúma, 2005.

CASTIONI, Remi; SAITO, Élvio, DO VALLE, Carlos Alberto Santos. O arranjo produtivo nacional da mandioca: Desafios e propostas de intervenção. s.d. Disponível em: <http://www.fe.unb.br>. Acesso em: 15 de maio de 2009.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). Mandioca. Agromensal – ESALQ / BMF Bovespa. Informações de Mercado. Dezembro de 2008.

CEREDA, Marney Pascoli. Caracterização da fração amilácea. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.1, cap.7, p.135-140, 2002a.

CEREDA, Marney Pascoli. Estrutura dos grânulos de amido. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.1, cap.6, p.111-133, 2002b.

CEREDA, Marney Pascoli. Propriedades do amido. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.1, cap.7, p.141-185, 2002c.

CEREDA, Marney Pascoli. Caracterização dos resíduos da industrialização da mandioca. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.4, cap.1, p.13-37, 2001a.

CEREDA, Marney Pascoli. Valorização de subprodutos como forma de reduzir custos de produção. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.4, cap.24, p.305-320, 2001b.

CEREDA, Marney Pascoli; CAGNON, José Renato; PANTAROTTO, Suzan. Glicosídeos cianogênicos da mandioca: biossíntese, distribuição, destoxificação e métodos de dosagem. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.2, cap.5, p.83-99, 2002d.

CHIAVENATO, Idalberto. Administração: teoria, processo e prática. 4ª edição. Rio de Janeiro. Elsevier, 2007.

CONSELHO ESTADUAL DO TRABALHO, EMPREGO E GERAÇÃO DE RENDA NO ESTADO DE MINAS GERAIS (CETER) s.d. Disponível em: <http://www.ceter.mg.gov.br>. Acesso em: 15 de abril de 2009.

CORRADINI, Elisângela *et al* . Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. Polímeros, São Carlos, v. 15, n. 4, Nov, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 16 de maio de 2009.

DA SILVA, José Reynaldo Bastos. Álcool de mandioca. s.d. Disponível em <http://www.abam.com>. Acessado em 3 de abril de 2009.

FADEL, A.D. Álcool de mandioca? Por quê?. Ano IV - Nº14 - Abril - Junho/2006 <http://www.abam.com.br>. Acesso em: 2 de maio de 2009.

FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP). Revista Pesquisa FAPESP. Fevereiro, 2008. Edição 144. Etanol de mandioca doce. Variedade de raiz açucarada reduz etapa no processo de produção do álcool combustível. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br>. Acesso em: 30 de maio de 2009.

FELIPE, Fábio Isaias; ALVES, Lucilio Rogério Aparecido. Álcool de mandioca pode ser alternativa de energia renovável. Jornal de Piracicaba, Caderno: Vida Agrícola, Página B-5, 7 de novembro de 2007. 2007a. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp>. Acesso em: 2 de abril de 2009.

FELIPE, Fábio Isaias; ALVES, Lucilio Rogério Aparecido. Considerações sobre o álcool de mandioca como fonte de energia. 2007b. Disponível em: www.cerat.unesp.br. Acesso em: 15 de maio de 2009.

FONTES, Adalberto. Sustentabilidade e escala: primeira e segunda geração de biocombustíveis. Bioenergy World. 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Estatísticas. FAOSTAT. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 1 de abril de 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAONewsroom. Cassava for food and energy security: Investing in cassava research and development could boost yields and industrial uses. Julho, 2008. Disponível em: <http://www.fao.org/newsroom/en/news/2008/1000899/index.html>. Acesso em: 31 de maio de 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FOOD OUTLOOK - CASSAVA. 2008. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 15 de abril de 2009.

GALDINO, Alexsandro Sobreira. Clonagem e expressão de uma alfa-amilase de *Cryptococcus flavus* e sua aplicação na degradação de amido. 2008. Tese. Doutorado em Ciências Biológicas (Biologia Molecular). Universidade de Brasília, 2008.

GRANATO, Eder Fonzar e SILVA, Celso Luiz Silva. Geração de energia elétrica a partir do resíduo vinhaça. Bauru, SP, 2002. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp>. Acesso em: 20 de maio de 2009.

GUADAGNINI, Marco Antonio. Fontes Alternativas de Energia – Uma visão geral. Trabalho de Conclusão de Curso, Pós Graduação Executiva em Meio Ambiente. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. ESTATÍSTICAS. 2006. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 10 de abril de 2009.

LCM INTERNATIONAL. Ethanol Quartely. Third Quarter. Agosto, 2008.

LEAL, Isabela. Fabricação de álcool a partir de beterraba, milho e/ou outros elementos. Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA. Disponível em: <http://sbrtv1.ibict.br>. Acesso em: 25 de maio de 2009.

