



Processos de produção do álcool etílico de cana-de-açúcar e os possíveis reaproveitamentos dos resíduos resultantes do sistema

Claudio Cezar Meneguetti¹ (FECILCAM) silvana_mez@hotmail.com

Silvana Mezaroba² (FECILCAM) ccmenguetti@hotmail.com

Profa. Dra. Andréa Machado Groff³ (FECILCAM) andrea_groff@hotmail.com

Resumo: Este trabalho tem como função fornecer as informações necessárias ao perfeito conhecimento das operações unitárias da produção do álcool de cana-de-açúcar, objetivando a otimização dos processos produtivos, na busca da obtenção de um álcool de qualidade, livre de contaminações químicas, físicas e biológicas. Um dos principais problemas encontrados na produção do álcool é a geração de resíduos que podem causar contaminações ambientais, nesse aspecto apresentam-se neste trabalho opções de reutilização desses resíduos de maneira a diminuir o máximo possível esses impactos ambientais. Todas as etapas de produção do álcool estão descritas, desde a recepção da cana até a destilação, além de apresentar os diversos tipos de álcool e as análises físico químicas realizadas. Para o desenvolvimento do trabalho foi empregada a metodologia de pesquisa bibliográfica e de pesquisa de campo em uma usina sucroalcooleira.

Palavras-chave: Industrialização; Qualidade; Contaminações.

1. Introdução

Segundo o Conselho de Informações sobre Biotecnologia (2009) o álcool etílico, ou etanol, pode ser obtido através da destilação de açúcar, amido e celulose. No caso do álcool de cana-de-açúcar, o principal componente da fermentação é a sacarose contida no caldo. O álcool é uma mistura binária etanol-água, que pode ser destinada diretamente ao abastecimento de veículos ou, ainda, sofrer desidratação e originar o álcool anidro, que é utilizado como aditivo da gasolina.

Com o crescimento na fabricação de carros flex-fuel ocorreu também um grande aumento nos últimos anos da produção de álcool hidratado. Em 2003 o consumo era de 4,3 bilhões de litros e em 2009 esse consumo passou para 16,5 bilhões de litros.

Durante os processos de produção do álcool são gerados resíduos que quando não reutilizados podem causar impactos ambientais, entre esses resíduos estão: bagaço, torta de filtro, vinhaça, levedura seca e óleo fusel. Nesse aspecto destacam-se nesse trabalho medidas de reaproveitamento desses resíduos objetivando evitar esses impactos e ainda gerar lucros para própria usina além de evitar gastos.

¹ Graduando em Engenharia de Produção Agroindustrial (EPA) pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM).

² Graduanda em Engenharia de Produção Agroindustrial (EPA) pela Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão (FECILCAM).

³ Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal do Paraná, mestre em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá e doutora em Agronomia pela Universidade Federal do Paraná e INRA (França). Professora da Faculdade Estadual de Ciências e Letras de Campo Mourão.



Entre as áreas de conhecimento da Engenharia de Produção este trabalho enquadra-se na área de Engenharia da Sustentabilidade. A qual é definida como “Planejamento da utilização eficiente dos recursos naturais nos sistemas produtivos diversos, da destinação e tratamento dos resíduos efluentes destes sistemas, bem como da implantação de sistema de gestão ambiental e responsabilidade social.” (ABEPRO, 2010).

Quanto as sub-áreas de conhecimento relacionadas a Engenharia da Sustentabilidade, o presente trabalho apresenta seu foco, segundo (ABEPRO, 2010), voltado para sub-área de Produção mais Limpa e Ecoeficiência.

Este trabalho foi desenvolvido dentro da disciplina de Fatores de Produção Agropecuária (GROFF, 2010), no curso de Engenharia de Produção Agroindustrial da FECILCAM, durante o ano de 2010, tendo como objetivo fornecer as informações necessárias para o desenvolvimento de um processo industrial que vise a otimização da produção do açúcar de maneira a alcançar um produto de qualidade, mostrando a importância do reaproveitamento dos resíduos e subprodutos resultantes do sistema na obtenção da maximização dos lucros e diminuição dos custos de produção e impactos ambientais (MEZAROBÁ e MENEGUETTI., 2010).

