



## ESTUDO COMPARATIVO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Lucas Mendes **Oliveira**<sup>1</sup>, Juan Carlos **Valdés Serra**<sup>2</sup>, karine Beraldo **Magalhães**<sup>3</sup>

(1 – Universidade Federal do Tocantins, Discente do programa de mestrado em Agroenergia – UFT, [lucasmendeslucas@yahoo.com.br](mailto:lucasmendeslucas@yahoo.com.br); 2 - Universidade Federal do Tocantins, Docente do programa de mestrado em Agroenergia – UFT, [juancs@uft.edu.br](mailto:juancs@uft.edu.br); 3 – Instituto Federal do Tocantins, Docente do Campus Paraíso do Tocantins, [karine\\_ea@yahoo.com.br](mailto:karine_ea@yahoo.com.br))

### Resumo

A utilização do etanol como combustível é apontada hoje como uma das principais alternativas energéticas para o futuro, em substituição aos combustíveis fósseis, que, em sua reação de combustão liberam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), considerado o principal responsável pelo aquecimento global. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho consiste em estudar as diferentes tecnologias e matérias-primas utilizadas na obtenção de etanol. Para isso, foram identificados os processos envolvidos na produção de etanol, para as diferentes matérias-primas; enumerados os equipamentos e as fontes de energia utilizadas em sua produção e feita uma comparação entre as diferentes matérias-primas e os diferentes processos aplicados. Verificou-se que as matérias-primas podem ser divididas em três grupos: sacaríneas, que são aquelas cujo etanol é obtido a partir da sacarose, como, por exemplo, cana-de-açúcar e beterraba açucareira; amiláceas, as quais o açúcar que dá origem ao etanol é o amido, como, por exemplo, batata, mandioca e milho; e celulósicas, as quais contêm celulose, que pode ser convertido em etanol, como madeira e resíduos agroindustriais. A partir da análise das mesmas, foi possível perceber que a cana-de-açúcar possui as maiores vantagens, pois apresenta maior produtividade de etanol por área além de um menor custo de produção.

**Palavras-chave:** Produção de etanol; usinas; matérias-primas.



## Abstract

### COMPARATIVE STUDY OF THE DIFFERENTS TECHNOLOGIES USED IN ETHANOL PRODUCTION

The use of the etílico alcohol as combustible is pointed today as one of the main energy alternatives with respect to the future, in substitution to the fossils fuels, that, in its reaction of combustion liberate great amounts of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), considered main the responsible one for the global heating. Of this direction, the objective of this work is to study the different technologies and raw materials for alcohol producing. For this, the involved processes in the alcohol production had been identified, for different raw materials; enumerated the equipment and the used power plants in its production and made a comparison between different raw materials and the different applied processes. It was found that raw materials can be divided into three groups: sacaríneas, what are those whose ethanol is obtained from sucrose, as, for example, sugar cane and sugar beet; amylaceous products, which the sugar that gives rise to ethanol is starch, as, for example, potatoes, manioc and corn; and cellulosic material, which contains cellulose, which can be converted into ethanol, like wood and agro-industrial waste. From the analysis, it was possible to notice that the sugar cane has the greatest advantages, because it offers greater productivity of ethanol per area in addition to a lower cost of production.

**Key words:** Ethanol production; plant; raw materials.

## Resumen

### ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

El uso de etanol como combustible se señala hoy como la principal alternativa de energía para el futuro, en sustitución de los combustibles fósiles, cuya reacción de combustión libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que es considerado el principal responsable por el calentamiento global. En este sentido, el objetivo de este trabajo es estudiar las diferentes tecnologías y materias primas utilizadas en la obtención de alcohol. Para esto, los procesos involucrados en la producción de alcohol fueran identificados, bien como las diferentes materias primas, equipos y fuentes de energía utilizadas en su producción, siendo hecha una comparación entre diferentes materias primas y procesos utilizados. Se encontró



que las materias primas pueden dividirse en tres grupos: sacaríneas, ¿cuáles son aquellos cuya etanol se obtiene de sacarosa, como, por ejemplo, caña de azúcar y remolacha azucarera; productos amiláceos, que es el azúcar que da lugar a etanol de almidón, como, por ejemplo, patatas, mandioca y maíz; y material celulósico, que contiene celulosa, que puede ser convertida en etanol, como madera y residuos agroindustriales. Desde el análisis, es posible notar que la caña de azúcar tiene grandes ventajas, ya que ofrece una mayor productividad de etanol por área además un menor costo de producción.

**Palabras clave:** Producción de etanol; plantas de energía; materias primas

## 1.INTRODUÇÃO

Grande parte da energia consumida no planeta é proveniente da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão). Esses compostos, mais especificamente o petróleo e o carvão, são responsáveis por grande parte das emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para a atmosfera, o que é considerada a principal causa do aquecimento global, além de outros gases poluentes, como o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), precursor do trióxido de enxofre ( $\text{SO}_3$ ) e do ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), causadores da chuva ácida; do monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) e dos óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), que são gases tóxicos e que formam o chamado “smog fotoquímico” (BRAGA *et. al.*, 2005).

A partir do começo da era industrial, a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera sofreu um aumento de 200 ppm para 385 ppm (MARQUIS; TANS, 2009 in ARREDONDO, 2009). O uso dos combustíveis fósseis tem sido primordial para o desenvolvimento da humanidade, porém, em curto prazo, há a necessidade de se reduzir seu consumo, por exemplo, usando fontes alternativas de energia. Os biocombustíveis, tais como o etanol, são parte dessas fontes que podem diminuir o uso de gasolina e óleo diesel (ARREDONDO, 2009). Isso somado ao fato de que inevitavelmente as reservas de combustíveis fósseis se esgotarão no futuro faz com que haja a necessidade urgente de se buscar novas fontes de energia, e o etanol se tornou uma alternativa consolidada, principalmente no Brasil, que já é referência mundial na produção de energia renovável (etanol) e poderá se destacar ainda mais nesse ramo, principalmente devido ao seu potencial agrícola e sua posição geográfica, sendo um país privilegiado com suas vastas extensões de terra e índices adequados de insolação. Além disso, de acordo com Silva e Peixinho (2011), a atividade sucroalcooleira apresenta como ponto



positivo a geração de emprego e renda no campo. O que contribui para a diminuição do êxodo rural e melhora a qualidade de vida das famílias de agricultores.

