

**ESCOLA DE ECONOMIA DE SÃO PAULO – FGV-EESP  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIRÓZ” – ESALQ/USP  
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**

**FÁBIO HENRIQUE PASCHOAL BIANCHI PINTO**

**ETANOL CELULÓSICO: UM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICO-  
FINANCEIRA.**

SÃO PAULO

2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**FÁBIO HENRIQUE PASCHOAL BIANCHI PINTO**

**ETANOL CELULÓSICO: UM ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICO-  
FINANCEIRA.**

Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo-FGV-EESP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA e Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”-ESALQ/USP, com requisito para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia.

Campo de conhecimento: Agroenergia

Orientador: Prof. Dr. **RICARDO RATNER ROCHMAN**

SÃO PAULO

2010

Pinto, Fábio Henrique Paschoal Bianchi.

Etanol Celulósico: Um Estudo de Viabilidade Econômico-Financeira / Fábio Henrique Paschoal Bianchi Pinto – 2010

Orientador: Ricardo Ratner Rochman.

Dissertação (mestrado) – Escola de Economia de São Paulo-FGV-EESP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA e Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”-ESALQ/USP.

1. Bagaço e palha de cana-de-açúcar. 2. Hidrólise. 3. Etanol celulósico. 4. Etanol de segunda geração. 5. Viabilidade econômica. I. Rochman, Ricardo Ratner. II Dissertação (mestrado). Escola de Economia de São Paulo-FGV-EESP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária EMBRAPA e Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”-ESALQ/USP.

**FÁBIO HENRIQUE PASCHOAL BIANCHI PINTO**

**Etanol Celulósico: Um Estudo de Viabilidade Econômico Financeira.**

Dissertação apresentada à Escola de Economia de São Paulo-FGV/EESP, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA e Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”- ESALQ/USP, com requisito para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia.  
Campo de conhecimento: Agroenergia

Data de aprovação:

\_\_\_/\_\_\_/2010.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Ricardo Ratner Rochman

(Orientador)

FGV - EESP

---

Prof. Dr. Samy Dana

(Banca)

---

Prof. Dr. César Nazareno Caselani

(Banca)

São Paulo

2010

*Dedico à Camila, minha noiva,  
a meus pais, Eliene e Eleazar,  
a meus irmãos, Alessandro e Eduardo  
e a meus filhos, Fábio e Gabriel.*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades, forças e desafios que me fez superar até o momento e espero ainda tê-lo comigo nos dias vindouros.

Ao Professor Ricardo Ratner Rochman pela paciência, ensinamentos e orientação, tanto nas aulas do mestrado, quanto na elaboração desta dissertação.

Aos dirigentes do Grupo Virgolino de Oliveira, Dr. Hermelindo Ruete de Oliveira, José Luís Zanette e Carlos Otto Laure, pelas oportunidades de crescimento e confiança em mim depositadas durante minha trajetória no grupo, principalmente pelo incentivo, apoio e disponibilização de ideias e recursos para conclusão deste mestrado.

A meus pais, Eliene e Eleazar, pelos ensinamentos, conselhos e correções, pois tenho certeza de que sempre pensam no melhor para mim e meus irmãos, mas, principalmente, pelo incentivo e apoio em difíceis decisões da minha vida, sempre pautados em humildade e honestidade.

À minha noiva e futura esposa, Camila, por estar ao meu lado no decorrer desta etapa superada, sempre me incentivando muito, ajudando e orientando com seus conhecimentos de doutoranda. Espero tê-la comigo o resto de meus dias, pois a amo muito.

Aos meus filhos amados, Fábio e Gabriel, que são minha continuidade, ainda estão no começo de suas vidas e conseguirão superar todos os desafios que lhes forem impostos, com a ajuda de Deus e o meu apoio incondicional.

Aos meus irmãos que, apesar da distância de hoje, sempre participaram ativamente da minha vida.

Aos colegas de MPAgro pela amizade e conhecimento adquiridos e por suas virtudes e intelectualidade.

Ao Marcos Roberto do Santos, companheiro das longas e incansáveis viagens que fizemos ao longo dos 20 meses de aulas e ao Adílson Luís Giacomelli, que tendo participado por algum tempo, nunca deixou de me incentivar e ajudar.

Ao Tino (Alonso Constante Escobar) e João Paulo, por me ajudarem com seus conhecimentos.

Aos demais colegas e funcionários do Grupo Virgolino de Oliveira, por compartilharem comigo sua amizade e conhecimento.



## RESUMO

A rápida expansão da cultura da cana-de-açúcar, essencialmente ocorrida a partir de 2004, tanto no Estado de São Paulo, um dos mais tradicionais e mais bem localizado do país, em termos de logística e proximidade de grandes centros consumidores, bem como em outros não tão privilegiados, levantou diversas discussões sobre a sustentabilidade do setor e eventual avanço em terras que, direta e indiretamente, prejudicariam a produção de alimentos no país. Esse evento desencadeou uma rápida reorganização do setor, através de sua principal entidade representativa, a UNICA, e, fundamentalmente, iniciou um processo irreversível de profissionalização e consolidação de grandes grupos com o intuito de crescimento e fortalecimento para fazer frente aos desafios da “comoditização” integral de seus produtos: o açúcar e o etanol.

Nesse âmbito, após implementações de projetos como o “Protocolo Etanol Verde” e o “Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo”, e posteriormente o “Zoneamento Agro-Ecológico da Cana-de-Açúcar”, no Brasil, e divulgação da “RFS2 – Renewable Fuel Standard 2”, nos Estados Unidos, os quais podem ser considerados pontos fundamentais para a indicação de que o setor deveria evoluir, seja via sócio-ambiental, ou através da oportunidade de crescimento do mercado externo (EUA), sem esquecer a crescente frota de veículos *flex-fuel* no Brasil, e tenta evoluir a passos largos, evidentemente que com maior enfoque e investimento tecnológico nos Estados Unidos, no sentido de obter maior produtividade industrial, com a mesma quantidade de área de cana plantada, o que atenderia aos dois apelos: o de sustentabilidade e o de abertura de mercado.

O etanol de segunda geração é o assunto central, e de maior expectativa atualmente, para a esperada evolução de um dos setores de maior crescimento e participação na economia brasileira. As pesquisas de laboratório demonstram viabilidade produtiva do etanol de segunda geração, através da hidrólise do material celulósico, mas os grandes problemas estão relacionados à ausência de plantas com escala de produção comercial, elevado tempo de processamento (hidrólise enzimática) e deterioração de equipamentos envolvidos no processo (hidrólise ácida), além da necessidade de melhores estudos, para entendimento da substituição do bagaço pela palha da cana-de-açúcar, no processo de geração de energia elétrica nas unidades industriais.

Este trabalho demonstrou, considerando suas limitações e parâmetros, que a viabilidade econômica para o etanol de segunda geração está um pouco distante de ser atingida e depende do preço futuro do etanol. O rendimento adicional de 85% (oitenta e cinco por cento) de litros de etanol, por tonelada de cana processada, e o preço de R\$ 800 (oitocentos reais) o metro cúbico, são dados de entrada em tese factíveis de serem obtidos para geração de lucro líquido, mas não para o VPL. As incógnitas são a velocidade do desenvolvimento da planta de grande escala de produção e comportamento de preços diante das perspectivas analisadas.

Diante dos resultados obtidos e do exposto, há a clara possibilidade de autoafirmação do setor que, após décadas de insucessos, como o do Proálcool, e críticas às suas políticas de sustentabilidade (sócio-ambiental), vislumbra um cenário promissor para a perpetuação de sua hegemonia e vanguarda na produção de biocombustível (etanol), alimento (açúcar) e energia elétrica.

**Palavras-chave:** bagaço e palha da cana-de-açúcar, hidrólise, etanol celulósico, etanol de segunda geração, viabilidade econômica.

## ABSTRACT

The rapid expansion of cultivation of sugarcane, essentially held from 2004, in the State of São Paulo, one of the most traditional and well localized of country in terms of logistics and proximity of large consumer centres, as well as in other states not so privileged, raised several discussions about the sustainability of the sector and possible breakthrough in land which, directly or indirectly, would undermine food production in the country. This encouraged the rapid industry organization, through its principal representative, UNICA, which initiated an irreversible process of professionalization and consolidation of large groups with a view to strengthening growth and to meet the challenges of "commoditization" of their products: sugar and ethanol.

In this context, after project implementations as the "Green Ethanol Protocol" and "Agro-Environmental Zoning for the sugar-alcohol sector of the State of São Paulo" and subsequently "Agro-Ecological Zoning of cane" in Brazil, and dissemination of RFS2 "– Renewable Fuel Standard 2", in the United States, which may be considered key milestones to indicate that the industry must involve, either by socio-environmental, whether through external market growth opportunity (USA), and also without forgetting the growing fleet of vehicles flex-fuel in Brazil, it tries to develop at wide steps, evident that with greater focus and investment in the United States, in order to obtain greater industrial productivity, with the same amount of sugar cane planted area, which would accomplish the two calls: the sustainability and the opening of the market.

The second-generation ethanol is the central subject, and with greater expectation today, to the expected evolution of one of the fastest growing sectors and participation in the Brazilian economy. The laboratory researches demonstrate productive viability for this second-generation ethanol through cellulosic material hydrolysis, but the major problems are related to the absence of plants with commercial production scale, high processing time (enzymatic hydrolysis) and deterioration of equipment involved in the process (hydrolysis), and also the need for better studies to understand the replacement of bagasse to sugar cane trash in the process of electricity generation in the mills.

This work showed, besides its limitations and due to the considered parameters, that the economic feasibility of second generation is a little bit far to be achieved and it's dependent of the future prices of ethanol. The additional 85% (eight five percent) yield of ethanol liters per ton of sugarcane and price of R\$ 800 (eight hundred reais) per cubic meters are input data, feasible to be obtained, in thesis, the net income but not the NPV. The incognits are the velocity for large scale production plant development and the prices behavior in face of the analyzed perspectives.

In front of the achieved results and discussion exposed, there are clearly possibilities for self-affirmation of the sector, which after decades of unsuccessful initiatives such as the Proálcool, and critics to their sustainability policies (social and environmental), can have a promising scenario for the perpetuation of its hegemony and avant-garde in the production of biofuel (ethanol), food (sugar) and electric power.

**Keywords: bagasse and straw sugar cane, hydrolysis, cellulosic ethanol, ethanol of second generation, economic feasibility.**

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iii
<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>SUMÁRIO</b> .....	vi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1 Objetivo</b> .....	1
<b>1.2 Justificativa</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
<b>2.1 Aspectos Mercadológicos</b> .....	3
<b>2.1.1. Crescimento Econômico Brasileiro e Demanda de Energia Elétrica</b> .....	5
<b>2.1.2. Aspectos Ambientais – Legislações Mandatórias</b> .....	8
<b>2.1.2.1. Protocolo Etanol Verde e Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar</b> .....	8
<b>2.1.2.2. RFS2 (Renewable Fuel Standard 2) – EPA (Environmental Protection Agency)</b> .....	9
<b>2.2. Etanol de Primeira Geração - Processo de Produção a partir da Extração do Caldo da Cana-de-Açúcar</b> .....	11
<b>2.2.1. Etapas da Produção de Etanol Convencional (1ª Geração)</b> .....	13

2.2.1.1. Preparo do Inóculo.....	13
2.2.1.2. Preparo do Mosto.....	13
2.2.1.3. Fermentação Alcoólica.....	14
2.2.1.4. Destilação.....	19
2.2.1.4.1. Vinhaça.....	21
2.3. Etanol de Segunda Geração - Processo de Produção a partir do Material Celulósico (Bagaço e Palha da Cana-de-Açúcar).....	23
2.3.1. Biomassa Lignocelulósica.....	25
2.3.2. Etapas do Processo de Produção de Etanol Celulósico.....	27
2.3.2.1. Pré-Tratamento.....	27
2.3.2.2. Hidrólise do Bagaço de Cana-de-Açúcar.....	30
2.3.2.3. Rendimentos e Projetos em Execução.....	34
2.4. Análise de Retorno de Investimentos.....	37
2.4.1. Valor Presente Líquido (VPL).....	37
2.4.2. Fluxos de Caixa e Suas Fontes.....	38
2.4.3. Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Índice de Rentabilidade (IR).....	38
2.4.3.1. Taxa Mínima de Atratividade (TMA).....	38
2.4.3.2. Taxa Interna de Retorno (TIR) (ou Fluxo de Caixa Descontado - FCD).....	39
2.4.3.3. Índice de Rentabilidade (IR).....	40
2.5. Análise de Sensibilidade.....	40

<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1. Premissas do Estudo.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.1. Orçamentação da Planta Industrial para Produção de Etanol..</b>	<b>42</b>
<b>3.1.1.1. Planta industrial para Produção de Etanol de 1ª</b>	<b>43</b>
<b>Geração.....</b>	
<b>3.1.1.2. Planta Industrial para Produção do Etanol de 2ª</b>	<b>44</b>
<b>Geração (Celulósico).....</b>	
<b>3.1.2. Preços do Etanol Hidratado.....</b>	<b>45</b>
<b>3.1.3 Custos de Produção e Outras Premissas para Elaboração dos</b>	<b>46</b>
<b>Fluxos de Caixa.....</b>	
<b>3.1.3.1 Custos Diretos e Indiretos de Produção.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1.3.2. Depreciação.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.4. Demonstração Resumida das Premissas Operacionais</b>	<b>48</b>
<b>Utilizadas no Estudo.....</b>	
<b>3.1.5. Origem do Capital do Empreendimento.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.6. Taxa Mínima de Atratividade – TMA.....</b>	<b>48</b>
<b>4.1. Etanol de 1ª Geração.....</b>	<b>49</b>
<b>4.2. Etanol de 2ª Geração (Celulósico).....</b>	<b>51</b>
<b>5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS.....</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Perfil da Frota por Combustível – Veículos Leves Ciclo Otto (BRASIL, 2010).....	3
<b>Figura 2.2.</b> Evolução da Frota (unidades) e das Vendas (%) de Veículos Leves Flexíveis (INFOPETRO, 2010).....	4
<b>Figura 2.3.</b> Projeção da Demanda Total de Etanol (BRASIL, 2010).....	5
<b>Figura 2.4.</b> Oferta Integrada de Energia (BRASIL, 2010).....	7
<b>Figura 2.5.</b> Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar – Usinas Sucroalcooleiras (BRASIL, 2009, p. 25).....	9
<b>Figura 2.6.</b> Demanda por Combustível Renovável – EUA (RFS2) (SUGARCANE BLOG, 2010).....	10
<b>Figura 2.7.</b> Percentual de Recuperação de CO <sub>2</sub> na Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar (EPA - (RFS2) Regulatory Impact Analysis, 2010, p.427).....	11
<b>Figura 2.8.</b> Esquema Geral da Produção de Açúcar e Álcool a Partir da Cana-de-Açúcar (COPERSUCAR, 1999).....	12
<b>Figura 2.9.</b> Foto das Dornas de Fermentação da V.O.- Unidade Catanduva.....	15
<b>Figura 2.10.</b> Foto do Trocador de Calor de Uma das Dornas da V.O.- Unidade Catanduva.....	16
<b>Figura 2.11.</b> Foto de Uma Torre de Resfriamento da V.O.- Unidade Catanduva.	16
<b>Figura 2.12.</b> Foto da Torre de Lavagem de Dióxido de Carbono da V.O. – Unidade Catanduva.....	18
<b>Figura 2.13.</b> Foto do Tratamento do Fermento em Uma das Cubas da V.O. – Unidade Catanduva.....	19