O presente artigo apresenta-se dividido em quatro seções. Na primeira seção aborda-se brevemente o tema, seguindo na segunda seção sua teoria de base, sendo na terceira seção abordada a metodologia e na quarta as considerações finais.

2. Teoria de base

2.1 Processos de fabricação do álcool

2.1.1 Recepção

De acordo com PAYNE (1989) na recepção a cana é pesada, em seguida é retirada uma amostra para verificação do teor de açúcar.

2.1.2 Limpeza da cana

PAYNE (1989) também informa que as etapas essenciais na limpeza efetiva da cana colhida manualmente são:

- 1- Abertura do feixe: Esta ação é geralmente efetuada para facilitar a limpeza.
- 2- Remoção de pedras, seixos e areia: A limpeza da cana para retirada dessas impurezas é feita através de banho hidráulico.
- 3- Lavagem: Nesse processo a cana é lavada em uma esteira por um fluxo turbulento de água eliminando a terra pelas ranhuras da rampa;
- 4- Remoção de impurezas fibrosas: A redução de ponteiros, folhas e raízes é feita por meio de rolos eliminadores de impurezas.

A cana colhida mecanicamente segue diretamente para o picador.

2.1.3 Preparo para moagem ou difusão

Segundo CASTRO (2001), o objetivo desta etapa é aumentar a capacidade das moendas através da diminuição do tamanho da cana através dos picadores e rompimento da estrutura da cana através dos desfibradores, facilitando a extração do caldo e moagem.



2.1.4 Extração do caldo

Segundo ALCARDE (2007) a extração do caldo da cana consiste no processo físico de separação da fibra (bagaço), sendo feito, fundamentalmente, por meio de dois processos: moagem ou difusão. Na extração por moagem, a separação é feita por pressão mecânica dos rolos da moenda sobre o colchão de cana desfibrada e adição de água. Na difusão, a separação é feita pelo deslocamento da cana desintegrada por um fluxo contracorrente de água.

2.1.5 Tratamento do caldo

Segundo CASTRO (2001), ANDRADE e CASTRO (2006) para remover as impurezas grossas, o caldo é inicialmente peneirado, e em seguida tratado com agentes químicos, para coagular parte da matéria coloidal (ceras, graxas, proteínas, gomas, pectinas, corantes), precipitar certas impurezas (silicatos, sulfatos, ácidos orgânicos, Ca, Mg, K, Na) e modificar o pH.

Existem cinco métodos utilizados no processo de clarificação do caldo de cana. Eles são os seguintes:

1. Caleação ou calagem (uso de cal virgem (CaO)): Utilizada para limpar e clarificar o caldo.
2. Sulfitação (uso de anidrido sulfuroso (SO₂)): Auxilia na redução do pH, diminuição da viscosidade do caldo, formação de complexos com açúcares redutores, preservação do caldo contra alguns microrganismos e prevenção do amarelamento do açúcar.
3. Fosfatação (uso de ácido fosfórico (P₂O₅)): A fosfatação auxilia na remoção de materiais corantes e parte dos colóides do caldo;
4. Carbonatação (uso de anidrido carbônico (CO₂)): complementa a clarificação;
5. Uso de óxido de magnésio: Remove impurezas sem afetar o teor de sacarose.

Após essa fase de tratamento o caldo pode ser resfriado até aproximadamente 30°C e seguir diretamente para o preparo para fermentação, mas como o maior objetivo das usinas é a produção de açúcar, o método de produção escolhido para este trabalho é o do reaproveitamento do melaço extraído na centrifugação.

2.1.6 Evaporação do caldo

De acordo com ANDRADE e CASTRO (2006) a evaporação do caldo é feita para que a concentração do xarope fique entre 60 e 70° brix, sendo recomendado 65° brix (valor do teor de sólidos solúveis contidos no caldo). A quantidade de água removida na evaporação é cerca de 80% em peso do caldo ou aproximadamente 70 – 80% do peso da cana.

2.1.7 Cozimento

Segundo CASTRO (2001), o xarope resultante dos evaporadores passa então para os cozedores, vasos muito semelhantes aos evaporadores em simples efeito, ou seja, cada vaso recebe independentemente uma carga de vapor, através de um distribuidor de vapor, levando o xarope até a supersaturação tomando consistência de mel, começando a se formar os cristais de açúcar que após crescerem em tamanho e aumentarem o volume da massa cozida é descarregado nos cristalizadores, onde se completa a cristalização do açúcar.