Diversas são as matérias-primas utilizadas na produção de etanol, as mesmas podem ser divididas em três categorias, segundo Macedo (1993): Entre os produtos chamados sacaríneos, assim conhecidos por possuírem o açúcar sacarose, que dá origem ao etanol, citam-se: cana-de-açúcar, sorgo sacarino (colmo), beterraba, sucos de frutas em geral, entre outros. Com relação aos amiláceos, que possuem esse nome por conterem amido, mencionam-se mandioca, cereais de um modo geral, sorgo (grãos), batata e babaçu (mesocarpo). A outra categoria é a de matérias-primas celulósicas, na qual o etanol é produzido a partir da celulose existente em sua composição, na qual se destacam: eucalipto, marmeleiro, serragem, bagaço de cana, pericarpo de babaçu, casca de arroz, entre outros.

De acordo com Marcoccia (2007), a cana-de-açúcar é a matéria-prima mais utilizada em países da América latina e na Austrália. Já nos EUA e no Canadá o milho é predominante, assim como a beterraba açucareira na Europa (França, Alemanha e Espanha). Mandioca, trigo e sorgo são mais utilizados nos países asiáticos, sendo que se produz etanol a partir do sorgo também na África, e na Suécia utilizam-se restos florestais.

Diferentes matérias-primas requerem diferentes processos de produção e apresentam eficiências distintas, sendo que a escolha da mais adequada para uma determinada região vai depender de uma série de fatores como clima, solo, tecnologia disponível, mercado dos diferentes insumos, disponibilidade de terras, dentre outros.

O processo de obtenção de etanol a partir de biomassa pode ser dividido em quatro grandes fases: preparação da matéria-prima; obtenção do substrato para fermentação; fermentação e destilação. As duas primeiras fases apresentam diferenças substanciais com relação a cada um dos três grandes grupos de produtos a serem processados (sacaríneos, amiláceos e celulósicos), enquanto as duas últimas, para todos eles, podem ser consideradas praticamente idênticas, (MACEDO, 1993).

Uma das limitações para a produção de etanol combustível é a disponibilidade de terras, contudo, segundo Hall *et al.* (2005), nos países tropicais existem grandes áreas de terras já desmatadas e degradadas que se beneficiariam com a plantação de biomassa para fins energéticos, como no caso do Brasil. Porém, a indústria sucroalcooleira é responsável por uma série de impactos ambientais, o que chama a atenção para a necessidade de se buscar



uma melhora nos processos de fabricação do etanol, com a finalidade de se causar o mínimo de poluição possível.

Seguindo os princípios da lei da conservação da massa, a produção de etanol irá, inexoravelmente, e independentemente da matéria-prima e do processo utilizado, gerar uma determinada quantidade de resíduos (poluição), essa quantidade pode ser diminuída com o uso de diferentes tecnologias e o aproveitamento desses resíduos.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é apresentar as diferentes tecnologias utilizadas na produção de etanol comparando-as de modo a se conhecer quais são as mais vantajosas.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para identificar os processos envolvidos é necessário descrevê-los para os diferentes tipos de matéria-prima utilizados na obtenção de etanol.

Dessa forma, a execução do presente trabalho envolve as seguintes etapas:

- a. Identificação das diferentes matérias-primas e dos processos envolvidos na produção de etanol, para cada uma delas, desde a preparação das mesmas, passando pela fermentação, destilação, retificação e finalmente, chegando à desidratação;
- b. Enumeração dos equipamentos utilizados nesses processos;
- c. Identificação e descrição das fontes energéticas utilizadas no processo de produção de etanol;
- d. Exposição geral das etapas de obtenção do etanol;
- e. Descrição dos principais impactos ambientais oriundos do(s) processo(s)
- f. Análise e comparação entre as diferentes matérias-primas e diferentes processos.

As ações acima descritas foram realizadas por meio de pesquisas bibliográficas e na internet.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *3.1 - Identificação dos processos envolvidos nas etapas da obtenção do etanol.*

Para identificar os processos envolvidos é necessário descrevê-los para as diferentes matérias-primas utilizadas na obtenção de etanol.

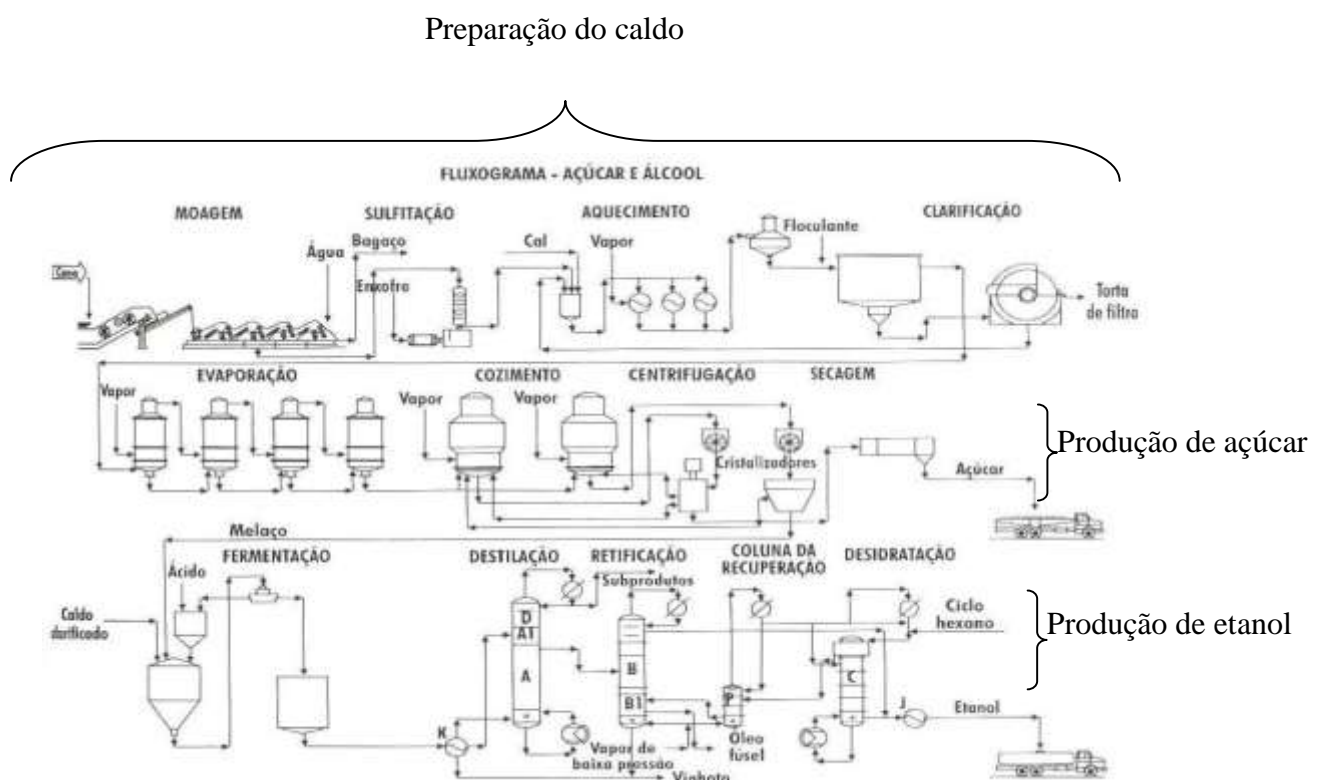
#### 3.1.1 - Etanol a partir de matérias-primas sacaríneas.