<b>Figura 2.14.</b> Configuração ABB1 Para a Produção de Álcool Hidratado (MEIRELLES, 2006).....	20
<b>Figura 2.15.</b> Foto de Uma Coluna de Destilação da V.O. - Unidade Catanduva..	21
<b>Figura 2.16.</b> Foto dos Resfriadores de Vinhaça da V.O. - Unidade Catanduva...	22
<b>Figura 2.17.</b> Parede Celular da Planta (LORA, CORAL e ROCHA, 2008).....	26
<b>Figura 2.18.</b> Processo Generalizado da Produção de Etanol Celulósico (HAMELINCK, HOOIJDONK e FAAIJ, 2005).....	27
<b>Figura 2.19.</b> Pré-tratamento Com Ácido Diluído da Lignocelulose (US, 2010)..	29
<b>Figura 2.20.</b> Diagrama de Fluxo de Um Processo de Hidrólise Ácida Diluída (SIVERS e ZACCHI, 1996).....	31
<b>Figura 2.21.</b> Diagrama de Fluxo de Um Processo de Hidrólise Enzimática (HAHN-HÄGERDAL et al., 2006).....	31
<b>Figura 2.22.</b> Porcentagem de Digestibilidade da Celulose em Função de mL de Produto Por g de Celulose Para o Bagaço da Cana-de-Açúcar e Forragem de Milho Pré-Tratados com Ácido após Lavagem, usando Acellerase™ com 7% de Carga de Celulase, 50 °C, pH 5,0 e Por 3 Dias (RAMIREZ, 2010).....	33
<b>Figura 3.1.</b> Preços do Etanol Hidratado ao Produtor Entre Jan-03 a Dez-09 (UNICA, 2010).....	45
<b>Figura 3.2.</b> Preços do Etanol Hidratado e Açúcar Bruto ao Produtor Entre Jan-03 e Dez-09 (UNICA, IPEADATA).....	46

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1.</b> Perspectiva de Crescimento para o Hemisfério Oeste.....	6
<b>Tabela 2.2.</b> Expansão da Oferta de Energia Elétrica no Período 2005-2030 (em MW).....	7
<b>Tabela 2.3.</b> Oferta Mandatória de Biocombustíveis no Mercado Norte-Americano, em 2022 ( <i>RFS2</i> ).....	11
<b>Tabela 2.4.</b> Vantagens dos Sistemas de Fermentação Contínuos e Descontínuos (AMORIM, 2005).....	17
<b>Tabela 2.5.</b> Composição Química de Diferentes Fontes de Materiais Lignocelulósicos (%).....	26
<b>Tabela 2.6.</b> Rendimentos da Produção de Etanol Lignocelulósico Por Hidrólise Enzimática a Partir de Diferentes Matérias-Primas.....	35
<b>Tabela 2.7.</b> Lista Atualizada das Plantas de Etanol de 2ª Geração em Operação/Construção no Mundo.....	35
<b>Tabela 3.1.</b> Premissas de Produção.....	42
<b>Tabela 3.2.</b> Orçamento Para Implantação de Unidade Produtora de Etanol de 1ª Geração.....	43
<b>Tabela 3.3.</b> Orçamento Para Implantação de Unidade Combinada, Produtora de Etanol de 2ª Geração, Anexa a Unidade Produtora de Etanol de 1ª Geração.....	44
<b>Tabela 3.4.</b> Cálculo do Custo da Matéria-Prima – Metodologia Consecana (etanol de 1ª geração).....	47
<b>Tabela 3.5.</b> Premissas Gerais do Estudo, Para Elaboração das Demonstrações e Análises Financeiras.....	48
<b>Tabela 4.1.</b> Demonstração de Resultados do Etanol de 1ª Geração (R\$/mil).....	49



<b>Tabela 4.2.</b> Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido à Variação de Preços (R\$/m <sup>3</sup> ) Brutos do Etanol.....	50
<b>Tabela 4.3.</b> Fluxos de caixa e índices VPL e TIR do etanol de 1 <sup>a</sup> geração.....	50
<b>Tabela 4.4.</b> Demonstração de Resultados do Etanol de 2 <sup>a</sup> Geração (R\$/mil).....	51
<b>Tabela 4.5.</b> Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido às Variações do Rendimento Adicional do Etanol de 2 <sup>a</sup> Geração (% da base de 88 Litros/Ton.Cana Moída) Obtido com a Mesma Quantidade de Cana Moída.....	52
<b>Tabela 4.6.</b> Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido às Variações do Preço do Etanol Hidratado (Bruto – R\$/m <sup>3</sup> ).....	53
<b>Tabela 4.7.</b> Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido às Variações de: a) Preço do Etanol Hidratado (Bruto – R\$/m <sup>3</sup> ); e, b) do Rendimento Adicional do Etanol de 2 <sup>a</sup> Geração (% da Base de 88 Litros/Ton.Cana Moída) Obtido com a Mesma Quantidade de Cana Moída.....	53
<b>Tabela 4.8.</b> Fluxos de Caixa e Índices VPL e TIR da Planta Combinada.....	54
<b>Tabela 4.9.</b> Análise de Sensibilidade do VPL à Variação do Preço do Etanol Hidratado (bruto – R\$/m <sup>3</sup> ).....	55

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1 Objetivo**

Este estudo tem como objetivo evidenciar os níveis de preços que tornam viável a produção de etanol de segunda geração, através da hidrólise do material celulósico – o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, em associação com a tecnologia de produção do etanol convencional, que já é feito via extração do caldo de cana-de-açúcar e fermentação.

### **1.2 Justificativa**

Os valores exigidos para implantação de plantas de hidrólise, de elevados investimentos e custos de produção da fase delineadora do grande ganho de produtividade industrial, a quebra da lignina, através do pré-tratamento, e consequente sacarificação da biomassa contida no bagaço da cana-de-açúcar, comparativamente à existente, ainda inviabiliza quaisquer prospecções de produção em escala mercadológica.

O setor sucroenergético, assim como outros setores mundiais de commodities, passa por momentos de instabilidade e necessidade de auto-afirmação, após a crise financeira deflagrada ao final do ano de 2.008.

A consolidação da sua condição de setor de vanguarda mundial de produção de açúcar e etanol depende, principalmente, da agilidade de investir no desenvolvimento de novas tecnologias de produção de um de seus principais produtos: o etanol.

Temos uma produtividade de 7 mil litros de etanol de cana-de-açúcar por hectare, enquanto os Estados Unidos produzem 4,1 mil litros de etanol de milho por hectare (GOLDEMBERG, 2009) e, uma das linhas atualmente seguidas é a do desenvolvimento da tecnologia de produção de etanol de segunda geração, o que, segundo estudos realizados,

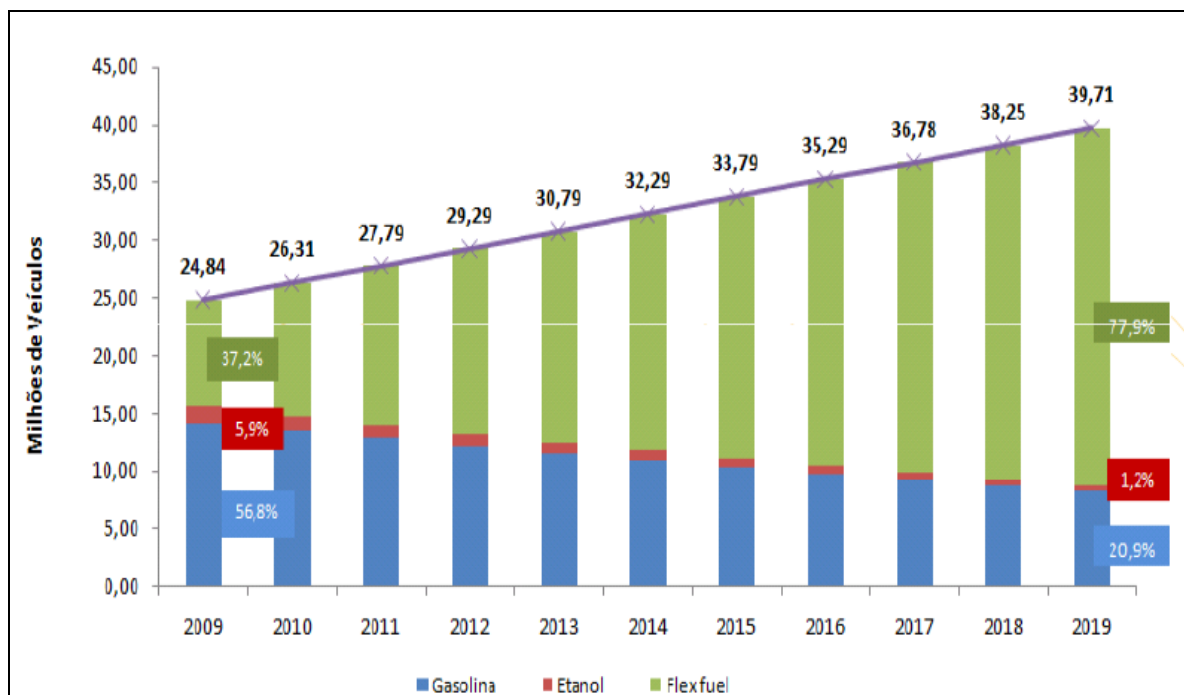
viabilizaria um aumento estimado da disponibilidade de produto final em torno de 85% (oitenta e cinco por cento) maior, comparativamente do que a existente (OLIVÉRIO, 2007).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos Mercadológicos

#### Carros Flex Fuel

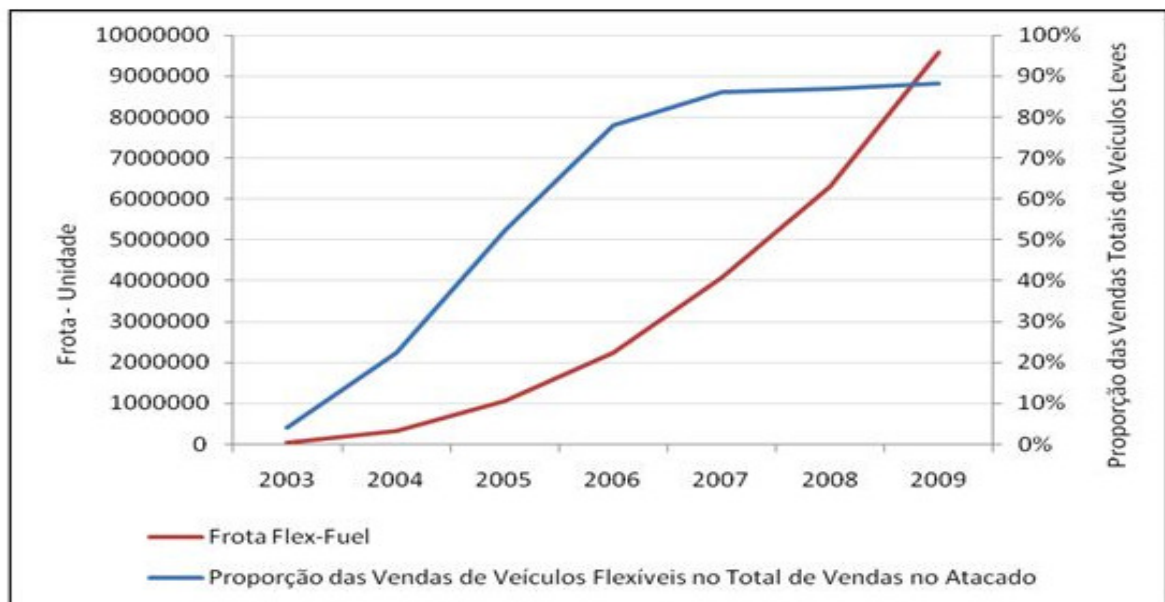
O mercado de veículos *flex fuel* é uma realidade em franco crescimento. Dados estatísticos demonstram que a frota brasileira de veículos leves ao final de 2.009 estava em torno de 24,84 milhões de unidades (Figura 2.1), dos quais 43,10% são veículos potencialmente movidos a etanol. Esse percentual, segundo projeção da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), em seu PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia), deve chegar a 79,10% de uma frota de veículos de aproximadamente 40 milhões de unidades, em 2.019, ou seja, 32 milhões de veículos rodando com o etanol.



**Figura 2.1.** Perfil da Frota por Combustível – Veículos Leves Ciclo Otto (BRASIL, 2010).

A evolução da participação desses veículos na composição da frota brasileira pode ser observada na Figura 2.2, a seguir, onde está demonstrada a relação percentual de veículos *flex fuel* vendidos, em relação ao total dos veículos leves comercializados, ao longo dos últimos 6

anos após seu lançamento no mercado brasileiro, ocorrido em 2.003. De acordo com levantamento da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), através de informação do seu presidente, Cledorvino Belini, o resultado dos primeiros cinco meses do ano, posicionaram o Brasil em quarto lugar no ranking de vendas global ultrapassando a Alemanha, em grande parte devido à retração econômica que ocorreu no país. O levantamento aponta que do total de automóveis de passeio comercializados até maio, aproximadamente 1.080.856 são bicombustíveis, 105.014 utilizam gasolina e 62.131 são movidos a diesel (MURTA, MÁRCIO, 2010). Isto nos leva a um percentual de vendas de veículos *flex fuel* de 86,6% do total comercializado, até 31 de maio de 2.010 (a *range* percentual se mantém entre 85 e 90%, de veículos leves vendidos, desde o ano de 2.007).