LEHNINGER, A.L., NELSON, D.L. & COX, M.M. Princípios de Bioquímica. 4ª ed., Editora Freeman, São Paulo, 2005

LIMA, Urgel de Almeida; BASSO, Luiz Carlos; DE AMORIM, Henrique Vianna. In: BORZANI, Walter *et al.*. Biotecnologia Industrial. São Paulo, Editora Edgard Blücher, v.3, cap.1, p.1-43, 2001.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. Secretaria de Política Econômica. Reformas microeconômicas e crescimento de longo prazo. 2004. Disponível em: <http://www.fazenda.gov.br>. Acesso em: 25 de abril de 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Resenha Energética Brasileira – Exercício de 2007. 2008. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 2 de abril de 2009.

NATIONAL DEVELOPMENT AND REFORM COMMISSION. Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy in China. República Populista de China. 2007.

NAYLOR, Rosamond L.; LISKA, Adam J.; BURKE, Marshall B.; FALCON, Walter P.; GASKELL, Joanne C.; ROZELLE, Scott D.; CSSMAN; Kenneth G. The Ripple Effect: Biofuels, Food Security and the Environment. Environment Magazine. Novembro, 2007. Disponível em: <http://www.environmentmagazine.org>. Acesso em: 31 de maio de 2009.

OSTROWSKI, Ana Paula; VARGAS, Fernando; PIZZINATTO, Luís Eduardo; HILTON José, DE ARAÚJO, Bernardino. Obtenção de álcool etílico a partir de amido de mandioca. Mostra de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar. Outubro, 2006. Universidade Federal de Santa Catarina.

PLANO NACIONAL DA AGROENERGIA. Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 2005. 120 páginas.

POGETTI, Luís Roberto. Perspectivas de evolução da indústria alcooleira brasileira. Fundação Getúlio Vargas. Dissertação, mestrado em Administração de Empresas. São Paulo, 2008.

PORTER, M. The Adam Smith Address: location, clusters, and the "new" microeconomics of competition. Revista Business Economics, n° 33 p. 7 a 14, Jan 1998.

SALLA, D. Acre projeta microdestilaria para álcool de mandioca. Brasília: 2008. Agência Amazônia de Notícias. 18 de dezembro de 2008. Entrevista concedida a Montezuma Cruz. Disponível em: <http://www.agenciaamazonia.com.br>. Acessado em 1º de abril de 2009.

SALLA, Diones Assis; CABELLO, Cláudio. Balanços de massa do etanol, água, CO₂ e efluentes no processamento industrial da mandioca para produção de etanol. Revista RAT. Centro de Raízes e Amidos. 2007.

SALLA, D.A. Análises energética de sistemas de produção de etanol a partir da mandioca, da cana-de-açúcar e do milho. Faculdade de Ciências Agrônomicas/ UNESP, Botucatu-SP, 168 p (tese de doutorado). 2008.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ (SEAB). Prognóstico agropecuário da mandioca 2005/2006. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br>. Acesso em: 20 de abril de 2009.

SENSOR RURAL DA FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS (SEADE). Relatório de produtos. Estudo de mercado de trabalho como subsidio para a reforma da educação profissional no estado de São Paulo. 2003. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br>. Acesso em: 20 de abril de 2009.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (SEBRAE). Estudo de mercado sobre a mandioca (farinha e fécula) Relatório completo. Janeiro, 2008.

SOARES, Soares Thelma Shirlen; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; GONÇALVES, Elzimar de Oliveira; DE LELLES, José Gabriel. Uso da Biomassa Florestal na geração de energia. Revista científica eletrônica de engenharia. Ano iv, nº 08, Agosto, 2006. Disponível em: <http://www.revista.inf.br>. Acesso em: 10 de abril de 2009.

VALLE, Teresa Losada *et al* . Conteúdo cianogênico em progênies de mandioca originadas do cruzamento de variedades mansas e bravas. *Bragantia*, Campinas, v. 63, n. 2, 2004 . Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em 20 de abril de 2009.

VENTURINI FILHO, Waldemar G.; MENDES, Beatriz do Prado. Fermentação alcoólica de raízes tropicais. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.3, cap.19, p.531-576, 2003.

VIAN, Carlos Eduardo Freitas; RIBEIRO, Fabrizio Almeida. Bioenergia: Uma análise comparada entre as políticas para o etanol e o biodiesel e de suas perspectivas. CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. XLVI. 2008, Rio Branco, AC. 22 páginas.

VILPOUX, O *et al*.. Hidrólise do amido. In: CEREDA, Marney Pascoli. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo, Fundação Cargill, v.3, cap.15, p.377-448, 2003.

WIKIPEDIA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org>. Acesso em: 20 de maio de 2009.

ZARPELON, Florenal. As especificações do álcool focadas para o mercado mundial. s.d.