2.1.8 Cristalização

Como informa CASTRO (2001) os cristalizadores são todos basicamente iguais, providos de um elemento que gira lentamente, uma espécie de parafuso que movimenta a massa faz com que o açúcar dissolvido no mel entre continuamente, em contato com os cristais, aumentando o volume enquanto também se processa o resfriamento. Dependendo da quantidade de massas, os cristalizadores também, são empregados em conjunto. Após a cristalização a massa cozida é centrifugada.

2.1.9 Centrifugação

Como informa PAYNE (1989), o objetivo da centrifugação consiste basicamente na separação do melaço que envolve os cristais de açúcar. Sob a força centrífuga o melaço sai através das perfurações e dirige-se à fermentação.

2.1.10 Preparo do mosto

Segundo LOPES (2009) o melaço separado pelo processo de centrifugação é diluído em água ou com caldo, para ficar em uma concentração de 18⁰ à 22⁰ brix, originando o mosto cujo pH deve ficar em 4,5 e 5. O brix ideal do mosto depende do tipo de levedura utilizada e do processo de condução da fermentação. Quando o mosto é diluído a fermentação é mais fácil, rápida e completa, porém necessita de mais vapor e água. A multiplicação do mosto é favorecida pela transferência de oxigênio. Quando se trabalha com um mosto muito concentrado, a fermentação é mais lenta e incompleta, ou seja, fica com açúcar residual alto, tendo dessa forma menor rendimento, além de exigir maior limpeza nos aparelhos.

De acordo com ALCARDE (2007) o mosto também pode ser aquecido para se eliminar alguns microorganismos contaminantes a uma temperatura de até 105°, depois desse aquecimento o caldo bruto tem suas impurezas removidas por decantação e posterior resfriamento até a temperatura de 30° C.

2.1.11 Fermentação

ALCARDE (2007) informa que o mosto já preparado é enviado para as dornas de fermentação, onde são adicionados microorganismos, geralmente levedos da família *Saccharomyces cerevisiae*, são esses microorganismos que irão transformar o mosto em gás carbônico e álcool. As leveduras desempenham melhor sua atividade à temperatura de 32 a 34° C.

LOPES (2009) informa que a fermentação alcoólica é composta por 3 fases: fermentação preliminar, fermentação principal e fermentação complementar.

-Fermentação Preliminar: Esta fase tem início, quando o fermento é adicionado e termina quando o desprendimento de gás carbônico CO₂ se torna evidente. Nesta fase, apesar do fermento estar consumindo sacarose do mosto, praticamente não há produção de álcool, por isso, essa fase deve ser realizada o mais rápida possível.

-Fermentação Principal: Esta fase inicia quando começa a ocorrer o desprendimento do gás carbônico CO₂. Este desprendimento vai aumentando progressivamente e rapidamente, causando turbulência, havendo assim um aumento de 20% do volume e da temperatura que deve ser controlada através de resfriamento. Nesta fase a formação de álcool é máxima e rápida, diminuindo o brix do mosto até o ponto da fermentação complementar.



-Fermentação Complementar: Esta fase tem início, quando ocorre a diminuição do desprendimento do gás carbônico e da temperatura do mosto. Nesta fase é feito o controle do brix, até que ele chegue a um ponto favorável para destilação, cerca de 3^o à 8^o brix.

Depois de completada a fermentação espera-se a decantação natural das células de levedura que são tratadas para serem reutilizadas em próximas fermentações. Esse processo também pode ser feito por centrifugação.

2.1.12 Destilação

De acordo com a COPERSUCAR, o vinho que vem da fermentação possui, em sua composição, 7° a 10°GL (% em volume) de álcool, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. Dentro dos líquidos, além do álcool, encontra-se a água com teores de 89% a 93%, glicerol, álcoois homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético entre outros, em quantidades bem menores. Já os sólidos são representados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não-fermentescíveis, sais minerais, matérias albuminóides entre outros, e os gasosos, principalmente pelo CO₂ e SO₂.