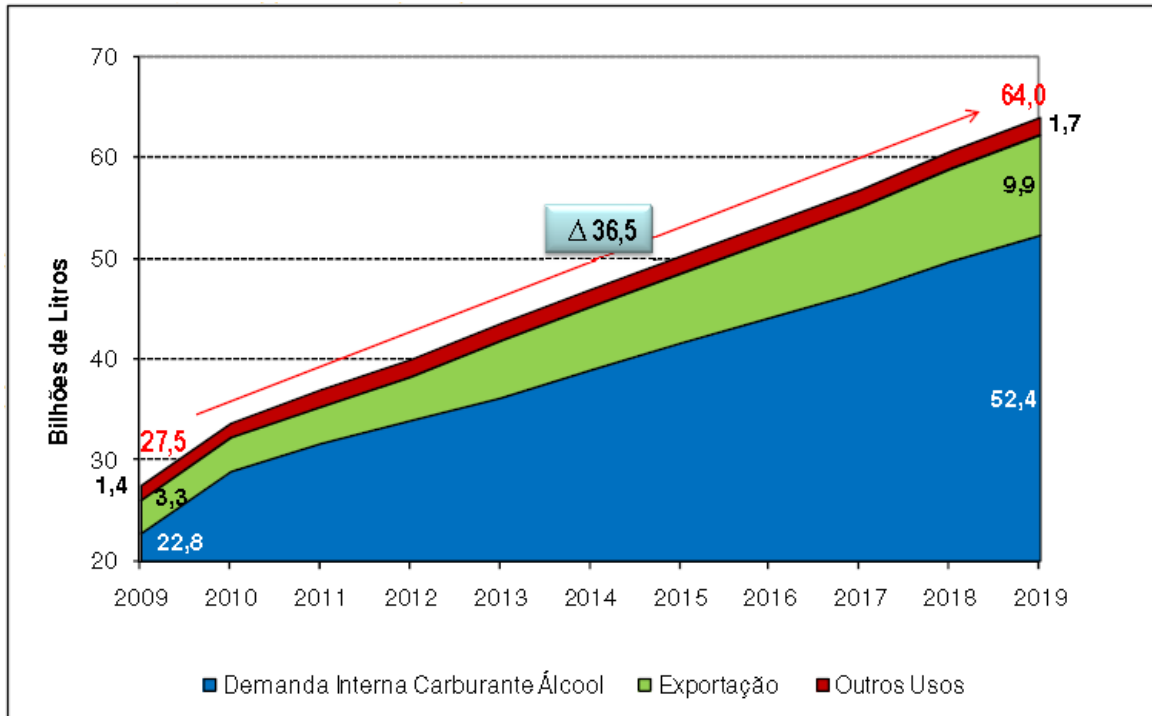


**Figura 2.2.** Evolução da Frota (unidades) e das Vendas (%) de Veículos Leves Flexíveis (INFOPETRO, 2010).

Portanto, dada a perspectiva de crescimento da economia brasileira e sucateamento “vegetativo” da frota, esta participação relativa nas vendas, deve ao menos se estabilizar, o que ocasionará um aumento pela demanda de etanol para os próximos anos (Figura 2.3), de acordo com a EPE.

Além dos pontos evidenciados, podemos considerar de suma importância, para o mercado interno, a meta de redução de emissão de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) assumida pelo governo brasileiro. Meta esta, que é de 36,1% até 2.020, de acordo com a PNMC (Política Nacional sobre Mudança Climática), instituída pela Lei 12187 de 29 de dezembro de 2.009.

Estima-se que 1/4 (um quarto) da meta somente poderá ser alcançada pelo uso do etanol, em detrimento a combustíveis fósseis.



**Figura 2.3.** Projeção da Demanda Total de Etanol (BRASIL, 2010).

### 2.1.1. Crescimento Econômico Brasileiro e Demanda de Energia Elétrica

A economia brasileira tem excelente perspectiva de crescimento, segundo publicação do FMI (Fundo Monetário Internacional), que acredita num aumento de 5,5 e 4,1% (Tabela 2.1) do nosso PIB (Produto Interno Bruto), para os anos de 2010 e 2011, respectivamente. Em números mais recentes, o BC (Banco Central do Brasil) revisou sua expectativa para 7,3% (a anterior era de 5,8%) para o ano de 2010 (RODRIGUES E AZELMA, 2010). Esse crescimento, qualquer que seja ele, entre as previsões do FMI e BC, tende a criar, de curto a longo prazo, uma maior demanda por energia elétrica, o que fatalmente gerará mais um fator preponderante na análise econômica de investimento e direcionamento de esforços de produção das empresas do setor sucroalcooleiro: optar por açúcar, etanol ou co-geração de energia elétrica, pois a composição da cana-de-açúcar proporciona uma gama variada de destinação de produtos e subprodutos, dada sua variedade e quantidade.

**Tabela 2.1.** Perspectiva de Crescimento para o Hemisfério Oeste

	Real GDP (%)			
	2008	2009	Projections	
			2010	2011
<b>Western Hemisphere</b>	<b>4.3</b>	<b>-1.8</b>	<b>4.0</b>	<b>4.0</b>
<b>South America and Mexico</b>	<b>4.3</b>	<b>-1.9</b>	<b>4.1</b>	<b>4.0</b>
Brazil	5.1	-.02	5.5	4.1
Mexico	1.5	-6.5	4.2	4;5
Argentina	6.8	0.9	3.5	3;0
Colombia	2.4	0.1	2.2	4.0
Venezuela	4.8	-3.3	-2.6	0.4
Peru	9.8	0.	6.3	6.0
Chile	3.7	-1.5	4.7	6.0
Ecuador	7.2	0.4	2.5	2.3
Bolivia	6.1	3.3	4.0	4.0
Uruguay	8.5	2.9	5.7	5.7
Paraguay	5.8	-4.5	5.3	5.3
<b>Central America</b>	<b>4.3</b>	<b>-0.6</b>	<b>2.7</b>	<b>3.7</b>
<b>Caribbean</b>	<b>2.9</b>	<b>0.4</b>	<b>1.5</b>	<b>4.3</b>

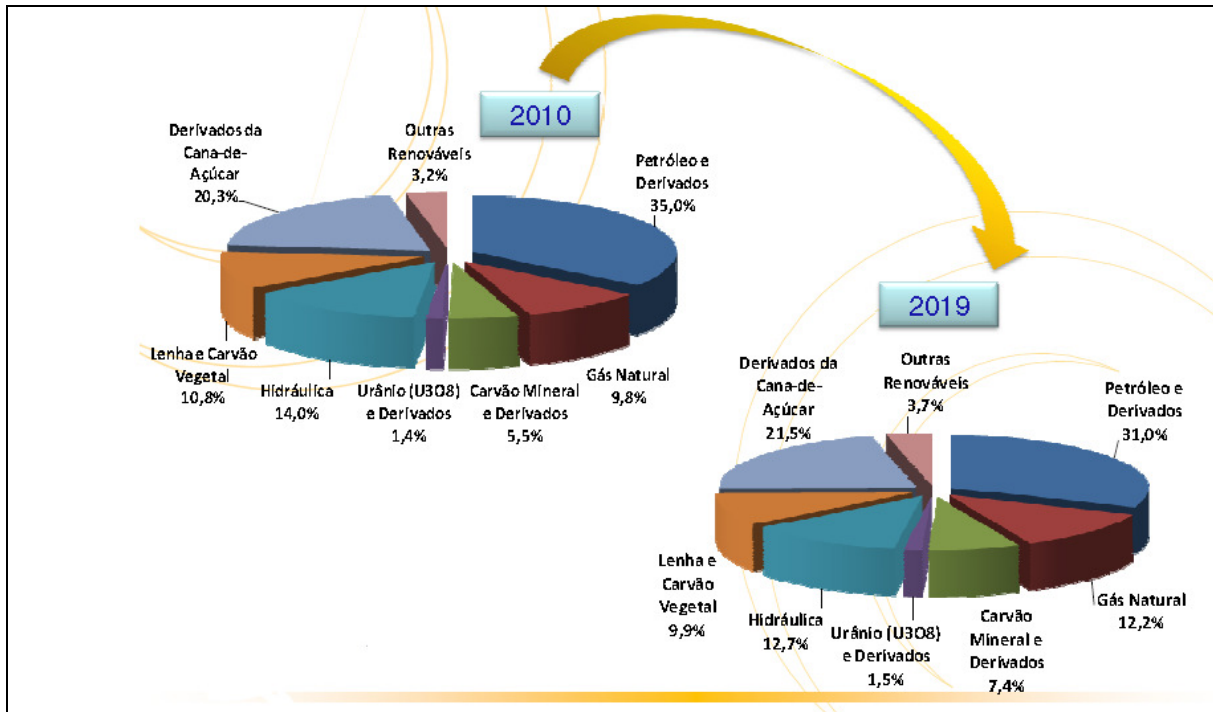
Fonte: IMF, 2010, p.61.

A co-geração de energia elétrica, com origem no bagaço de cana-de-açúcar, teve relevante crescimento nos últimos anos e como demonstrado na Tabela 2.2, de acordo com publicação do Ministério de Minas e Energia (Matriz Energética Nacional 2030, 2007), tem uma perspectiva de aumento significativo na sua participação na matriz energética brasileira, na qual, o setor sucroalcooleiro já participa com relevância (em torno de 20%, conforme demonstra a Figura 2.4). Essa possibilidade se dá através da melhoria de eficiência das caldeiras, que é a medida da sua capacidade de transferir para o vapor o calor gerado pela combustão do material (LOPES e BORGES, 2009) – o bagaço de cana, necessitando, portanto, de uma menor quantidade deste material, para gerar a energia requisitada pela demanda de energia dos processos de uma unidade industrial, ocasionando uma disponibilidade maior de bagaço para co-geração de energia elétrica.

**Tabela 2.2.** Expansão da Oferta de Energia Elétrica no Período 2005-2030 (em MW)

Fonte	Capacidade instalada em		Acréscimo	
	2020	2030	2005-2030	2015-2030
<b>Hidrelétricas</b>	<b>116.100</b>	<b>156.300</b>	<b>88.200</b>	<b>57.300</b>
Grande porte	116.100	156.300	88.200	57.300
<b>Térmicas</b>	<b>24.372</b>	<b>37.372</b>	<b>23.145</b>	<b>15.500</b>
Gás natural	14.035	21.035	12.300	8.000
Nuclear	4.347	7.347	5.345	4.000
Carvão	3.015	6.015	4.600	3.500
Outras	2.975	2.975	900	0
<b>Alternativas</b>	<b>8.022</b>	<b>20.122</b>	<b>19.459</b>	<b>15.350</b>
PCH	2.769	7.769	7.191	6.000
Centrais eólicas	2.282	4.682	4.653	3.300
Biomassa de cana	2.771	6.371	6.315	4.750
Resíduos urbanos	200	1.300	1.300	1.300
<b>Importação</b>	<b>8.400</b>	<b>8.400</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>156.894</b>	<b>222.194</b>	<b>130.804</b>	<b>88.150</b>

Fonte: BRASIL, 2007, p. 162.

**Figura 2.4.** Oferta Integrada de Energia (BRASIL, 2010).



## **2.1.2. Aspectos Ambientais – Legislações Mandatórias**

### **2.1.2.1. Protocolo Etanol Verde e Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar**

Estabelecido em 2007 pelo Governo do Estado de São Paulo, o Protocolo Etanol Verde foi criado com o intuito principal de antecipar o fim da queima da palha da cana-de-açúcar, de 2021, para 2014 – em alguns casos, de acordo com a declividade encontrada na área (acima de 12%), onde o prazo estava previsto para 2031, antecipar para 2017. Houve grande adesão do setor que, além de aceitar o principal desafio, também se comprometeu a contribuir com a proteção de reservas e matas ciliares, nascentes de rios e adotar diversas outras práticas que estão beneficiando a manutenção da cultura de forma sustentável.

Em 2008, dando continuidade a seu programa de sustentabilidade, iniciado com o Protocolo Etanol Verde, o Governo do Estado de São Paulo promulgou o “Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo”, que estabeleceu parâmetros para o cultivo de cana-de-açúcar, identificando áreas aptas para a perenização da cultura, sem prejudicar o meio-ambiente no seu entorno, disciplinando de forma mais rigorosa e específica, um dos setores mais rentáveis da economia nacional. Em tese, todos os aspectos edafoclimáticos foram levados em conta para obtenção do melhor resultado do zoneamento. Em 2009, o governo brasileiro publicou o que foi chamado de “Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar” baseado nos mesmos princípios do zoneamento do Estado de São Paulo, mas, ajudando, principalmente, a desmistificar a ideia que corre o mundo de que no Brasil, a cana estaria ocupando o espaço da Floresta Amazônica (Figura 2.5).

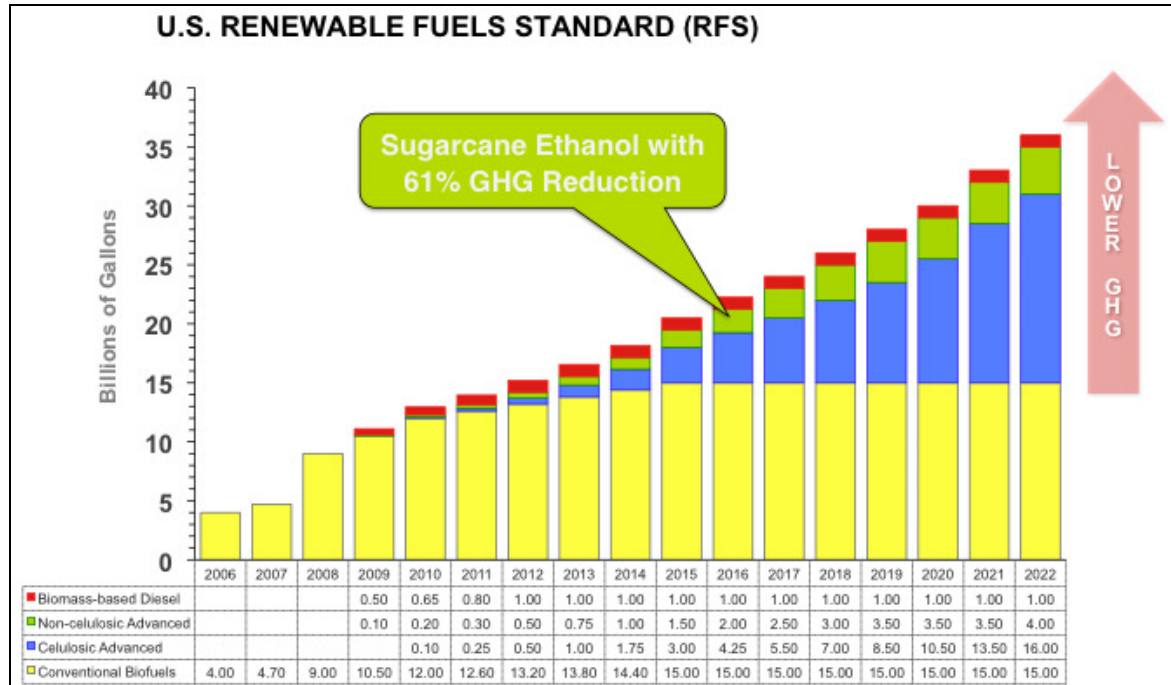


**Figura 2.5.** Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar – Usinas Sucroalcooleiras (BRASIL, 2009, p. 25).

#### 2.1.2.2. *RFS2 (Renewable Fuel Standard 2) – EPA (Environmental Protection Agency)*

A legislação americana, com os objetivos múltiplos de segurança em energia e redução dos gases do efeito estufa, regulamenta, desde 2007, o consumo de biocombustíveis nos EUA, conforme um cronograma que exige adequação das fontes, à vista dos objetivos estabelecidos. O *RFS2* estabelece, em seu cronograma, 12 bilhões de galões em 2010 (45,42 bilhões de litros) e, gradativamente, incremento anual até a marca de 36 bilhões de galões em 2022 (136,2 bilhões de litros) (Figura 2.6). Complementa-se com uma escala de exigência mínima de redução de GEE (Gases de Efeito Estufa), de maneira que o etanol de cana-de-açúcar passa a ter uma faixa de mercado não ocupável pelo etanol de milho. Na faixa que pode ser cumprida com o consumo de etanol de milho, o de cana-de-açúcar poderia também fazê-lo, mas esbarra, tanto no subsídio direto de produção, como em tarifa de comércio

exterior, sustentadas por lobistas dos produtores de etanol de milho nos Estados Unidos, requerentes de medidas multilateral ou bilaterais de ajuste.