A. Cana-de-açúcar.

A metodologia para produção de etanol, segundo a Coopersucar (2010), é a seguinte: O etanol é obtido após a fermentação do caldo ou de uma mistura de melaço e caldo, portanto através de um processo bioquímico. Todavia, antes de ser enviado ao processo fermentativo, este caldo deve receber um tratamento de purificação.

Na figura 1 é apresentado o fluxograma genérico de uma usina de produção de açúcar e etanol, de acordo com Macedo (2005). O referido processo encontra-se descrito detalhadamente após a figura.

Figura 1 – Fluxograma de uma usina de produção de açúcar e etanol.



Fonte: Macedo (2005, p. 251).

I. Tratamento do caldo para destilaria: Após passar pelo tratamento primário de peneiramento, o caldo é submetido a um tratamento mais completo que implica na adição de cal, aquecimento e posterior decantação.



O aquecimento do caldo (até 112 ° C) pode ter aplicações distintas, como completar as reações químicas mais rapidamente e facilitar processos futuros, como clarificação, evaporação e outros. O aquecimento de caldo, após a extração, tem diferentes objetivos em função do produto final desejado. Para os casos em que a meta é a produção de etanol, é preciso preparar o caldo para a adição de leite de cal (calagem) com o objetivo de precipitar os componentes indesejáveis do caldo (colóides), não-açúcares orgânicos e inorgânicos em suspensão, emulsificar graxas e ceras e fazer o tratamento térmico bacteriológico, que alguns denominam de pasteurização do caldo. Essa fase busca a redução ou eliminação de microorganismos indesejáveis no processo de fermentação alcoólica (NASCIMENTO, 2007).

Em geral, o resfriamento do caldo é realizado em duas etapas:

✓ Fazendo-se passar o caldo quente (esterilizado) por um trocador de calor (regenerativo) em contracorrente com o caldo misto frio, onde o caldo misto é aquecido e o caldo para destilaria é resfriado (=60°C).

✓ Resfriamento final até aproximadamente 30°C, normalmente realizado em trocadores de placas utilizando água em contracorrente, como fluido de resfriamento.

Livre de impurezas (areia, bagacilhos etc.) e devidamente esterilizado, o caldo está pronto para ser encaminhado para fermentação.

II. Preparo do mosto: O mosto nada mais é que uma solução de açúcar cuja concentração foi ajustada de forma a facilitar a sua fermentação. Basicamente é constituído de uma mistura de méis e caldo, com uma concentração de sólidos de aproximadamente 19-22° Brix. Caso haja necessidade, usa-se água para o ajuste do °Brix.

III. Preparo do fermento: O processo de fermentação mais comumente utilizado nas destilarias do Brasil é o de Melle-Boinot (batelada), cuja característica principal é a recuperação da levedura através da centrifugação do vinho.

Esta levedura recuperada, antes de retornar ao processo fermentativo, recebe um tratamento severo, que consiste em diluição com água e adição de ácido sulfúrico até, normalmente, pH= 2,5, ou mais baixo (pH = 2) no caso de haver infecção bacteriana.

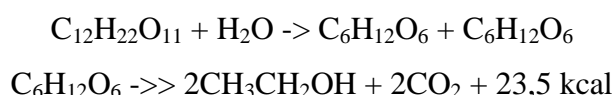
Esta suspensão de fermento diluído e acidificado, conhecido na prática com o nome pé-de-cuba, permanece em agitação de uma hora a três horas, antes de retornar à dorna de fermentação.



A fermentação contínua também é uma alternativa industrial viável. Caracteriza-se por possuir uma linha de retirada do vinho e outra de alimentação do substrato no tanque de fermentação. Pode haver ou não a recirculação de células, nesse caso, a separação de biomassa no mosto pode ser realizada por vários métodos, por exemplo, a centrifugação, a filtração, a separação por membranas, entre outros. Esse tipo de fermentação apresenta maior produtividade devido à ausência de paradas para carga, descarga e limpeza dos tanques de fermentação e também pelas células estarem mais adaptadas ao meio. (ATALA, 2004).

IV. Fermentação propriamente dita: É nessa fase que os açúcares são transformados em etanol. As reações ocorrem em tanques denominados dornas de fermentação, onde se misturam o mosto e o pé-de-cuba na proporção de 2:1, respectivamente.

Os açúcares (sacarose) são transformados em etanol, segundo a reação simplificada de Gay Lussac:



Durante a reação, ocorre intensa liberação de gás carbônico, a solução aquece-se e ocorre a formação de alguns produtos secundários como: alcoóis superiores, glicerol, aldeídos, etc.

O tempo de fermentação varia de 4 a 10 horas. Ao final desse período praticamente todo o açúcar já foi consumido, com a conseqüente redução da liberação de gases.

Ao terminar a fermentação, o teor médio de etanol nestas dornas é de 7% a 10%, e a mistura recebe o nome de vinho fermentado. Devido à grande quantidade de calor liberado durante o processo de fermentação e à necessidade da temperatura ser mantida baixa (32°C), é necessário realizar o resfriamento do vinho, circulando água em serpentinas internas às dornas, ou em trocadores de calor, por onde o vinho é bombeado continuamente com água em contracorrente.

Atualmente, esse processo de fermentação é realizado de forma descontínua ou contínua, em dornas abertas ou fechadas. Nessas últimas, procede-se a lavagem dos gases de saída em uma torre de recheio para recuperação do etanol evaporado, por sua absorção em água, que é retornada ao processo.

V. Centrifugação do vinho: Após a fermentação, o vinho é enviado às centrífugas para a recuperação do fermento. O concentrado do fermento recuperado, denominado leite de





levedura, retorna às cubas para o tratamento. A fase leve da centrifugação, ou vinho "delevedurado", é enviada para as colunas de destilação.