O álcool presente no vinho é recuperado por destilação. Nesse processo é utilizada as diferenças de ponto de ebulição das diversas substâncias voláteis presentes, separando-as. A operação é realizada com auxílio de sete colunas distribuídas em quatro troncos.

Na primeira parte do processo são utilizadas três colunas superpostas, onde o etanol é separado do vinho inicialmente com 7° a 10°GL. Este tronco de destilação elimina também as impurezas (ésteres e aldeídos). O vinho é alimentado no topo da primeira coluna e desce pelas bandejas sobre epuração, sendo a flegma retirada e enviada para outra coluna. Os voláteis, principalmente ésteres e aldeídos, são concentrados em outra coluna e também condensados através de condensadores, passando por outra coluna e saindo como álcool de segunda com graduação de aproximadamente 92°GL.

Uma coluna tem por finalidade esgotar a maior quantidade possível de álcool do seu produto de fundo, que é denominado vinhaça. A vinhaça, retirada em uma proporção aproximada de 13 litros para cada litro de álcool produzido.

Uma das colunas concentra a flegma a uma graduação de aproximadamente 96°GL e purifica-a retirando as impurezas que a acompanham, como álcoois 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 álcool 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 recuperado pelo vinho, uma fração do condensado é reciclada e outra retirada como álcool de 2^a. Do fundo da coluna B é retirada uma solução aquosa chamada flegmaça, que foi esgotada e que pode ser reciclada no processo ou eliminada. Os álcoois 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 álcool hidratado resultante desses processos é uma mistura binária álcool-água que atinge um teor da ordem de 96°GL, podendo ser comercializado desta forma ou passar por desidratação:



2.1.13 Armazenagem

Tanto o álcool hidratado, como o álcool anidro são resfriados na saída das colunas, e são enviados para o tanque de medição e posteriormente bombeados para os tanques de armazenamento, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões.

2.2 Tipos de Álcool

De acordo com LOPEZ (2009) existem cinco tipos de álcool:

-Álcool hidratado carburante: É o álcool a 92^o GL (92% de álcool + 8% de água) utilizado como combustível direto nos veículos com motores movidos à álcool.

-Álcool anidro: É o álcool a 99.6^o GL (99.6% de álcool + 0.4% de água) utilizado como aditivo aos combustíveis. Atualmente a gasolina brasileira possui 24% de álcool anidro.

-Álcool anidro especial: É o mesmo álcool do item anterior, porém isento de contaminantes (benzeno e ciclo-hexano), produzido através do processo de peneira molecular.

-Álcool refinado e neutro: É o álcool neutro de impurezas, com pouco odor. Por ser mais barato que o álcool extra neutro, é utilizado pelas indústrias de bebidas e cosméticos populares.

-Álcool extra neutro: É o mais puro álcool, não interfere em aromas ou sabores, é utilizado na elaboração de bebidas, cosméticos e produtos farmacêuticos.

2.3 Resíduos resultantes do sistema de produção do álcool

Segundo LOPEZ (2009) e ALCARDE (2007) os resíduos resultantes da produção do álcool são:

1-Bagaço de cana: É o resíduo fibroso resultante da moagem da cana-de-açúcar. Sua principal utilização é como combustível nas caldeiras para geração de energia elétrica e calor, mas também pode ser utilizado na fabricação de papeis e como ração animal se for hidrolisado. A quantidade de bagaço obtida varia de 240 kg a 280 kg por tonelada de cana processada.

2-Vinhaça: É o resíduo resultante da destilação do álcool, rica em água, matéria orgânica, nitrogênio, potássio e fósforo. É utilizada principalmente na lavoura para irrigação da cana, na chamada fertirrigação. Outras opções de utilização são a produção de proteínas, produção de gás metano e até na formulação de ração animal.

3-Óleo fusel: Resultante da destilação de álcool é constituído de álcoois superiores. É extraído em pequena quantidade e utilizado na indústria química e de cosméticos.

4-Levedura seca: Leite de levedura do processo de fermentação, que sofre um processo de desidratação, é um produto rico em proteína, destinado a ração animal.