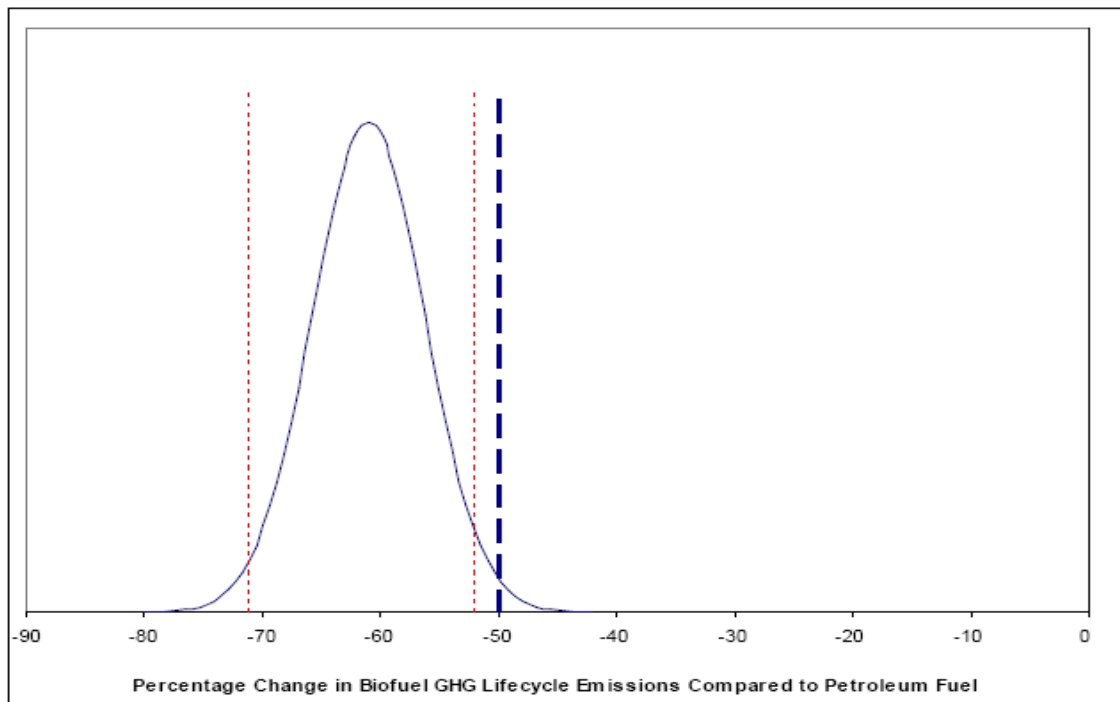


**Figura 2.6.** Demanda por Combustível Renovável – EUA (*RFS2*) ( Sugarcane Blog, 2010).

Na sua atualização a *RFS2*, em fevereiro de 2010, na norma *EPA – 420-R-10-006*, a agência ambiental fixou a eficiência, em relação à redução dos gases do efeito estufa, do etanol de milho e do etanol de cana-de-açúcar.

Tais resultados qualitativos se assentam na norma geral e em especial na seção “1.2.2.3 – *Other Advanced Biofuel*”, que exige, no cumprimento da quantidade projetada, uma redução no ciclo total de produção do etanol superior a 50% em relação à base de emissão dos gases do efeito estufa, seja o gás natural ou a gasolina derivada de petróleo. Portanto, tecnicamente foi criado um teto ao uso do etanol de milho, redução de 21%, não existente para o de cana-de-açúcar, redução de 61% (Figura 2.7).

Diante das perspectivas expostas, a classificação do etanol de cana-de-açúcar como biocombustível avançado, potencializa um mercado de 15 bilhões de litros (Tabela 3), em 2022 ou 50% de toda a produção da safra 2010/2011 no Brasil, que é estimada em 30 bilhões de litros, no mercado norte-americano.



**Figura 2.7.** Percentual de Recuperação de CO<sub>2</sub> na Produção de Etanol de Cana-de-Açúcar  
(EPA - (RFS2) Regulatory Impact Analysis, 2010, p.427).

**Tabela 2.3.** Oferta Mandatória de Biocombustíveis no Mercado Norte-Americano, em 2022  
(RFS2)

Origem do Biocombustível	Galões (Bi)	M <sup>3</sup> (Mi)	Proporção
Convencional (Milho)	15	57	42%
Avançado (Cana-de-Açúcar)	4	15	11%
Celulósico	16	61	44%
Diesel de Biomassa	1	4	3%
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>136</b>	<b>100%</b>

Fonte: UNICAMP, 2009.

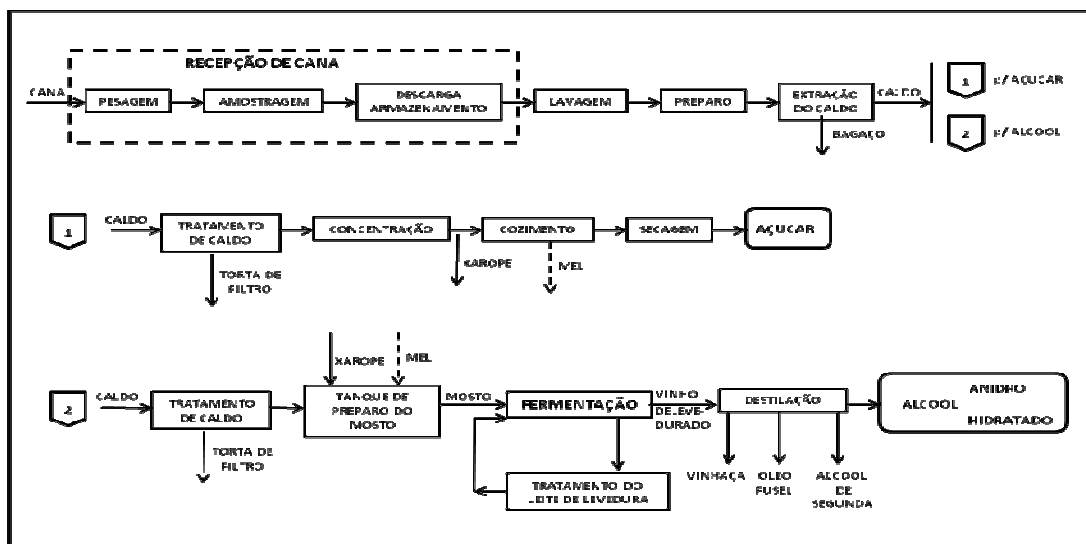
## 2.2. Etanol de Primeira Geração - Processo de Produção a partir da Extração do Caldo da Cana-de-Açúcar

O etanol pode ser produzido por via química ou fermentativa. A primeira é aplicada esporadicamente no Brasil e efetuada a partir de hidrocarbonetos não-saturados (eteno e etino), de gases do petróleo e de hulha. Já a via fermentativa a partir da cana-de-açúcar é a mais importante no Brasil, para a obtenção do etanol (AMORIM, 2005).

Para se produzir o etanol a partir da cana-de-açúcar é essencial um trabalho conjunto entre a lavoura e a indústria, de forma bem planejada nas etapas de corte, escolha de variedades adequadas, com maiores teores de açúcares e o processamento quase imediato para evitar deterioração e perdas de açúcar (COPERSUCAR, 1999).

A cana para ser processada deve possuir a maturação ideal, que é atingida num período de 14 a 18 meses após o seu plantio. Composição média da cana: 8 a 14% de fibra, 65 a 75% de água, 12 a 23% sólidos solúveis e 11 a 18% de açúcares, sendo que a sacarose corresponde de 70 a 91% de seus sólidos solúveis e a glicose e a frutose de 2 a 4% (COPERSUCAR, 1999).

Na figura 2.8 está representado um esquema geral da produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar.



**Figura 2.8.** Esquema Geral da Produção de Açúcar e Álcool a Partir da Cana-de-Açúcar (COPERSUCAR, 1999).

O açúcar é produzido e armazenado pela própria planta, cabendo à indústria realizar sua extração e purificação e, no caso do álcool, sua transformação (COPERSUCAR, 1999).

## **2.2.1. Etapas da Produção de Etanol Convencional (1ª Geração)**

### **2.2.1.1. Preparo do Inóculo**

Devido à importância biotecnológica da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, na produção de alimentos e bebidas alcoólicas em todo o mundo e na produção de combustíveis renováveis no Brasil, este microorganismo tornou-se o mais estudado e, portanto, seu metabolismo é o mais conhecido, sendo o microorganismo mais amplamente utilizado no processo de fermentação alcoólica. (SHULLER e KARGIL, 2002).

No preparo do inóculo utiliza-se uma etapa laboratorial e outra industrial. Na primeira etapa, parte-se de um tubo de ensaio contendo a levedura a ser utilizada, executando-se a seguir uma introdução do substrato com diferentes volumes e diferentes concentrações (° Brix). Quando se atinge um volume suficiente, ele é transferido para as dornas, onde se inicia a etapa industrial (AMORIM, 2005).

As destilarias do Brasil utilizam o processo de fermentação Melle-Boinot, onde as células de leveduras são recuperadas através de uma total recirculação das mesmas e, com isso, a preparação do inóculo em laboratório é feita apenas no início, sendo, o fermento reaproveitado ao longo de toda a safra. Com a recuperação das células de leveduras, a formação de novas células pela manutenção da alta concentração celular é mínima e, com isso, consegue-se um aumento do rendimento alcoólico da fermentação através de um consumo menor de açúcar, empregado na formação de componentes celulares da levedura (AMORIM, 2005).

### **2.2.1.2. Preparo do Mosto**

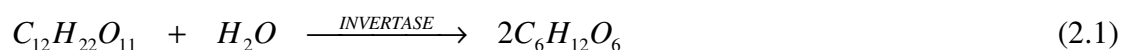
O mosto é uma solução de açúcares ajustada de forma a facilitar a sua fermentação, pois os açúcares, quando em concentrações elevadas, exercem efeito de inibição sobre o metabolismo da levedura. Ele é basicamente constituído por méis e caldo, com uma concentração de sólidos de 17 a 22° Brix (AMORIM, 2005).

Antes de ser enviado para as dornas, o mosto, passa por trocadores de calor onde é feito o resfriamento. A assepsia destes trocadores de calor é de extrema importância, pois as impurezas ficam retidas em suas placas gerando focos de contaminação. A remoção de incrustações e placas formadas pelas bactérias é possível através da limpeza com flegmaça (cuja temperatura pode chegar a 95° C). Normalmente trabalha-se com dois trocadores de calor para mosto, sendo, portanto, possível fazer a assepsia sem a necessidade de interrupção (AMORIM, 2005).

### 2.2.1.3. Fermentação Alcoólica

A fermentação alcoólica é um processo que resulta da transformação de açúcares solúveis em etanol e dióxido de carbono, realizado, principalmente, pelas leveduras. O processo fermentativo pode ser representado segundo as seguintes etapas:

- Hidrólise da molécula de sacarose pela ação da enzima invertase, gerando uma molécula de glicose e uma de frutose (DARÉ, 2008):



- A partir das moléculas de 6 carbonos (glicose e frutose) obtidas, a levedura inicia seu metabolismo de acordo com as condições do meio, produzindo etanol e dióxido de carbono em condições de anaerobiose obtendo-se energia na forma de ATP para sobreviver e multiplicar-se (DARÉ, 2008):



A invertase e a zimase são enzimas produzidas pelas leveduras.

O rendimento teórico em etanol a partir da glicose é 0,51 g de etanol / g de glicose.

O processo de fermentação alcoólica inicia-se assim que se mistura o inóculo ao mosto corrigido e se caracteriza pelo desprendimento do dióxido de carbono, passando a ocorrer a

multiplicação das células do fermento e a produção de etanol. A medida que o açúcar se transforma em etanol, o Brix diminui (AMORIM, 2005).

A seguir inicia-se a fase tumultuosa, onde ocorre o rápido aumento da temperatura, a densidade do mosto se reduz e se eleva a porcentagem de álcool e a acidez. Ao final dessa etapa, o teor de álcool no vinho atinge quase o máximo. Devido à grande quantidade de calor liberado, é importante que se efetue o resfriamento do vinho através de trocadores de calor, por onde o vinho é bombeado continuamente com água em contra-corrente. Trocadores de calor são equipamentos dispendiosos e de manutenção caríssima. Além disso, é preciso ter um sistema de tratamento de água e uma torre de resfriamento, o que implica gastos adicionais e o uso de fungicidas (AMORIM, 2005).

A fase complementar caracteriza-se pela diminuição da intensidade do desprendimento de dióxido de carbono, pela paralisação da movimentação do líquido e diminuição da temperatura. Nessa fase, a concentração de açúcares chega ao fim (AMORIM, 2005).

Nas Figuras 2.9, 2.10 e 2.11 estão ilustrados, respectivamente, as dornas de fermentação, trocador de calor e torre de resfriamento da V.O.- Unidade Catanduva.