VI. Destilação: O vinho que vem da fermentação possui, em sua composição, 7° a 10°GL (% em volume) de etanol, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. Dentro dos líquidos, além do etanol, encontra-se a água com teores de 89% a 93%, glicerol, alcoóis homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético, em quantidades bem menores. Já os sólidos são representados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não-fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides e outros, e os gasosos, principalmente pelo CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

O etanol presente nesse vinho é recuperado por destilação, processo que se utiliza dos diferentes pontos de ebulição das diversas substâncias voláteis presentes, separando-as. A operação é realizada com auxílio de sete colunas distribuídas em quatro troncos:

- Destilação propriamente dita;
- Retificação;
- Desidratação;
- Recuperação do desidratante.

VII. Destilação propriamente dita: A destilação é processada em três colunas superpostas: A, A1 e D. Nestas, o etanol é separado do vinho (inicialmente com 7° a 10°GL) e sai com a flegma (vapores com 40° a 50°GL). O tronco de destilação elimina ainda impurezas (ésteres e aldeídos).

O vinho é alimentado no topo da coluna A1, descendo pelas bandejas e sofrendo a epuração, sendo a flegma retirada no fundo desta (bandeja A16) e enviada à coluna B. Os voláteis, principalmente ésteres e aldeídos, são concentrados na coluna D e retirados no seu topo, sendo condensados em dois condensadores R e R1, onde uma fração deste líquido (90% a 95%) retorna ao topo da coluna D e a outra é retirada como etanol de 2<sup>a</sup>, com graduação de aproximadamente 92°GL, ou retornado à dorna volante.

Uma coluna tem por finalidade esgotar a maior quantidade possível de etanol do seu produto de fundo, que é denominado vinhaça. A vinhaça, retirada em uma proporção aproximada de 13 litros para cada litro de etanol produzido, é constituída principalmente de água, sais sólidos em suspensão e solúveis e é utilizada na lavoura como fertilizante, sendo seu calor parcialmente recuperado pelo vinho em um trocador de calor. A sua graduação alcoólica não deve ser superior a 0,03°GL.



O aquecimento da segunda coluna (coluna B) é realizado pela injeção de vapor (escape ou vegetal) no fundo dessa coluna, ou indiretamente através do trocador-evaporador. A finalidade da coluna B é concentrar a flegma a uma graduação de aproximadamente 96°GL e proceder a sua purificação com a retirada das impurezas que a acompanham, como alcoóis homólogos superiores, aldeídos, ésteres, aminas, ácidos e bases. A flegma é alimentada nessa coluna, onde é concentrada e purificada, sendo retirada, sob a forma de etanol hidratado, duas bandejas abaixo do topo da coluna.

Os voláteis retirados no topo da segunda coluna passam por uma seqüência de condensadores onde parte do calor é recuperada pelo vinho, uma fração do condensado é reciclada e outra retirada como etanol de 2ª. Do fundo da coluna B é retirada uma solução aquosa chamada flegmaça, que após esgotada pode ser reciclada no processo ou eliminada. Os alcoóis homólogos superiores, denominados óleos fúsel e alto, são retirados de bandejas próximas à entrada da flegma.

O óleo alto retorna à dorna volante e o óleo fúsel é resfriado, lavado, decantado e armazenado para posterior comercialização. O aquecimento da coluna é realizado pela injeção de vapor, como na epuração.

VIII. Desidratação: O etanol hidratado, produto final dos processos de epuração (destilação) e retificação, é uma mistura binária etanol-água que atinge um teor da ordem de 96°GL. Isto ocorre devido à formação de uma mistura azeotrópica, fenômeno físico no qual os componentes não são separados pelo processo de destilação. Esse etanol hidratado pode ser comercializado dessa forma ou passar por um dos três processos de desidratação descritos a seguir.

- Destilação azeotrópica, utilizando Ciclohexano: Esse processo utiliza uma coluna de desidratação, sendo o ciclohexano alimentado no topo da coluna e o etanol a ser desidratado alimentado a um terço abaixo do topo da coluna. Nesse processo, o ciclohexano tem a característica de formar com o etanol e a água uma mistura ternária (azeótropo) com um ponto de ebulição de 63°C.

Esse menor ponto de ebulição da mistura em relação ao do etanol (78°C), faz com que a água seja retirada no topo da coluna. Por condensação, essa mistura azeotrópica irá se separar em duas fases, sendo a fase inferior, mais rica em água, enviada para uma outra coluna onde ocorre a recuperação do ciclohexano, que retorna ao processo de desidratação. O



etanol anidro obtido, com um teor alcoólico em torno de 99,3%, é retirado na parte inferior da coluna de desidratação, de onde é condensado e encaminhado para armazenamento.

- Destilação extrativa, utilizando Mono Etileno Glicol: Similarmente ao processo anterior, utiliza-se uma coluna de desidratação, onde o mono etileno glicol (MEG) é alimentado no topo dessa coluna e o etanol a ser desidratado também a um terço abaixo do topo da coluna. Inversamente ao processo do Ciclohexano, o MEG absorve e arrasta a água para o fundo da coluna e os vapores de etanol anidro saem pelo topo da coluna, de onde o etanol é condensado e enviado para armazenamento nos tanques. A mistura contendo água, MEG e uma pequena quantidade de etanol, é enviada para uma coluna de recuperação do MEG, o qual retorna ao processo de desidratação. Como o MEG concentra as impurezas retiradas do etanol e se torna mais corrosivo, é necessária a sua purificação pela passagem através de uma coluna de resinas de troca iônica, que retém os sais e reduz a acidez.

De acordo com Meirelles (2007), a desidratação por etileno glicol é mais vantajosa que a destilação azeotrópica, tanto com benzeno como com ciclohexano, pois produz um etanol com a mesma qualidade, ou até melhor, mas com considerável ganho na produtividade, na economia de energia e na operacionalidade do equipamento.

- Desidratação por adsorção, utilizando Peneira Molecular: O etanol a ser desidratado é inicialmente vaporizado e superaquecido antes de ser enviado para as colunas de desidratação, que contém em seu interior um material constituído basicamente por hidrossilicato de alumínio com micro-poros, denominado zeólita, também conhecido como peneira molecular. Essa rede de micro-poros absorve a água e deixa passar os vapores de etanol que são posteriormente condensados na forma de etanol anidro. Periodicamente é realizada a regeneração da zeólita pela passagem sob vácuo de vapores alcoólicos que são posteriormente destilados para recuperação do etanol neles contido. Poucas empresas fabricam o equipamento, nenhuma no Brasil. Seu custo é relativamente alto.

A tabela 1 mostra que, apesar de a desidratação com Mono-etileno Glicol necessitar de um maior investimento inicial em relação à destilação azeotrópica, a mesma consome menores quantidades de água, vapor e energia elétrica do que as demais formas de desidratação, além de ser necessário menos desidratante por cada litro de etanol, se comparada à destilação azeotrópica.

Tabela 1 – Valores comparativos dos diferentes processos de desidratação.