5-Torta de filtro: Resíduo da filtração mecânica do lodo na fabricação do açúcar e também na do álcool direto, quando o caldo é submetido ao tratamento de clarificação. A torta de filtro é produzida na proporção de 20 a 40 quilos por tonelada de cana, apresentando, em média, 75% de umidade e é utilizada como fertilizante na lavoura ou na alimentação de animais por ser uma rica fonte de minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica, principalmente proteínas e lipídios.



2.4 Aspectos microbiológicos

Segundo ALCARDE (2007) durante os processos de produção do álcool podem ocorrer contaminações microbiológicas. Essas contaminações se devem da qualidade da matéria-prima, da pureza do fermento utilizado, do controle do pH e da temperatura da limpeza dos equipamentos, entre outras.

Como exemplo de contaminações biológicas tem-se o desenvolvimento de microrganismos como bactérias, que produzem fermentações indesejáveis, na maioria das vezes láctica, causando diminuição no rendimento da produção de álcool, além de produzir substâncias indesejáveis. Geralmente essas bactérias se devem a má qualidade da matéria-prima.

Algumas medidas para evitar a ocorrência de infecções são:

- usar matéria-prima de qualidade;
- tratar corretamente o caldo e preparo adequado do mosto;
- usar fermento de qualidade e na quantidade certa;
- realizar a condução controlada da fermentação;
- usar corretamente anti-sépticos e antibióticos.

2.5 Análise físico-química do álcool

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e B combustíveis (2010), devem ser feitas análises em amostras representativas do álcool etílico, respeitando as seguintes normas previstas pela ABNT:

- a) Determinação da massa específica e do teor alcoólico - Método do densímetro de vidro.
- b) Determinação do teor de resíduo por evaporação.
- c) Determinação da acidez total.
- d) Determinação da concentração de sódio - Método da fotometria de chama.
- e) Determinação da condutividade elétrica.
- f) Determinação do pH - Método potenciométrico.
- g) Determinação da concentração de cloreto e sulfato - Método da cromatografia de íons.
- h) Determinação da concentração de ferro e cobre - Método da espectrofotometria de absorção atômica.
- i) Determinação do teor de gasolina.
- j) Determinação do teor de água - Método volumétrico de Karl Fischer
- k) Determinação da massa específica e do teor alcoólico - Método da densimetria eletrônica.

E ainda para o etanol anidro combustível e do etanol hidratado combustível, destinados à utilização como referências nos ensaios de avaliação de consumo de combustível e emissões veiculares para homologação de veículos automotores existem os seguintes parâmetros previstos pelo EAR e pelo EHR.

- a) Cor: Incolor Visual
- b) Acidez total: O máximo em miligramas de ácido acético deve ser 30mg/L.
- c) Condutividade elétrica a 20°C: O máximo deve ser 500 μ S/m.



- d) Massa específica a 20°C: O máximo deve ser 791,5 kg/m³.
- e) Teor alcoólico: % mínima por volume de 99,6 ou por massa de 99,3.
- f) Potencial hidrogeniônico (pH) a 20°C: 6,0 a 8,0.
- g) Teor de aldeídos: No máximo 60mg/L, o teste é feito por Cromatografia Gasosa.
- h) Teor de alcoóis superiores: No máximo 500mg/L, o teste é feito por Cromatografia Gasosa.
- i) Teor de ésteres: No máximo 100mg/L, o teste é feito por Cromatografia Gasosa.
- j) Teor de etanol: A % mínima deve ficar entre 95,1 e 98.
- k) Teor de água: A % máxima deve ficar entre 0,4 e 4,9.
- l) Resíduo por evaporação: O máximo deve ser 5mg/100 mL.
- m) Teor de sulfato: O máximo deve ser 4mg/kg.
- n) Teor de sódio: O máximo deve ser 2mg/kg.

2.7 As vantagens da produção de álcool de cana-de-açúcar em relação ao álcool de milho

No Brasil o principal motivo de se produzir álcool de cana-de-açúcar em vez do álcool de milho é o fato da produção do álcool de cana ser três vezes maior por área do que o álcool do milho, aliado ao custo de produção que para o etanol de cana é de aproximadamente US\$ 0,28/L enquanto o de milho é de aproximadamente US\$ 0,45/L.