**Figura 2.9.** Foto das Dornas de Fermentação da V.O.- Unidade Catanduva.





**Figura 2.10.** Foto do Trocador de Calor de Uma das Dornas da V.O.- Unidade Catanduva.



**Figura 2.11.** Foto de Uma Torre de Resfriamento da V.O.- Unidade Catanduva.

Na maioria das destilarias, a fermentação ocorre em batelada (sistema descontínuo), isto é, enche-se o tanque de fermentação com o inóculo e o mosto, fermenta-se, centrifuga-se, destila-se e se inicia um novo processo. Já a fermentação contínua é feita alimentando-se uma dorna com fluxo contínuo de substrato, em uma concentração conveniente, retirando-se dela, continuamente, o vinho que é centrifugado e encaminhado para a destilação (AMORIM, 2005).

Na Tabela 2.4 encontram-se as vantagens dos sistemas de fermentação contínuos e em batelada (AMORIM, 2005).

**Tabela 2.4.** Vantagens dos Sistemas de Fermentação Contínuos e Descontínuos (AMORIM, 2005).

<b>Sistema Descontínuo</b>	<b>Sistema Contínuo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor mensuração do rendimento da fermentação;</li> <li>- Causa menos choque no fermento;</li> <li>- Obtenção de maior teor alcoólico no final da fermentação;</li> <li>- Sistema mais flexível, caso ocorram acidentes durante o processo;</li> <li>- Possibilita melhor assepsia das dornas e maior controle das vazões.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menor custo de instalação;</li> <li>- Automatização mais fácil e mais barata;</li> <li>- Menores custos em refrigeração (exige menos trocadores de calor);</li> <li>- Menor volume das dornas, quando o projeto não prevê a instalação de uma dorna a mais, para a utilização em caso de acidente, ou para melhor assepsia.</li> </ul>

Fonte: AMORIM, 2005.

Atualmente, as dornas são fechadas para que o etanol que sai juntamente com o dióxido de carbono possa ser recuperado em torres de lavagem dos gases (Figura 2.12) (COPERSUCAR, 1999).



**Figura 2.12.** Foto da Torre de Lavagem de Dióxido de Carbono da V.O. – Unidade Catanduva.

Após a fermentação é feita uma centrifugação obtendo-se duas fases: uma suspensão concentrada, contendo a massa celular e a fase do sobrenadante, composta de vinho, resíduos mais leves e bactérias. A centrifugação separa apenas as bactérias de menor tamanho, sendo, os bastonetes, de maior tamanho, concentrados no processo de centrifugação. A fase sobrenadante é enviada para a dorna volante, uma espécie de depósito intermediário de vinho onde fica guardado para ser destilado. A suspensão concentrada de células, denominada de creme ou leite-de-levedura é enviada para as cubas de tratamento (Figura 2.13), que são providas de um sistema de agitação, onde sofre adição de água e ácido sulfúrico concentrado até o meio atingir um pH de 2,3 a 3,2 (AMORIM, 2005). Essa suspensão deve permanecer sob essas condições durante aproximadamente 2 horas para que parte das bactérias remanescentes do processo seja eliminada ou reduzida a níveis não prejudiciais à fermentação posterior. O leite-de-levedura tratado retorna às dornas, servindo de inóculo para o próximo ciclo fermentativo (CAMARGO, 1990).



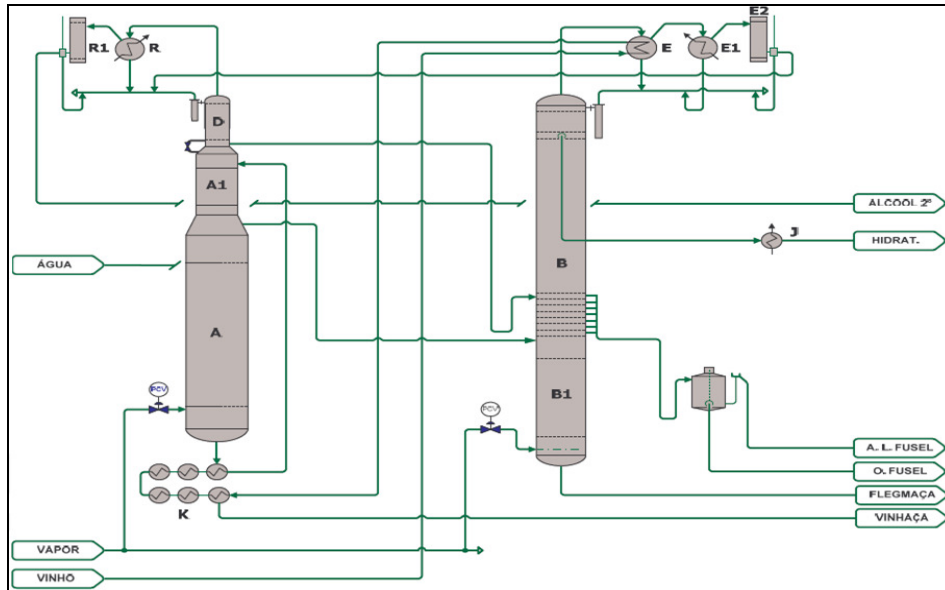
**Figura 2.13.** Foto do Tratamento do Fermento em Uma das Cubas da V.O. – Unidade Catanduva.

#### **2.2.1.4. Destilação**

A destilação alcoólica tem como principal objetivo concentrar o vinho até teores alcoólicos elevados, partindo-se de uma mistura hidro-alcoólica contendo de 6 a 10% em volume de etanol. O produto final deverá ter de 92,6 a 93,8% em peso (° INPM) de álcool, no caso do hidratado carburante, ou teor maior que 99,3% em peso (° INPM), no caso do anidro carburante (MEIRELLES, 2006).

A Figura 2.14 apresenta uma das configurações freqüentes do esquema de destilação para a produção de álcool hidratado (MEIRELLES, 2006).

A coluna A opera como seção de esgotamento do vinho, a coluna B como seção de enriquecimento e retificação do flegma e a coluna B1 esgota a corrente líquida que deixa o fundo da seção de enriquecimento B. Em uma configuração alternativa mais simples, a coluna B1 não é incluída e a corrente líquida que deixa a coluna B retorna à coluna A para ser esgotada (MEIRELLES, 2006).



**Figura 2.14.** Configuração ABB1 para a Produção de Álcool Hidratado (MEIRELLES, 2006).

A coluna A1 é denominada coluna de epuração do vinho e tem como função purificar o vinho de substâncias de maior volatilidade e dos gases contaminantes, além de complementar o seu aquecimento. O vinho é alimentado no topo da coluna A1 e a flegma é retirada do topo da coluna A (fundo da coluna A1) e então dirigida à base da coluna B. A coluna D é utilizada para a obtenção de álcool de segunda, no qual se concentram os produtos de cabeça, mais voláteis, extraídos para a fase vapor na coluna A1. Os vapores do topo da coluna D são condensados no trocador de calor R e no condensador auxiliar R1, sendo divididos posteriormente em uma corrente de álcool de segunda e um refluxo é realimentado ao topo da coluna (MEIRELLES, 2006).

O vinho alimentado ao processo é pré-aquecido no condensador E, com os vapores que saem do topo da coluna B, e seu aquecimento é completado nos trocadores de calor K, recuperando parte do calor da vinhaça e atingindo temperaturas próximas a 90° C, na qual é então alimentado ao topo da coluna A1. Quase todo o vapor produzido no topo da coluna B é condensado e retorna à coluna, enquanto a extração do álcool hidratado é realizada como retirada de líquido em bandeja pouco abaixo do topo e então resfriado no trocador de calor J. Este procedimento de retirada do álcool hidratado da coluna B permite obter um produto de melhor qualidade. Isto ocorre porque no topo desta coluna B também se retira uma pequena corrente de álcool de segunda, na qual se concentram produtos mais voláteis, conhecidos como produtos de cabeça, reduzindo assim sua concentração no hidratado. Este álcool de



segunda é enviado ao tanque de armazenamento deste tipo de produto, ou, alternativamente, realimentado ao topo da coluna D (MEIRELLES, 2006).

A Figura 2.15 mostra uma foto de uma coluna de destilação da V.O. - Unidade Catanduva.



**Figura 2.15.** Foto de Uma Coluna de Destilação da V.O. - Unidade Catanduva.

O etanol hidratado é uma mistura binária álcool-água que atinge um teor alcoólico da ordem de 96 % em volume. Isto ocorre devido à formação de uma mistura azeotrópica, fenômeno físico no qual os componentes não são separados pelo processo de destilação (COPERSUCAR, 1999).

Este álcool hidratado pode ser comercializado desta forma ou sofrer um processo de desidratação. Esta desidratação pode ser feita em colunas de desidratação utilizando o ciclohexano ou monoetileno glicol ou ainda, pode-se utilizar peneiras moleculares, onde a desidratação ocorre pela adsorção da água nos poros das zeólitas.

### 2.2.1.4.1. Vinhaça

A vinhaça é retirada a uma proporção de aproximadamente de 11 litros para cada litro de etanol produzido. Ela 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 (NASCIMENTO, [200-]).

Após trocar calor com o vinho, a vinhaça passa por resfriadores como mostrado na Figura 2.16. A vinhaça é alimentada pelo topo dos resfriadores e é resfriada pelo ar que passa em contra-corrente.



**Figura 2.16.** Foto dos Resfriadores de Vinhaça da V.O. - Unidade Catanduva.

Como pode ser visto através da Figura 2.16, na base dos resfriadores têm-se grandes ventiladores que geram a corrente de ar.

Sua composição é muito variável em função de diversos fatores. Um deles diz respeito à sua origem. Quando se utiliza o caldo de cana para a fermentação, a vinhaça resultante é sempre menos concentrada que a vinhaça proveniente de mosto de melaço ou de mosto misto. Além disto, a concentração da vinhaça varia de usina para usina, e dentro de cada usina, existem variações nos diversos dias da safra e até mesmo num mesmo dia, em função da moagem de diferentes variedades, com diferentes índices de maturação, provenientes de diferentes solos, de diferentes níveis de fertilidade, etc (LUDOVICE, 1997).

Na vinhaça encontra-se a matéria orgânica do processo que é indesejável quanto a sua disposição em áreas abertas, pois causa odores, e, também, esse efluente apresenta pH ácido na faixa de 5 a 5,5. A legislação ambiental pertinente às esferas federal, estadual e municipal, proíbe o descarte deste efluente diretamente nos cursos dos rios, lagos, oceanos, e até mesmo, em solos e ar aleatoriamente, sem os devidos cuidados quanto ao previsto nas leis. Para o descarte ideal é necessário o tratamento físico-químico e a normalização do produto, para ocorrer a perfeita adequação a capacidade de absorção de solos, evitando, assim, a contaminação de cursos de águas e mananciais subterrâneos (RAMOS e CECHINEL, 2009).

### **2.3. Etanol de Segunda Geração - Processo de Produção a partir do Material Celulósico (Bagaço e Palha da Cana-de-Açúcar)**

A autossuficiência energética é tida como pré-requisito fundamental para a segurança de uma nação. Por exemplo, a crise do petróleo deflagrada na década de 70 acarretou em prejuízos marcantes à economia global devido à vaidade e onipotência dos dirigentes de nações produtoras de petróleo localizadas no Oriente Médio. Desde então, diversas nações situadas em todos os continentes do globo deram início a programas de pesquisa e desenvolvimento com o objetivo de se tornarem autossuficientes em termos energéticos. No Brasil, o programa nacional do álcool (Proálcool), instituído em 1975, fomentou o uso do etanol, produzido a partir do caldo da cana-de-açúcar, como combustível veicular. O desenvolvimento tecnológico gerado dentro deste programa alçou o país a uma posição de destaque no cenário mundial (CANILHA et. al, 2010).

Pode-se dizer que a queda do preço do petróleo na década de 80 desestimulou fortemente o desenvolvimento de processos industriais baseados na utilização de matérias-primas renováveis para a produção de bens de consumo. Assim, embora sejam notórios os avanços conseguidos pelo Brasil na produção de etanol a partir do caldo de cana-de-açúcar (etanol de primeira geração), pouco se investiu no desenvolvimento de tecnologias para a produção de etanol também a partir do bagaço de cana-de-açúcar (etanol de segunda geração). Se as usinas utilizassem não somente o caldo, mas também o bagaço da cana como fonte de carboidratos, seria possível aumentar a demanda por uma maior área de plantio da cana. Neste cenário, a queima da palha, atualmente deixada no campo, poderia suprir, pelo menos em parte, as necessidades energéticas das usinas de processamento (CANILHA et. al, 2010).



Nos últimos anos, tem-se observado um aumento gradual no preço do petróleo, determinado pela redução de oferta prevista para médio e longo prazo. Além disso, o aquecimento global do planeta, determinado pelo acúmulo de gases do efeito estufa na atmosfera, é uma realidade que impulsiona o desenvolvimento de processos industriais à base de matérias-primas renováveis. Seguindo a tendência mundial, a indústria sucroalcooleira brasileira tem manifestado interesse em tecnologias sustentáveis que possam ser agregadas à sua cadeia produtiva. Por exemplo, enquanto o caldo da cana é utilizado na produção de açúcar e álcool, a coogeração já permite que a queima do bagaço seja aproveitada também para a produção de “bio” eletricidade. Esforços estão atualmente sendo direcionados para incluir também a palha (deixada no campo) no ciclo de produção. Tal façanha permitirá que o bagaço seja utilizado para a produção de etanol (de segunda geração) e de outros insumos renováveis através de rotas baseadas na alcoolquímica e na sucroquímica. Benefícios econômicos, sociais e ambientais são esperados como consequência (CANILHA et. al, 2010).

As matérias-primas de biomassa lignocelulósica para biocombustíveis podem ser provenientes tanto de recursos florestais como agrícolas. Recursos florestais incluem resíduos como as cascas de árvores, pedaços usados e descartados e resíduos de madeira usada na construção civil, principalmente os que existem no lixo urbano. Fontes agrícolas são constituídas, principalmente, de resíduos de colheitas, que são, na maior parte, folhas e talos advindos de espécies cultivadas para alimento e fibras, tais como cana-de-açúcar, soja, milho e trigo. Além disso, mais recentemente, muitos pesquisadores têm proposto gramíneas e árvores de crescimento rápido, para serem considerados especificamente para bioenergia (RAMIREZ, 2010).