Consumo	Destilação azeotrópica	Peneira molecular	Destilação com MEG
Vapor (kg/L)	1,5 a 1,6 <sup>(1)</sup>	0,55 (0,80) <sup>(2)</sup>	0,45 a 0,70 <sup>(3)</sup>
Água (L/L)	65	55	30 a 38
Desidratante (L/m <sup>3</sup> )	0,5 a 0,6	10 anos/carga	Max. 0,15
Energia elétrica (kWh/m <sup>3</sup> )	Min. 11,1	Mín. 9,51	Max. 7,22
Custo do investimento (proporção)	100	200-250	140-160

(1) Vapor de Baixa Pressão. (2) 0,05 Kg/L de Vapor de Alta Pressão. (3) 0,35-0,45 Kg/L de Vapor de Alta Pressão.

Fonte: Meirelles (2010).

IX. Armazenamento do etanol: Os alcoóis produzidos, hidratado e anidro, são quantificados por medidores de vazão ou tanques calibrados e enviados para armazenagem em tanques de grande volume, situados em parques de tanques, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões.

#### B. Produção de etanol de beterraba.

A produção de etanol de beterraba é idêntica à da cana-de-açúcar, pois, com a beterraba, o etanol é obtido a partir da sacarose, ou seja, as etapas são: preparação da matéria-prima; esterilização do mosto; fermentação; destilação; retificação; e desidratação, caso se queira como resultado o etanol anidro.

### 3.1.2 - Etanol a partir de matérias-primas amiláceas.

#### A. Produção de etanol de mandioca.

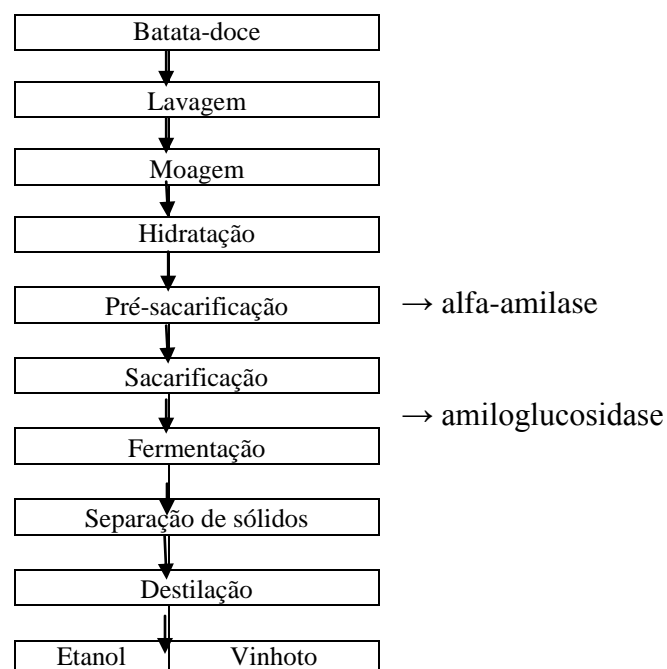
O processo de produção de etanol de mandioca é similar ao processamento da cana. As principais diferenças estão no preparo da matéria prima e no sistema de fermentação. No caso da cana, o açúcar para a fermentação já está no seu colmo, necessitando apenas extraí-lo. A mandioca, a batata-doce e o milho não possuem açúcar e sim amido. Nesse caso, é preciso converter o amido em açúcares, para depois fermentá-lo, o que é feito com o cozimento e sacarificação, com uso de enzimas. O processo de destilação é o mesmo utilizado para a cana.

#### B. Produção de etanol de batata-doce.

A produção de etanol a partir da batata-doce segue a metodologia adotada pelo LASPER – Laboratório de Produção de Energia a partir de Fontes Renováveis. Pereira Jr. et al. (2004) relatam as principais operações unitárias envolvidas na manufatura do etanol etílico a partir da batata-doce, onde é utilizado o processo enzimático de hidrólise de amido, essas operações estão descritas esquematicamente na Figura 2.

A hidrólise do amido é realizada segundo a metodologia de Pereira Jr. et al. (2004) e Cereda (2005), com algumas adaptações. A massa ralada de batata-doce é transferida para um vasilhame de alumínio e diluída com água destilada na proporção massa ralada/água 4:3. O aquecimento é gradual até 90°C e a temperatura é mantida por 25 minutos, tempo necessário para a gelatinização do meio. A enzima liquidificante será acrescentada na proporção de 87,5 mL de Termamyl 120L (alfa-amilase)/g de raiz, mantendo a mesma temperatura (90°C), durante 20 minutos, sob agitação constante. Não será necessário ajustar o pH antes da liquefação porque na batata-doce já está próximo de 6,0 dentro da faixa ótima de atuação enzimática (6,0 a 8,0). Finalizada esta etapa, promove-se o resfriamento, é ajustado o pH com HCl (1 N) para 4,5. A sacarificação será realizada adicionando 87,5 mL de AMG 300L (glucoamilase)/g de batata-doce, à 60°C durante 30min, sob agitação.

Figura 2 - Fluxograma da produção de etanol a partir da batata-doce.



FONTE: Pereira Jr. *et al.* (2004).



Os processos identificados na figura 2 já foram descritos neste trabalho, exceto a hidrólise enzimática do amido que envolve a pré-sacarificação e a sacarificação.

As concentrações enzimáticas para hidrolisar o amido da mandioca segundo a metodologia de Cereda (2005) é de 3 mL da enzima Termamyl 120L. kg<sup>-1</sup> de amido, e 2 mL da enzima AMG 300L.kg<sup>-1</sup> de amido. O equivalente a 0,92 mL de Termamyl 120L. kg<sup>-1</sup> de raiz de batata-doce e 0,61 mL de AMG 300L.kg<sup>-1</sup> de raiz. No LASPER utilizava-se concentrações superiores devido às inadequadas condições de armazenamento e validade das enzimas.

Finalizado a hidrólise do amido, o meio é resfriado (30°C), medido o °Brix (com Sacarímetro de °Brix), e inoculada a levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), numa concentração de 6,11 g/L de meio hidrolisado (peso úmido/v). São utilizados recipientes de alumínio com tampa para a fermentação. O processo dura 12 h, e depois de finalizado o meio fermentado é transferido para o sistema de destilação.

#### C. Produção de etanol de milho.

A obtenção de etanol de milho envolve as mesmas etapas das outras matérias-primas amiláceas, onde há a necessidade de sacarificação do amido.