Aliado a essas vantagens existem os benefícios ambientais, pois quando se utiliza o etanol, como substituto de outros combustíveis fósseis, a redução de gases do efeito estufa na produção e combustão é de 66%. Já para o etanol de milho, esta redução é de apenas 12%, além do fato de que cada hectare de cana diminui em 12 toneladas o volume de CO₂ na atmosfera e que o bagaço da cana pode ser utilizado na geração de energia elétrica.

3. Metodologia

O método de abordagem utilizado para o desenvolvimento desse trabalho foi o qualitativo. As pesquisas feitas acerca dos fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar classificam-se, quanto aos meios, como bibliográfica e, quanto aos fins, como descritiva e investigativa.

Este trabalho foi realizado através da metodologia de pesquisa bibliográfica, coletando dados em livros, artigos, teses, dissertações e revistas especializadas na área de produção de açúcar extraído da cana-de-açúcar. Também foi utilizada a metodologia de pesquisa de campo na Usina Santa Terezinha na cidade de Iguatemi no Estado do Paraná, para se efetuar coleta de dados pertinentes ao assunto e posterior estudo de caso.

A pesquisa realizada acerca dos fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar foi realizada através de buscas em portais que possuem conteúdo aberto ao público, sendo eles o Portal de Periódicos Capes, Portal Scielo, Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), Anais do Simpósio de Engenharia de Produção (SIMPEP), e na biblioteca digital da USP, pelas palavras-chave: Produção do açúcar; Industrialização do açúcar; Tipos de açúcar, e; Análises do açúcar, verificados também como fabricação do álcool, buscas pela legislação do combustível para carros e suas especificações no portal da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Nas buscas por trabalhos não se estabeleceu um limite temporal.



4. Considerações Finais

Dentro das pesquisas feitas em campo e bibliograficamente percebemos que a qualidade do produto final está diretamente ligada à qualidade da matéria-prima e aos tratamentos utilizados na produção do álcool.

Como medida para se evitar impactos ambientais tem-se o reaproveitamento dos resíduos resultantes do sistema. Algumas medidas encontradas são a utilização do bagaço de cana dentro da própria usina na geração de energia, usar a vinhaça e a torta de filtro como adubo na plantação de cana-de-açúcar, evitando assim gastos de produção, além de vender a levedura seca para a indústria de rações e o óleo fusel para produção de cosméticos, aumentando assim os lucros da usina.

Toda usina que respeitar todas as fases de produção do álcool, de maneira que garanta uma boa qualidade do produto final, e ainda fazendo o reaproveitamento dos resíduos resultantes do sistema de produção, estará dessa forma aumentando seus lucros e ainda evitando impactos ambientais, e respeitando as leis vigentes.

Referências

- ALCARDE, A.R. Processamento da cana-de-açúcar. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. 2007, Brasília, DF. *Anais...*
- ANDRADE, S.A.C.; CASTRO. S.B. Engenharia e tecnologia açucareira. Departamento de Engenharia Química CTG – UFPE. 2006, Pernambuco. *Anais...*
- GROFF, A. M. *Fatores de Produção Agropecuária*: Apostila, transparências e notas de aulas. Campo Mourão: PP, Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, 2010.
- MEZARROBA, S.; MENEGUETTI, C.C. Fatores relacionados ao cultivo da cana-de-açúcar. Trabalho da Disciplina de Fatores de Produção Agropecuária (Graduação em Engenharia de Produção Agroindustrial) – Departamento de Engenharia de Produção, FECILCAM, Campo Mourão, 2010.
- CASTRO, H.F. *Indústria Açucareira*. 2001. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/>. Acesso em 3 de junho de 2010 às 14 hs 45.
- COPERSUCAR. Produção de álcool. Disponível em: <http://www.copersucar.com.br/institucional/por/academia/alcool.asp>. Acesso em 19 de agosto de 2010 as 13 hs 34.
- LOPES, A. A usina de açúcar e sua automação. 2009. Disponível em <http://www.scribd.com>. Acesso em 23 de agosto de 2010 as 17 hs54.
- MARQUES, D. Conselho de Informações sobre Biotecnologia, Guia da cana-de-açúcar. 2009.
- PAYNE, J.H. *Operações unitárias na produção de açúcar de cana*; tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 1989.