O gargalo-chave para o uso da biomassa lignocelulósica como matéria-prima para obter biocombustíveis é a falta de tecnologia para a conversão eficiente dessa biomassa em combustíveis líquidos. O fator limitante é que simplesmente não há ainda tecnologias de processamento de baixo custo para converter de forma eficiente uma fração significativa da energia contida na biomassa lignocelulósica em combustíveis líquidos (RAMIREZ, 2010).

Um dos principais problemas que limitam o aproveitamento dos açúcares contidos no bagaço de cana para a produção de etanol diz respeito aos elevados custos envolvidos no condicionamento da matéria-prima. Os açúcares do bagaço, assim como aqueles de qualquer outro material lignocelulósico, encontram-se na forma de polímeros (celulose e hemicelulose) associados entre si e cobertos por uma macromolécula aromática complexa (lignina), formando a microfibrila celulósica. Esta, por sua vez, constitui a parede celular (fibra)

vegetal, uma estrutura recalcitrante difícil de ser desestruturada e convertida em monossacarídeos fermentescíveis (CANILHA et. al, 2010).

Para a transformação de lignocelulose em bioetanol, muitas etapas são necessárias: colheita da biomassa lignocelulósica, um estágio de pré-tratamento, um estágio de hidrólise para obter açúcares a partir de celulose e hemicelulose presente na biomassa, conversão de açúcares em bioetanol por fermentação e eliminação da água do biocombustível, a fim de se atingir as especificações técnicas requeridas (RAMIREZ, 2010).

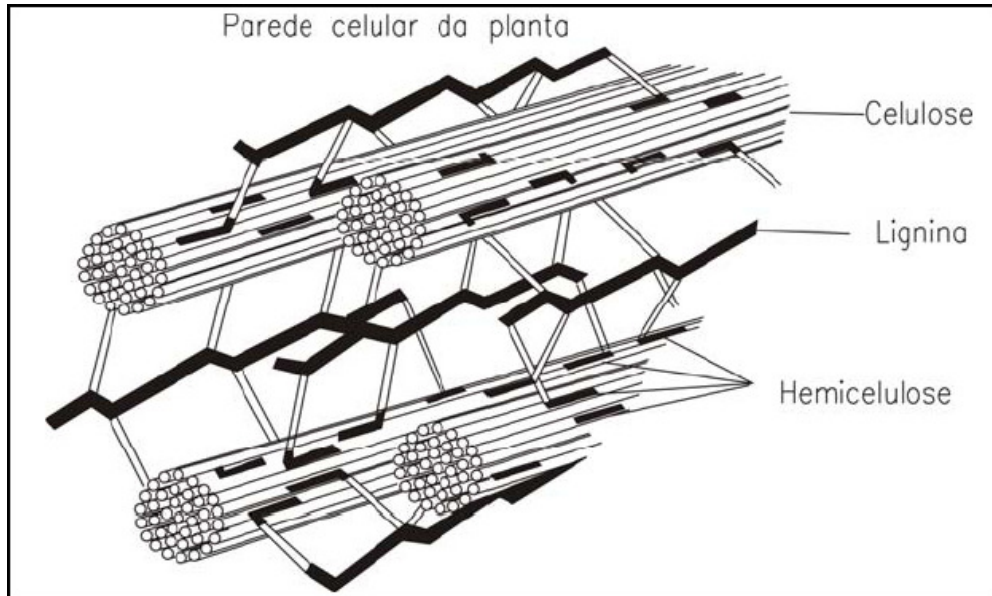
### **2.3.1. Biomassa Lignocelulósica**

Os materiais lignocelulósicos representam a fração mais expressiva da biomassa vegetal, a maior fonte de compostos orgânicos da biosfera. São constituídos por três frações principais que juntas, perfazem mais de 90% da massa seca total. São elas: celulose, hemicelulose e lignina (Figura 2.17) (PANDEY et. al, 2000).

A molécula de celulose é um polímero linear de celobiose (dímero de glicose), as orientações dos enlaces de hidrogênio adicional fazem com que o polímero seja rígido e difícil de ser fragmentado. O produto, glicose, é um açúcar C6 ou hexose (HAMELINCK, HOOIJDONK e FAAIJ, 2005).

A hemicelulose consta de pequenas cadeias ramificadas de vários açúcares, principalmente, xilose (C5), arabinose (C5), galactose, glicose e manose (todas C6). A hemicelulose é relativamente fácil de hidrolisar devido a sua natureza amorfa e ramificada (HAMELINCK, HOOIJDONK e FAAIJ, 2005). A hemicelulose age como uma cola entre os feixes de celulose (RAMIREZ, 2010).

A lignina está presente em toda a biomassa lignocelulósica, portanto, qualquer processo de produção de bioetanol irá gerar lignina como resíduo. A lignina é um polímero muito complexo de fenilpropano e grupos metoxílicos, uma substância polifenólica sem carboidratos que cobre as paredes celulares. A lignina é degradável só por alguns microorganismos, visando a produção de produtos de alto valor agregado, tais como: ácidos orgânicos, fenóis e vanilina. Mediante processos de via química podem ser produzidos aditivos valiosos para combustíveis (HAMELINCK, HOOIJDONK e FAAIJ, 2005). A lignina protege a biomassa de agressões externas (ataques físicos e químicos) (SIMÕES, 2007).



**Figura 2.17.** Parede Celular da Planta (LORA, CORAL e ROCHA, 2008).

Do ponto de vista tecnológico, os açúcares contidos nas frações celulósica e hemicelulósica representam os substratos que podem ser utilizados para a produção de etanol via fermentativa. Entretanto, a íntima associação entre as três frações principais (celulose, hemicelulose e lignina) é tal que impõe dificuldades para a recuperação dos açúcares constituintes na forma de monômeros com elevado grau de pureza (SUN e CHENG, 2002).

Na Tabela 2.5, são mostradas algumas das principais fontes de lignocelulose e a sua composição química em termos de celulose, hemicelulose e lignina (RAMIREZ, 2010).

**Tabela 2.5.** Composição Química de Diferentes Fontes de Materiais Lignocelulósicos (%).

Fonte	Celulose	Hemicelulose	Lignina
Palha de cevada	40-44	28-30	20-22
Madeira	44-50	20-26	17-30
Bagaço	50	20	30
Fornagem de milho	36	23	17
Palha de trigo	33	25	23
Palha de arroz	34	25	23

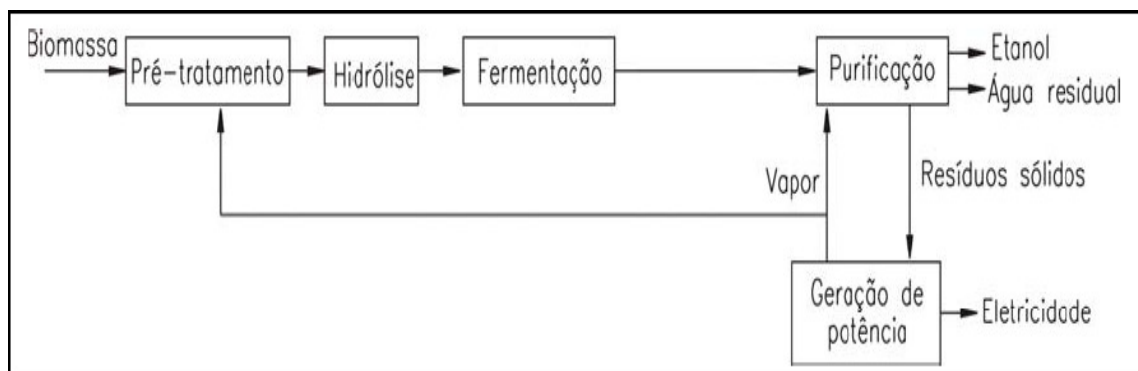
Fonte: RAMIREZ, 2010.

Pode ser verificado que o potencial de produção de açúcar na maioria dessas fontes varia de 60 a 70% que corresponde a 600 ou 700 Kg de açúcar por tonelada de material lignocelulósico seco (RAMIREZ, 2010).

### 2.3.2. Etapas do Processo de Produção de Etanol Celulósico

Diversas estratégias para a conversão de materiais lignocelulósicos em açúcares fermentescíveis têm sido demonstradas em escala laboratorial e piloto. O conceito geral envolve pré-tratar a matéria bruta para, então, submetê-la à hidrólise (JORGENSEN, KRISTENSEN e FELBY, 2007).

Na Figura 2.18 está apresentado um esquema geral do processo de produção de etanol celulósico (HAMELINCK, HOOIJDONK e FAAIJ, 2005).



**Figura 2.18.** Processo Generalizado da Produção de Etanol Celulósico (HAMELINCK, HOOIJDONK e FAAIJ, 2005).

#### 2.3.2.1. Pré-Tratamento

Para se chegar a altos rendimentos de glicose, a lignocelulose precisa primeiramente ser pré-tratada (RAMIREZ, 2010).

O pré-tratamento tem por finalidades alterar ou remover a hemicelulose e/ou a lignina, aumentar a área superficial e diminuir o grau de polimerização e a cristalinidade da celulose, o que acarreta em aumento na digestibilidade enzimática e, conseqüentemente, no rendimento

em açúcares fermentescíveis (ZHANG e LYND, 2004; WYMAN et. al, 2005; MOSIER et. al, 2005).

Para que a sacarificação da celulose seja eficiente, é necessário que as enzimas consigam “chegar” até ela. Entretanto, a parede da célula vegetal é impermeável a grandes moléculas, incluindo proteínas como as celulases. Para superar esta barreira, reagentes que incluem (mas não se restringem a) ácidos e bases devem ser utilizados para solubilizar a hemicelulose e/ou a lignina e, assim, aumentar a porosidade da matriz (GOULD, 1984; SCHELL et. al, 1991).

Métodos de pré-tratamento podem ser físico, químico ou térmico ou uma combinação entre eles. O pré-tratamento é uma das etapas mais caras do processamento para a produção de açúcares a partir de biomassa (RAMIREZ, 2010).

O pré-tratamento adequado deveria idealmente: 1) maximizar a digestibilidade enzimática, 2) minimizar a perda de açúcares, 3) otimizar a produção de subprodutos (lignina, por exemplo), 4) não requerer a adição de reagentes que venham a inibir as enzimas hidrolíticas e os microrganismos fermentativos, 5) minimizar o uso de energia, reagentes e equipamentos, e 6) permitir a transposição para escala industrial (HOLTZAPPLE e HUMPHREY, 1984).

Métodos de pré-tratamento físico incluem moagem em moinhos de bolas, cominuição (redução mecânica do tamanho de partículas da biomassa) e moagem por compressão. Solventes, tais como  $H_2O_2$ , ozônio, glicerol, dioxano, fenol ou etilenoglicol, têm sido usados para o pré-tratamento da biomassa e esses solventes são conhecidos por quebrar a estrutura da celulose e promover a hidrólise, porém, pré-tratamentos com solventes possuem custo muito elevado para propósitos práticos. Os métodos mais promissores e de custo adequado são ácido diluído, explosão a vapor não catalisada, água quente com pH controlado, tratamento com cal e tratamento com amônia (RAMIREZ, 2010).

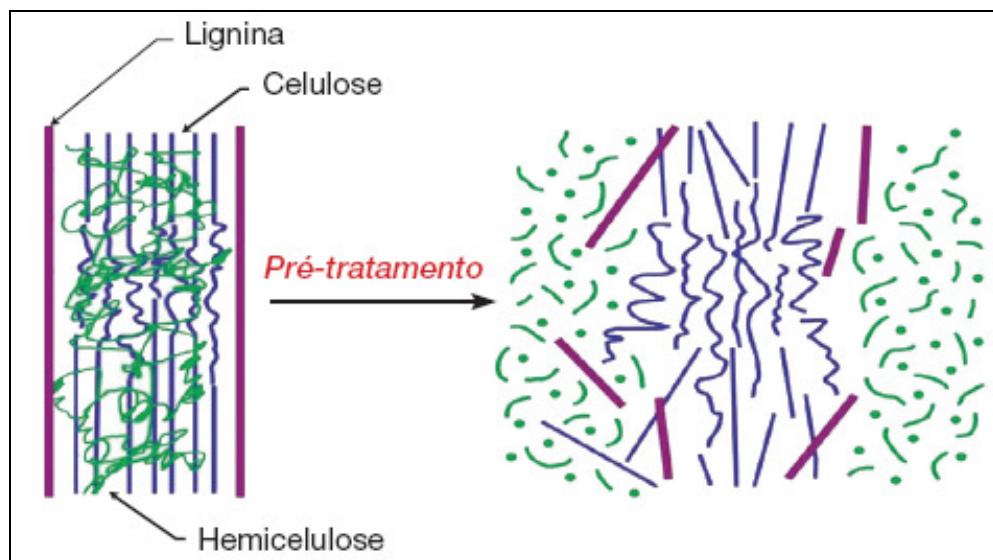
No pré-tratamento do bagaço pelo método de explosão a vapor, o bagaço é aquecido a alta temperatura, com pressão, e explode. Isso facilita o acesso da enzima à fibra de celulose (SIMÕES, 2007).

Tratamentos com água a temperaturas elevadas (200 °C a 230 °C) e elevadas pressões podem aumentar a área superficial da biomassa e remover a hemicelulose. A vantagem do pré-tratamento com água quente é que não são necessárias a adição de ácido nem a redução de tamanho de partículas. Uma desvantagem é que o tratamento com água quente proporciona a formação de produtos de degradação de açúcares (furfural, a partir das pentoses e HMF, a

partir glicose). Os produtos de degradação podem ser minimizados por meio do controle do pH da água quente, adicionando-se bases, tal como hidróxido de potássio (RAMIREZ, 2010).

Tratamentos com ácido sulfúrico diluído podem ser usados para hidrolisar hemicelulose para açúcares com altos rendimentos, proporcionando alteração na estrutura da lignina e aumento da área superficial da celulose. A desvantagem desse processo é que requer ácido corrosivo, com a correspondente neutralização na etapa de purificação, necessitando, assim, de materiais especiais para a construção do reator (RAMIREZ, 2010).

Na Figura 2.19 tem-se um esquema ilustrativo do pré-tratamento com ácido diluído da lignocelulose.



**Figura 2.19.** Pré-Tratamento com Ácido Diluído da Lignocelulose (US, 2010).

Conforme mostrado na Figura 2.19, grande parte da hemicelulose é removida. Por outro lado, a remoção da lignina ocorre de maneira bastante limitada. Estas reações acarretam em alterações radicais na estrutura da parede celular vegetal, favorecendo a acessibilidade das enzimas para a hidrólise subsequente da celulose (CANILHA et. al, 2010).