### 3.2 - Análise e Comparação entre as diferentes tecnologias.

De acordo com ABAM (2010), em décadas anteriores chegou a haver vantagem do etanol de mandioca em relação ao obtido da cana-de-açúcar, contudo, o avanço da tecnologia na extração do produto da cana fez com que o mesmo ganhasse competitividade. Outro fator que interviu para isso foi que enquanto o setor canavieiro viveu um período de forte aparato governamental, a produção de mandioca, muitas vezes, foi vista como uma cultura de pequenos produtores, não “tecnificados”. Poucos foram os recursos destinados a instituições de pesquisa para desenvolvimento de novas tecnologias nessa área.

Segundo Cabello (2010), para a cultura da mandioca ainda existe muito espaço a ser conquistado em termos de produtividade agrônômica, enquanto que para cana-de-açúcar, que há anos vem desenvolvendo seu potencial agrônômico, os incrementos em produtividade vão sendo menores e a maiores custos.

Se considerado o rendimento por tonelada, a mandioca supera a cana em termos de produção. De acordo com pesquisas feitas pelo Departamento Agroindústria e Tecnologia de Alimentos da Esalq, uma tonelada de cana-de-açúcar, com 140 kg de Açúcar Total



Recuperável (ATR), produz 85 litros de etanol, enquanto que uma tonelada de mandioca, com rendimento de 20% de amido, pode produzir 104 litros de etanol. Entretanto, quando se calcula a produção possível por hectare a situação é invertida. Em um hectare de cana-de-açúcar em São Paulo, com produtividade de 81 t/ha, obtém-se em 6.934 litros de etanol. Já um hectare de mandioca em São Paulo, produzindo 24,8 t/ha, poderia ser transformado em 2.589 litros de etanol. Outro ponto desfavorável à mandioca é o custo de produção agrícola. Enquanto para produzir a cana custa entre R\$ 23,3/t, para a cana de primeiro corte, com produtividade de 120 t/ha, e, R\$ 29,3/t, para a cana de quinto corte e produtividade de 75 t/ha; a produção de mandioca custa R\$ 117,3/t, para a mandioca de um ciclo com, produtividade de 50 t/ha, e, R\$ 113,8/t, para a mandioca de dois ciclos (dezoito meses) e produtividade de 80 t/ha (ABAM, 2010).

Muitos autores recomendam que a hidrólise seja realizada pela via enzimática, pois a mesma gera um resíduo não poluente, o que dispensa custos com tratamento desse resíduo e faz com que o mesmo possa ser aproveitado como ração animal. Todavia, de acordo com Magalhães (2007) atualmente, as enzimas representam o maior custo, entre os insumos utilizados durante a produção do etanol da batata-doce, já que muitas vezes são importadas e ainda existem poucos distribuidores no país.

A Tabela 2 apresenta os valores comparativos para produtividade de etanol a partir de mandioca e cana de açúcar.

Em relação ao milho, produzido nos Estados Unidos, a cana-de-açúcar também parece levar uma significativa vantagem econômica. De acordo com a revista Globo Rural (2007), o etanol de milho apresenta um custo 40% superior ao produto obtido da cana-de-açúcar.

Tabela 2 – Valores comparativos para produtividade de etanol a partir de mandioca e cana de açúcar.

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 <sup>3</sup> / t açúcares)	0,718	0,681
Produtividade etanol (m <sup>3</sup> / ha.ano)	7,54	7,90
Preço CIF matéria prima (R\$ / t) *	110,00	38,70
Custo unitário etanol (R\$/m <sup>3</sup> )	437,66	391,90

\* Preços de maio/2005

Fonte: ABAM (2010).

A produção de etanol combustível a partir do milho ou da beterraba, como é feito nos Estados Unidos e na Europa respectivamente, é, segundo Atala (2004) economicamente inviável por apresentar um custo de produção elevado, se comparado à cana-de-açúcar.

### 3.3 - Equipamentos envolvidos nas diferentes etapas na obtenção do etanol.

A tabela 3 mostra quais equipamentos são utilizados na obtenção de etanol a partir de cada uma das matérias-primas utilizadas.

Para que se possa realizar os processos acima descritos e chegar à obtenção do etanol, são necessários alguns equipamentos. Segundo Macedo (1993), são eles:

- ✓ Moinho triturador - peneiras diversas;
- ✓ Tanque do leite com agitação;
- ✓ Tanques de hidrólise com agitação e injeção de vapor (com ou sem pressão), para matérias-primas amiláceas e celulósicas;
- ✓ Trocador de calor para resfriamento do hidrolisado, para matérias-primas amiláceas e celulósicas;
- ✓ Tanque de sacarificação com resfriamento e correção da acidez e agitação, para matérias-primas amiláceas e celulósicas;
- ✓ Tanque (dorna) de fermentação com resfriamento e agitação e correção da acidez;
- ✓ Peneira centrífuga para reaproveitamento dos sólidos não-fermentáveis (rações);
- ✓ Destilador(es);
- ✓ Desidratador(es).

Tabela 3 – Equipamentos utilizados por cada matéria-prima na produção de etanol.

Equipamentos	Cana-de-açúcar	Batata-doce	Mandioca	Milho	Beterraba
Moinho triturador	X	X	X	X	X
Tanque do leite	X	X	X	X	X
Tanques (hidrólise)		X	X	X	
Trocador de calor		X	X	X	
Tanque de sacarificação		X	X	X	
Tanque de fermentação	X	X	X	X	X
Peneira centrífuga	X	X	X	X	X
Destilador(es)	X	X	X	X	X
Desidratador(es)	X	X	X	X	X

#### 3.3.1 - Equipamentos que geram energia para produção de etanol.





Os principais equipamentos geradores de energia em uma usina de etanol, e que podem ser utilizados em um sistema de cogeração são caldeiras; turbinas a vapor; geradores e motores elétricos.

A - Caldeiras: Nas caldeiras o bagaço da cana de açúcar é queimado para a produção de vapor a alta pressão e temperatura (21 kg/cm<sup>2</sup> a 300 °C, 42 kg/cm<sup>2</sup> a 400 °C, 64 kg/cm<sup>2</sup> a 450 °C, por exemplo) para acionamento das turbinas a vapor, produzindo energia mecânica ou elétrica e o calor residual do vapor (1,5 kg/cm<sup>2</sup> e 130 °C) na saída da mesma, utilizado no processo produtivo de açúcar e etanol (PAZIAN, 2004).

Caldeiras ou geradores de vapor d'água são equipamentos destinados a mudar o estado da água, do líquido para o de vapor, a fim de ser usado em aquecimento, em processos industriais, no acionamento de máquinas motrizes (turbinas a vapor para acionamento de geradores, bombas de água, etc.), etc. Podem ser elétricas ou a combustíveis (gás, óleo combustível, bagaço e palha da cana, madeiras, etc.) (MACINTYRE, 1997).

Na área de geração de vapor o crescimento foi praticamente paralelo ao desenvolvimento da turbina e da exigência de vapor superaquecido e reaquecido (TORREIRA, 1995).

A evolução tecnológica das caldeiras buscando maior rendimento e eficiência está associada à elevação das pressões e temperatura de operação através de superaquecedores e instalação de equipamentos para recuperação da energia calorífica dos gases da combustão tais como economizadores e aquecedores de ar (PAZIAN, 2004).

Com tecnologia nacional, atualmente são fabricadas caldeiras com rendimento de 87,5% e capacidade de produção de 100 a 300 T/h; pressão de 21 a 80 kg/cm<sup>2</sup> e temperatura de 300 °C a 510 °C (PAZIAN, 2004).

I – Superaquecedores: Os superaquecedores são trocadores de calor instalados no circuito dos gases quentes da caldeira. No interior do tambor das caldeiras o vapor formado permanece em equilíbrio com a fase líquida à temperatura de vaporização, constituindo o chamado vapor saturado. O vapor saturado, ao passar pelo superaquecedor, eleva sua temperatura acima da temperatura de vaporização, tornando-se superaquecido (PAZIAN, 2004). Pode-se considerar um aumento de 3% no rendimento da caldeira para cada 37% de superaquecimento (PERA, 1990).



As vantagens da utilização do vapor superaquecido são duas: a primeira uma maior disponibilidade de energia e a segunda, um maior rendimento nas turbinas a vapor (MACINTYRE, 1997).

II – Economizadores: Economizadores são trocadores de calor destinados a elevar a temperatura da água de alimentação, antes de introduzi-la no interior da caldeira, aproveitando o calor sensível ainda disponível nos gases de combustão que saem da caldeira. Para cada aumento de 10 °C na temperatura da água de alimentação das caldeiras há uma economia de 1,4% de combustível (PERES, 1982).

III - Pré-Aquecedores de Ar: Além do economizador ainda existe outro equipamento, o pré-aquecedor de ar, que permite recuperar uma parte do calor sensível dos gases de combustão que se encaminham para a chaminé. São trocadores de calor que elevam a temperatura do ar de combustão antes de serem projetados na fornalha (PAZIAN, 2004).

A cada aumento de 38 °C na temperatura do ar de combustão há um correspondente aumento de aproximadamente 2% na eficiência da caldeira. Dependendo do dimensionamento do pré-aquecedor de ar a economia de combustível pode variar de 5% a 10% (PERES, 1982).

IV – Combustível: O combustível das usinas de açúcar e etanol é o bagaço da cana e a palha da cana, ainda pouco utilizada. Segundo Peres (1982), a composição física do bagaço nas usinas de açúcar e etanol no Brasil varia muito pouco de uma região para outra.

A palha da cana também consiste em uma importante fonte de combustível, permitindo suplementar o déficit de bagaço e abrindo a possibilidade de geração de energia elétrica para venda durante o período de entressafra.

Na maioria das usinas brasileiras, as caldeiras ainda operam à pressão de 21 kg/cm<sup>2</sup> e as turbinas a vapor são de simples estágio. A substituição das caldeiras, elevando-se a pressão de operação e aplicação de turbinas a vapor de multi-estágios, são alternativas que permitem grandes excedentes de energia elétrica (PAZIAN, 2004).

B - Turbinas a Vapor: Turbina a vapor é uma máquina motriz que utiliza a elevada energia cinética da massa de vapor expandido, fazendo com que forças consideráveis, devidas à variação de velocidade, atuem sobre palhetas fixadas em um rotor. As forças aplicadas às palhetas determinam um momento motor resultante que faz girar o rotor. São usadas para acionamento de geradores, turbo-bombas, moendas, exaustores, etc. (MACINTYRE, 1997).



C - Geradores: A geração de energia elétrica nas usinas de açúcar e etanol, para atender suas necessidades internas de consumo, vem ocorrendo a várias décadas. É realizada através de turbinas a vapor que acionam os geradores. O conjunto formado pela turbina a vapor e o gerador é normalmente denominado turbogerador. Os primeiros geradores geravam em baixa tensão (220 a 440 V) e potências variando de 300 a 2000 kW (PAZIAN, 2004).

D - Motores Elétricos: As usinas de açúcar e etanol, na grande maioria, acionam moendas, exaustores e bombas de água, através de turbinas a vapor. São turbinas de simples estágio e de baixo rendimento. A substituição destas turbinas por motores elétricos, consiste em um grande potencial de conservação de energia em função do maior rendimento dos motores elétricos e disponibilizar o vapor antes utilizado nestas turbinas, para geração de energia elétrica através de turbinas a vapor de multi-estágios, que possuem maior rendimento.

A substituição de turbinas a vapor por motores elétricos vem ganhando destaque em função do potencial de conservação de energia, por apresentar maior rendimento e disponibilizar maior quantidade de vapor para geração de energia elétrica. Pelas altas potências envolvidas, principalmente nas moendas (1000 a 3000 CV), os motores para esta aplicações são acionados em média tensão (2300 a 6600 V) e em aplicações especiais em alta tensão (13800 V).

#### *3.4 - Problemas ambientais relacionados à produção de etanol.*

De acordo com o Relatório do Banco de Cooperação Internacional do Japão JBIC (2006), entre os problemas ambientais ocasionados pela produção de cana-de-açúcar destacam-se a erosão do solo por manuseio inadequado, a concentração de salinização do solo pelo uso excessivo de vinhoto, a poluição da água pelo uso de agrotóxicos e a poluição atmosférica causada pela queimada dos campos.

Outro problema sério é a queima da cana-de-açúcar, antes de sua colheita, que libera gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O<sub>3</sub>), além de material particulado para a atmosfera, causando poluição do ar. No estado de São Paulo, existe uma lei estadual que estabelece o fim dessa prática em 2015/2020.

Um outro problema seria uma possível competição com a produção de alimentos, pois, de acordo com Silva e Peixinho (2011), a cultura da cana-de-açúcar vem se expandindo no Brasil e avança em estado como Goiás, onde antes a maior parte da área agrícola era utilizada para a produção de alimentos.



Não é possível se afirmar com precisão os impactos ambientais causados pelas outras matérias-primas empregadas na produção de etanol, devido à falta de estudos e pesquisas nessa área. Sabe-se que não há a necessidade de queimadas para a grande maioria delas, o que é uma vantagem, entretanto, os demais impactos, como erosão, salinização e poluição da água por agrotóxicos são observadas para qualquer cultura e a geração de resíduos também é inevitável, independente da matéria-prima utilizada, além disso, há a possibilidade de existirem outros problemas na sua produção não observados na cana-de-açúcar. Como exemplo, podemos citar o fato de vegetais como a beterraba, a batata-doce e a mandioca serem raízes, e haver a necessidade das mesmas serem “arrancadas” do solo na colheita, o que ocasiona descompactação do solo, e pode acelerar os processos erosivos e a lixiviação de nutrientes e defensivos agrícolas para os corpos d’água.