Explosão da fibra com amônia (Aflex), no qual a amônia anidra entra em contato com a lignocelulose, pode aumentar a área superficial da biomassa, diminuindo a cristalinidade da celulose e dissolvendo parte das hemiceluloses, além de remover a lignina. Tratamento da biomassa com uma solução de amônia menos concentrada é conhecida como percolação reciclada com amônia (ARP) (RAMIREZ, 2010).

Tratamento com cal pode ser realizado em condições ambientes, entretanto, o tempo requerido por esses tratamentos é da ordem de semanas. Esse processo envolve a mistura de

cal com água e a mistura é borrifada sobre a biomassa. O efeito principal do pré-tratamento com cal é a remoção da lignina. A área superficial da biomassa é aumentada e as frações do grupo acetil e ácido urônico da hemicelulose são removidas (RAMIREZ, 2010).

Dentre os diferentes métodos de pré-tratamento, a hidrólise dos açúcares presentes na fração hemicelulósica de materiais lignocelulósicos com ácidos diluídos, tem se mostrado bastante eficiente, sendo também rápida e simples (RAMOS, 2003; PARAJÓ, DOMÍNGUEZ e DOMÍNGUEZ, 1998). Esta técnica apresenta vantagens como minimização da formação de produtos de degradação e aumento da susceptibilidade da celulose à hidrólise enzimática e subsequente, desde que as condições de hidrólise sejam otimizadas (SILVA, MATOS e CARVALHO, 2005).

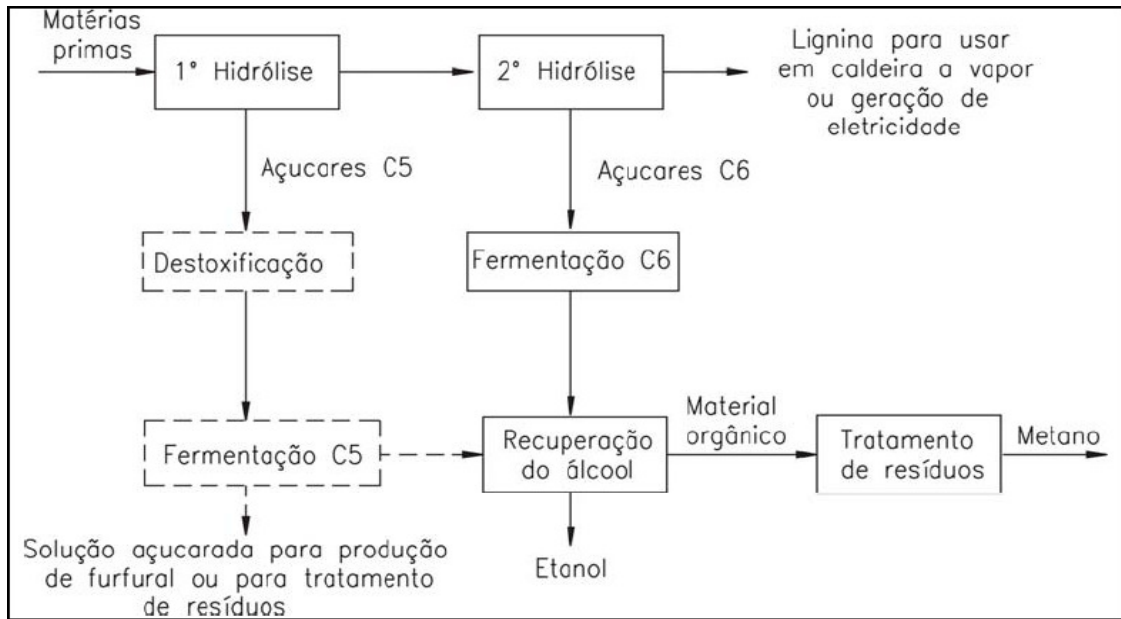
Uma análise econômica da produção de etanol usando vários métodos de pré-tratamento mostra que o custo aumenta na ordem: ácido diluído < Afex < cal < ARP < água quente. A razão pela qual o pré-tratamento com água quente é caro é que ele requer mais enzimas para decompor os oligômeros de xilose (RAMIREZ, 2010).

### 2.3.2.2. Hidrólise do Bagaço de Cana-de-Açúcar

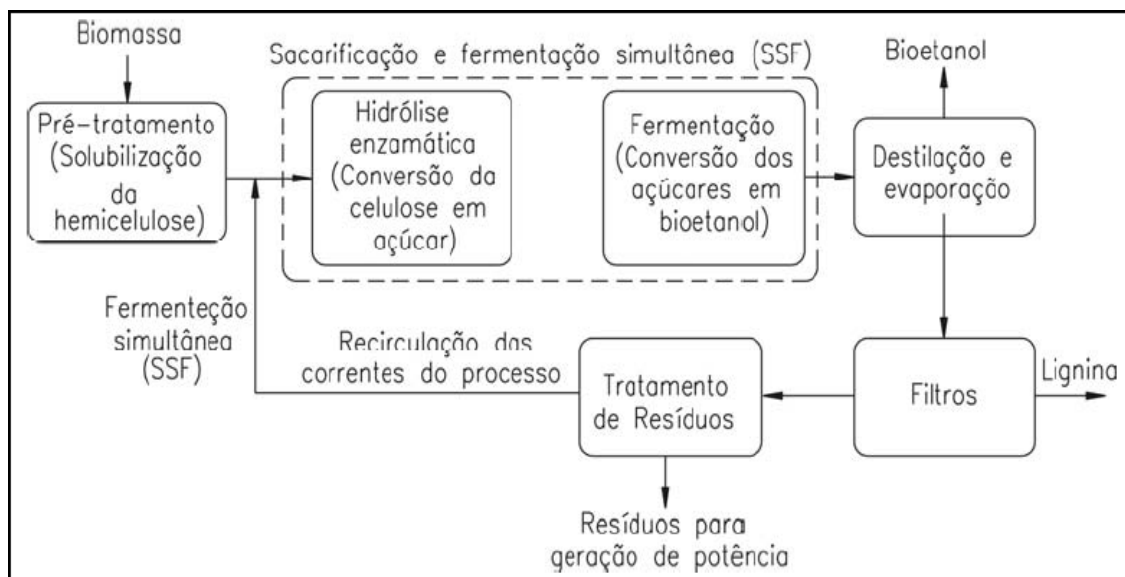
A reação de hidrólise da conversão de celulose em polímeros de açúcar é:



Os processos de hidrólise dividem-se em dois grandes grupos: ácida e enzimática (Figuras 2.20 e 2.21). No primeiro caso, a destruição da celulose e hemicelulose para açúcares simples é realizada por uma solução ácida e, no segundo, por um conjunto de enzimas. Estudos atuais indicam que o processo de hidrólise enzimática é preferido, pois, a produção de produtos tóxicos às leveduras é menor (LORA, CORAL E ROCHA, 2008).



**Figura 2.20.** Diagrama de Fluxo de Um Processo de Hidrólise Ácida Diluída (SIVERS e ZACCHI, 1996).



**Figura 2.21.** Diagrama de Fluxo de Um Processo de Hidrólise Enzimática (HAHN-HÄGERDAL et al., 2006).

A hidrólise ácida pode ser feita com ácido concentrado, diluído, ácido clorídrico, sulfúrico, entre outras possibilidades (SIMÕES, 2007). Subprodutos não desejáveis, incluindo 5-hidroximetilfurfural (HMF) e ácido levulínico, são produzidos pela degradação dos açúcares catalisada por ácido. Modelos cinéticos da hidrólise da celulose indicaram que a hidrólise ácida possui rendimentos em glicose sempre menor que 70%. Já a hidrólise



enzimática pode produzir glicose com rendimentos acima de 95% (RAMIREZ, 2010). A hidrólise total dos polissacarídeos lignocelulósicos (hemicelulose + celulose) com ácidos diluídos é problemática em termos de degradação de açúcares. A hidrólise com ácidos concentrados, gera rendimentos de sacarificação próximos aos teóricos, implica em custos e riscos elevados (CANILHA, 2010).

A hidrólise enzimática utiliza um complexo enzimático, no qual o principal componente é a enzima celulase. As enzimas são adicionadas ao bagaço em pressão normal e temperatura constante. Elas demoram de um a dois dias para separar as diversas moléculas de glicose que formam a celulose. Nesse complexo enzimático, também se encontram as enzimas acessórias, como a xilanase que limpam a fibra e permitem que a enzima celulase atue mais diretamente na celulose, tornando o processo mais eficiente. As moléculas de glicose obtidas pela hidrólise da celulose são fermentadas junto com o caldo ou melaço de cana pelas leveduras *Saccharomyces cerevisiae* no já conhecido e utilizado processo de fermentação alcoólica convencional (SIMÕES, 2007).

O processo de hidrólise enzimática apresenta vantagens associadas à obtenção de elevados rendimentos, sob temperaturas moderadas, em torno de 40 a 50 °C e pressão atmosférica. Entretanto, aspectos operacionais relacionados à elevada duração do processo de 48 a 72 horas, desativação catalítica por inibição da atividade enzimática, bem como do elevado custo das enzimas, têm acarretado incertezas quanto à viabilidade econômica do processo de hidrólise enzimática no contexto da produção de bioetanol a partir de biomassas lignocelulósicas (MACEDO, 2008).

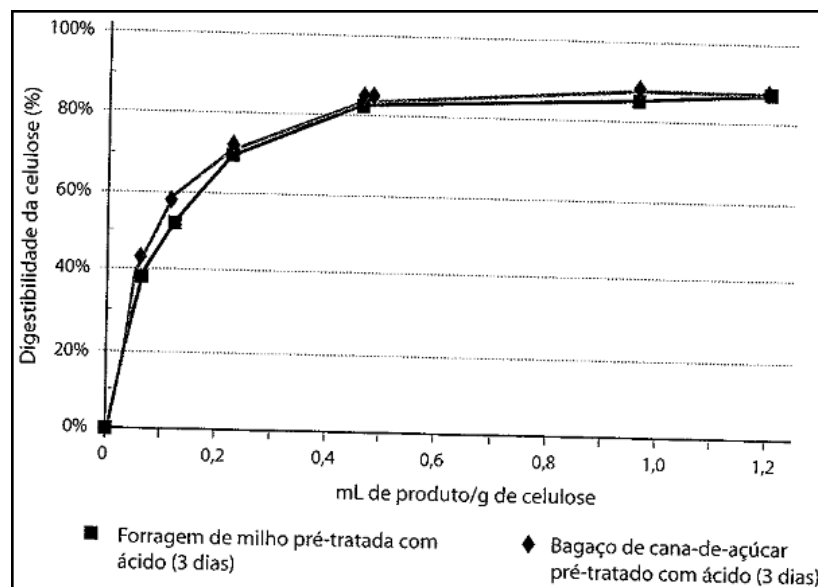
Inicialmente, um processo foi desenhado para produzir etanol pela hidrólise enzimática, separando-se as etapas de hidrólise e fermentação (SHF). Este processo possui etapas separadas para a produção das enzimas, hidrólise da celulose e fermentação da glicose. A vantagem deste processo é que ele permite tratar separadamente cada uma das etapas mencionadas, o que minimiza as interações entre as mesmas. Porém, as enzimas celulase são inibidas pela acumulação dos açúcares, o que impede atingir concentrações razoáveis de bioetanol a altas taxas e com produções altas, mesmo usando grandes quantidades de enzimas (JOHANSSON et al., 1993).

Esse problema pode ser minimizado pelo processo conhecido como sacarificação e fermentação simultâneas (SSF). Neste processo a glicose é convertida continuamente em bioetanol. A presença das leveduras juntamente com as enzimas minimiza a acumulação de açúcares no reator, e, por isso, maiores taxas, produções, e concentrações de bioetanol são possíveis de ser obtidas para o sistema SSF que para o SHF com menores cargas de enzimas.

(SILVERS e ZACCHI, 1996). Além disso, a presença do bioetanol faz com que a mistura seja menos vulnerável à invasão de microorganismos não desejados (JOHANSSON et al., 1993).

Neste processo geralmente utilizam-se enzimas produzidas pelos fungos *Trichoderma reesei* e a levedura fermentativa *Saccharomyce cerevisiae*. As temperaturas ótimas para este processo são aproximadamente 38° C, ou seja, situa-se entre as temperaturas ótimas da hidrólise, que varia de 45 a 50° C, e da fermentação que é aproximadamente 30° C (SUN e CHENG, 2002). Para um pH entre 4,5 e 5,5 e 55° C as celulasas *Trichoderma reesei*, apresentam sua atividade ótima, enquanto as *Saccharomyce cerevisiae* são tipicamente controladas a pH 4,5 e temperatura de 37° C (BALAT, BALAT e OZ, 2008).

Há somente duas empresas no mundo hoje que produzem celulasas comerciais: Genencor, nos Estados Unidos e Novozymes, na Europa. Em setembro de 2008, Genencor apresentou um novo preparo enzimático chamado Acellerase 1000 que possui quatro atividades enzimáticas. A Figura 2.22 mostra os resultados do uso de tal complexo enzimático sobre forragem de milho e bagaço de cana, ambos pré-tratados com ácido e lavados. É interessante observar que foi atingido um rendimento de quase 90% para a digestibilidade da celulose (RAMIREZ, 2010).



**Figura 2.22.** Porcentagem de Digestibilidade da Celulose em Função de mL de Produto Por g de Celulose Para o Bagaço da Cana-de-Açúcar e Forragem de Milho Pré-Tratados com Ácido Após Lavagem, Usando Acellerase<sup>TM</sup> com 7% de Carga de Celulase, 50 °C, pH 5,0 e por 3 dias (RAMIREZ, 2010).

Mesmo que as hemiceluloses ofereçam uma quantidade importante de açúcares fermentescíveis, sua hidrólise enzimática é mais complicada que da celulose. Esse polímero é composto de açúcares de 5 ou 6 carbonos que requerem diferentes enzimas para quebrá-los (JORGENSEN et al., 2007). A hidrólise enzimática da hemicelulose é um processo difícil e caro (RAMIREZ, 2010).

As principais dificuldades tecnológicas enfrentadas para implementação comercial do processo de produção de etanol celulósico são (LORA, CORAL e ROCHA, 2008):

- Desenvolvimento de sistemas de pré-tratamento adequados para diferentes tipos de biomassas e processos;
- Desenvolvimento de processos de destoxificação dos produtos da hidrólise;
- Desenvolvimento de novos tipos de enzimas com maior atividade enzimática e redução dos custos de comercialização das mesmas;
- Integração dos processos de hidrólise e fermentação;
- Desenvolvimento de novas cepas de leveduras capazes de fermentar tanto açúcares C6 como C5;
- Desenvolvimento de esquemas integrados para o aproveitamento dos resíduos de lignina para a geração de eletricidade.