#### 4. CONCLUSÕES

Por meio da análise do estudo realizado, pode-se concluir que:

✓ A cana-de-açúcar é a matéria-prima, dentre as utilizadas atualmente para produção de etanol, que apresentou menor custo de produção e maior produção de etanol por área plantada, sendo a mais indicada para esta atividade.

✓ Apesar das vantagens, a cana apresenta alguns inconvenientes ambientais entre eles destacam-se a erosão do solo por manuseio inadequado, a concentração de salinização do solo pelo uso excessivo de vinhoto, a poluição da água pelo uso de agrotóxicos e a poluição atmosférica causada pela queimada dos canaviais antes da colheita, entretanto, apesar de ainda não haver muitos estudos a respeito, sabe-se que a produção do etanol por meio das demais matérias-primas também gera impactos ambientais;

✓ As principais fontes energéticas utilizadas em usinas de produção de etanol são: caldeiras, turbinas a vapor, motores e geradores elétricos. Sendo que as caldeiras são responsáveis pela geração da energia calorífica para aquecimento e destilação, e têm como principal combustível o bagaço da cana.

#### 5. REFERÊNCIAS

ABAM, Associação brasileira dos produtores de amido de mandioca. *Etanol de mandioca atrai investimentos*. Disponível em [www.abam.com.br](http://www.abam.com.br). Acesso em 30 de setembro de 2010.



ARREDONDO, H.I.V. *Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis*. Tese de doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

ATALA, D. I. P. *Montagem, instrumentação, controle e desenvolvimento experimental de um processo fermentativo extrativo de produção de etanol*. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos. Campinas, SP: Dezembro de 2004.

BRAGA, B. et. al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. 2ª. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CABELLO, C. *Produção de etanol da mandioca*. Disponível em: <[www.abam.com.br/artigos](http://www.abam.com.br/artigos)>. Acesso em 01 de outubro de 2010.

CEREDA, M. P. *Hidrólise enzimática de amido de mandioca para elaboração de etanol*. 2005. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista/revista13/ceteagro.php>>. Acesso em: 14 ago. 2006.

COOPERSUCAR. *Etanol*. Disponível em <<http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/alcool.asp>> Acesso em 3 de outubro de 2010.

HALL, D. O.; HOUSE, J. I.; SCRASE, I. Visão geral de energia e biomassa. In: *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Organizadores: Frank Rosillo-Calle, Serio V. Bajay e Harry Rothman. Tradução por José Dilcio Rocha e Maria Paula G. D. Rocha. Campinas, SP: Editora da UNICAMP. Cap. 1, p. 25-67. 2005.

JBIC - Relatório Final do Banco de Cooperação Internacional do Japão - *Estudos Prospectivos para Fomento dos Biocombustíveis no Brasil*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2006.

MACEDO, I. de C.; & CORTEZ L. A. B. *O processamento industrial da cana-de-açúcar no Brasil*. In: *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*. Organizadores: Frank Rosillo-Calle, Serio V. Bajay e Harry Rothman. Tradução por José Dilcio Rocha e Maria Paula G. D. Rocha. Campinas, SP: Editora da UNICAMP. Cap. 6, p. 247-268. 2005.

MACEDO, L. C. H. de. *Etanol etílico: da cachaça ao cereal*. São Paulo: Ícone, 1993.

MACINTYRE, A. J. *Equipamentos Industriais e de Processo*. Rio de Janeiro: LT – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A. cap. 11, 15. 62. 1997.



- MAGALHÃES, K. A. B. *Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata-doce no município de Palmas-TO*. Palmas, Maio de 2007. Dissertação de Mestrado em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins. 2007.
- MARCOCCIA, R. *A participação do etanol em uma nova perspectiva na matriz energética mundial*. 95 p. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. 2007.
- MARQUIS, M.; TANS, P. - National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *The Heat is on: Scientific Understanding of the Causes and Risks of Climate Change is Clearer than ever, but is it Enough to Change the Public's Behavior?* Hawaii: 2009. Disponível em: [http://www.esrl.noaa.gov/gmd/co2conference/Reporters/Camera\\_CO2conference.pdf](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/co2conference/Reporters/Camera_CO2conference.pdf). in:
- ARREDONDO, H.I.V. *Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis*. Tese de doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- MEIRELLES, A. J. A. *Expansão da produção de bioetanol e melhoria tecnológica da destilação alcoólica*. Disponível em < [http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Workshop\\_Etanol\\_sessao%20Antonio%20Meirelles.pdf](http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/Workshop_Etanol_sessao%20Antonio%20Meirelles.pdf).> Acesso em : 24 de Setembro de 2010.
- NASCIMENTO, D. *Tecnologia Industrial: alta temperatura*. Disponível em <<http://www.ideaonline.com.br/ideanews/ideanews.asp?cod=38&sec=4>>. Acesso em 24 de Setembro de 2007.
- PAZIAN, J. A. *Desenvolvimento de uma metodologia para análise do potencial de cogeração de energia elétrica em usina de açúcar e etanol*. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus de Bauru, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial. Bauru – SP, Outubro de 2004.
- PERA, H. *Geradores de Vapor*. São Paulo: Fama, 1990.
- PEREIRA JÚNIOR, N.; FERREIRA, V.; ALVES, D. G. et al. *Tecnologia de bioprocessos: ênfase em aproveitamento de materiais amiláceos para produção de etanol*. Palmas: UFT/LASPER, 2004. (não publicado).
- PERES, N. P. *Eficiência em Caldeira na Agroindústria Canavieira*. Piracicaba: STAB Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil, 73 p. 1982.

REVISTA GLOBO RURAL. *O etanol da fazenda: Pequenos agricultores descobrem a fórmula para ficar longe da bomba do posto e fabricam na propriedade seu próprio combustível* Rio de Janeiro. Editora Globo. Mensal. ISSN 0102-6178. 2007.

SILVA, W. F. ; PEIXINHO, D. M. . *O avanço do setor sucroenergético no cerrado: os impactos da expansão canaveira na dinâmica socioespacial de jataí (GO)*. In: 63ª Reunião anual da SBPC, 2011, Goiânia. Cerrado: Água, alimento e energia, 2011. v. 1. p. 1021-1022.

TORREIRA, R. P. *Geradores de Vapor*. São Paulo: Libris, 1995.