### **2.3.2.3. Rendimentos e Projetos em Execução**

A Tabela 2.6 mostra os rendimentos esperados de etanol lignocelulósico quando se utiliza a enzima Accellerase<sup>TM</sup> 1000 (GENENCOR<sup>®</sup>, 2007) e a Tabela 2.7. apresenta uma listagem atualizada das plantas de etanol em operação/construção no mundo. Desta tabela pode-se concluir que existe um predomínio absoluto da plataforma bioquímica nestes tipos de empreendimentos, como consequência de uma maior maturidade desta tecnologia (LORA, CORAL e ROCHA, 2008).

**Tabela 2.6.** Rendimentos da Produção de Etanol Lignocelulósico por Hidrólise Enzimática a Partir de Diferentes Matérias-Primas.

<b>Matéria-prima</b>	<b>Rendimento de etanol L/T (base seca)</b>
Bagaço de cana-de-açúcar	424
Resíduo de milho	428
Palha de arroz	416
Resíduos florestais	310
Serragem	382
Papel misturado	439

Fonte: GENENCOR<sup>®</sup>, 2007.

**Tabela 2.7.** Lista Atualizada das Plantas de Etanol de 2ª Geração em Operação/Construção no Mundo.

<b>Empresa</b>	<b>Localização</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Matéria-prima</b>	<b>Construção</b>	<b>Abertura</b>
Abengoa	York	Hidrólise enzimática	Resíduo de milho, Panicum virgatum (switchgrass), sorgo, resíduos de madeira.	2005	2007
Abengoa	Hugoton	Hidrólise enzimática	Resíduo de milho, palha de trigo, sorgo, palha.	2008	2011
AE Biofuels	Butte	Hidrólise enzimática	Panicum virgatum (switchgrass), palha, caule de milho.	2008	2008
Alico Inc.	LaBelle	Termoquímica	Resíduos de jardim, madeira, cascas de cítricos, energia da cana.	2008	2010
BioEnergy International	Clearfield	-	Madeira, bagaço.	2008	2009
BlueFire Ethanol	Lancaster	Hidrólise ácida concentrada	Resíduos de madeira, resíduos agrícolas, resíduos urbanos.	2008	2009
BlueFire Ethanol	Southern California	Hidrólise ácida concentrada	Resíduos de jardim, resíduos de madeira.	2009	2010
Catalyst Renewables	Lyonsdale	-	Madeira.	-	-
Clensom University	North Charleston	-	Panicum virgatum (switchgrass), árvores, sorgo.	2008	2009

Colusa Biomass	Colusa	Hidrólise enzimática	Palha de arroz, casca de arroz.	2006	2008
Coskata	T.b.d	Termoquímica	-	2008	2009
Coskata	T.b.d	Termoquímica	-	2008	2011
FPL Energy	Florida	Hidrólise enzimática	Cascas de cítricos.	2008	2010
ICM	Colwich	Hidrólise enzimática *	Fibra, resíduo de milho, Panicum virgatum (switchgrass), sorgo.	-	2010
Iogen	Shelley	Hidrólise enzimática	Trigo, palha de cevada, resíduo de milho, Panicum virgatum (switchgrass).	2008	2010
KL Process Desing	Uptown Wyoming	Hidrólise enzimática	Resíduos de madeira.	2005	2008
Mascoma	Rome	-	Chips de madeira.	2006	2008
Mascoma	Monrou Country	-	Panicum virgatum (switchgrass).	2007	2008
Mascoma	Michigan	-	Chips de madeira.	-	2008
Pacific Ethanol	Boardman	Hidrólise enzimática	Palha de trigo, chips de madeira, resíduo de milho.	2008	2010
POET	Emmetsburg	Hidrólise enzimática	Fibra de milho, milho.	2007	2009
Range Fuels	Soperton	Termoquímica	Resíduos de madeira.	2007	2008
Dong Energy	Kalundborg (Dinamarca)	-	Biomassa residual, resíduos.	2008	2009
Nedalco	Sas van Gent (N.L)	Hidrólise enzimática	Resíduos da moagem do trigo.	2008	2011
Sekab	Ornskoldsvik (Suécia)	Hidrólise enzimática ou ácida diluída	Chips de madeira.	2002	2004
Sekab	Ornskoldsvik (Suécia)	Hidrólise enzimática ou ácida diluída	Chips de madeira.	2008	2010
Bioethanol Japan	Osaka (Japão)	Hidrólise ácida	Resíduos de madeira de construção.	2005	2007
COFCO	China	-	Resíduo de milho.	-	2008
Dedini S.A.	Pirassununga (Brasil)	Hidrólise ácida diluída	Bagaço de cana.	2002	2002
Eth Tec	Grafton (Austrália)	-	Resíduos de madeira, bagaço.	-	-

\*Esta empresa usará hidrólise enzimática e gaseificação termoquímica durante o processo de produção.

Fonte: ETHANOL STATISTICS, 2008.

## 2.4. Análise de Retorno de Investimentos

### 2.4.1. Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL depende apenas dos fluxos de caixa e do custo de oportunidade do capital (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

Qualquer critério de análise de investimentos que não reconheça o valor temporal do dinheiro não pode ser adequado. O VPL depende unicamente dos fluxos de caixa estimáveis do projeto e do custo de oportunidade do capital. Qualquer critério de análise de investimento que seja afetado pelo gestor, pelo método de contabilidade escolhido pela empresa, pelo retorno de atividade atual da empresa ou pelo retorno de outros projetos autônomos levará às piores decisões (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

Uma nota a ser feita é que a depreciação é uma despesa não desembolsável; só é importante porque reduz o resultado tributável. Origina um benefício fiscal anual igual ao produto da depreciação pela taxa marginal de imposto (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008). Ela reflete uma provisão, contábil, para reinvestimento nos bens de capital utilizados na produção (máquinas e equipamentos) para que não haja sucateamento e perda de produtividade, e, por consequência, rentabilidade do empreendimento.

O Valor Presente Líquido ou *Net Present Value* (NPV) é um dos instrumentos sofisticados mais utilizados para avaliar propostas de investimentos de capital. Reflete a riqueza em valores monetários do investimento medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a determinada taxa de desconto (KASSAI, CASANOVA, SANTOS E ASSAF NETO, 2005). Dessa forma, o NPV pode ser obtido através da fórmula 2.4:

$$NPV = \frac{FC_0}{(1+i)^0} + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \frac{FC_4}{(1+i)^4} + \frac{FC_5}{(1+i)^5} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (2.4)$$

Onde: FC = Fluxos de caixa esperados (positivos ou negativos)

$i$  = Taxa de atratividade (desconto)

Análise: É considerado atraente todo investimento que apresente **VPL maior ou igual a zero** (KASSAI, CASANOVA, SANTOS E ASSAF NETO, 2005).

#### **2.4.2. Fluxos de Caixa e Suas Fontes**

As fontes de fluxos de caixa operacionais são as receitas e despesas operacionais incluídas nas demonstrações de resultado. As receitas operacionais são a receita líquida e as despesas operacionais que correspondem à soma dos custos dos produtos vendidos, despesas gerais, administrativas e de venda, e despesas de depreciação e impostos. Entretanto, nem todas essas receitas e despesas consomem caixa. Um exemplo típico é a depreciação. A empresa não paga depreciação a ninguém. Consequentemente, a depreciação é excluída do cálculo do fluxo líquido de caixa operacional (HAWAWINI E VIALLET, 2009).

O fluxo líquido total de caixa da empresa é o saldo dos fluxos de caixa da empresa relacionados às suas atividades operacionais, de investimento e de financiamento durante um dado período (HAWAWINI E VIALLET, 2009).

A análise dos fluxos de caixa descontados geralmente pressupõe que as empresas possuam ativos passivamente e ignoram as oportunidades de expansão de um projeto se ele for bem sucedido, ou de abandoná-lo caso ele não seja. Os gestores inteligentes, entretanto, valorizam essas oportunidades. Eles procuram maneiras de maximizar o sucesso e de reduzir os custos das falhas, e estão preparados para reconhecer projetos que lhes proporcionem essa flexibilidade. As oportunidades de alterar os projetos à medida que o futuro vai se revelando é denominada por opção real (*real option*) (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

#### **2.4.3. Taxa Mínima de Atratividade (TMA), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Índice de Rentabilidade (IR)**

##### **2.4.3.1. Taxa Mínima de Atratividade (TMA)**

Na análise de projetos é necessária a definição prévia de alguns parâmetros mínimos de comparabilidade, como, por exemplo, a Taxa Mínima de Atratividade, Período Mínimo de Atratividade, etc. (KASSAI, CASANOVA, SANTOS E ASSAF NETO, 2005).

Entende-se por TMA a taxa mínima a ser alcançada em determinado projeto; caso contrário, o mesmo deve ser rejeitado. É, também, a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa quando se usa o método VPL e o parâmetro de comparação para a TIR. É o rendimento mínimo de uma segunda melhor alternativa do mercado (KASSAI, CASANOVA, SANTOS E ASSAF NETO, 2005).

#### 2.4.3.2. Taxa Interna de Retorno (TIR) (ou Fluxo de Caixa Descontado - FCD)

A Taxa Interna de Retorno ou *Internal Rate of Return* (IRR) é uma das formas mais sofisticadas de avaliar propostas de investimentos de capital. Ela representa a taxa de desconto que iguala, num único momento, os fluxos de entrada com os de saída de caixa. Em outras palavras, é a taxa que produz um VPL igual a zero (KASSAI, CASANOVA, SANTOS E ASSAF NETO, 2005).

Infelizmente, não há uma maneira totalmente satisfatória para definir a verdadeira taxa de retorno de um ativo com vida útil longa. O melhor conceito disponível é a chamada taxa de retorno do fluxo de caixa descontado (FCD) *Discounted Cash Flow* (DCF), ou taxa interna de retorno (TIR) (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

$$ZERO = \frac{FC0}{(1+IRR)^0} + \frac{FC1}{(1+IRR)^1} + \frac{FC2}{(1+IRR)^2} + \frac{FC3}{(1+IRR)^3} + \frac{FC4}{(1+IRR)^4} + \dots + \frac{FCn}{(1+IRR)^n} \quad (2.5)$$

Onde: FC = Fluxos de caixa esperados (positivos ou negativos)

Análise: É considerado economicamente atraente todo investimento que apresente **TIR maior ou igual à TMA** (KASSAI, CASANOVA, SANTOS E ASSAF NETO, 2005).

Muitas empresas preferem como critério de avaliação a taxa interna de retorno ao valor presente líquido. Acreditamos que isso é lastimável. Embora os dois critérios, se forem formulados de modo adequado, sejam formalmente equivalentes, o critério da taxa interna de retorno contém algumas armadilhas (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).



O VPL de um projeto pode ser estimado com as mesmas informações necessárias para aplicar a regra da TIR, de modo que você deve calcular ambos. Quando as duas regras levam à mesma recomendação, mencione a TIR do projeto em vez de seu VPL. Quando a sua análise indica um conflito entre os dois métodos, você deve confiar na regra do VPL (HAWAWINI E VIALLET, 2009).

#### 2.4.3.3. Índice de Rentabilidade (IR)

O índice de rentabilidade (IR) de um projeto é igual o quociente entre o valor de sua série de fluxos de caixa esperados ( $FC_1, FC_2, \dots, FC_i, \dots, FC_n$ ) e o seu desembolso inicial (HAWAWINI E VIALLET, 2009);

$$IR(\text{Investimento}) = \frac{\text{Valor Presente}(FC_1, FC_2, \dots, FC_i, \dots, FC_n)}{\text{Desembolso Inicial}} \quad (2.6)$$

De acordo com a regra do índice de rentabilidade, um projeto deve ser aceito se seu índice de rentabilidade é superior a um e deve ser rejeitado se o índice é inferior a um (HAWAWINI E VIALLET, 2009).

### 2.5. Análise de Sensibilidade

A incerteza significa que um número de coisas que podem acontecer é superior ao das que efetivamente ocorrem. Sempre que nos deparamos com uma previsão de fluxos de caixa, devemos tentar descobrir que outras coisas poderiam acontecer (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

A análise de sensibilidade limita-se a expressar os fluxos de caixa em razão das variáveis-chave e, em seguida, calcular as consequências dos erros de estimativa de variáveis. Obriga os gestores a identificar as variáveis relevantes, indica onde a informação adicional pode ser mais útil e ajuda a detectar as previsões confusas ou inadequadas. Muitas vezes os

maiores perigos são imprevistos desconhecidos. Não tendo detectado nenhum imprevisto, pode ter certeza de que mais tarde todos os imprevistos serão encontrados (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

Outro problema que se coloca em relação à análise de sensibilidade é que as variáveis relevantes podem ser interdependentes. Que sentido faz analisar isoladamente um aumento da parcela de mercado? Se a dimensão do mercado ultrapassar expectativas, é provável que a procura seja maior do que a prevista, e o preço unitário, mais elevado. E por que considerar isoladamente o efeito de um aumento de preço? Se a inflação empurrar os preços para um nível superior ao que tínhamos previsto, é bastante provável que os custos também sejam inflacionados. Muitas vezes, os maiores perigos são imprevistos desconhecidos (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

Frequentemente, os gestores acham útil a análise de cenários. Ela permite um exame das combinações diferentes, mas consistentes, de variáveis. As pessoas encarregadas de fazer previsões preferem fazer uma estimativa das receitas ou dos custos com base em um determinado cenário, em vez de apresentar um valor absoluto, otimista ou pessimista. Muitas vezes os maiores perigos são imprevistos desconhecidos (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

Quando procedemos a uma análise de sensibilidade de um projeto, ou quando examinamos cenários alternativos, queremos saber qual é o grau de gravidade resultante de um volume de vendas, ou de custos, menos favorável do que os previstos. Às vezes, os gestores preferem apresentar a questão de modo diferente e perguntar quanto o volume de vendas pode baixar até que o projeto comece a dar prejuízo. Esse tipo de análise chama-se análise do ponto de equilíbrio. Muitas vezes os maiores perigos são imprevistos desconhecidos (BREALEY, MYERS E ALLEN, 2008).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Premissas do Estudo

##### 3.1.1. Orçamentação da Planta Industrial para Produção de Etanol

A orçamentação da planta para a produção de etanol foi obtida juntamente aos fabricantes de equipamentos, por ocasião de reavaliação patrimonial das unidades industriais do Grupo Virgolino de Oliveira, ocorrida entre os meses de março e julho de 2.010. Todos os orçamentos encontram-se arquivados em acervo da empresa.

Para o orçamento da planta industrial que, no estudo, produzirá o etanol de 2ª geração, foram estimados valores globais dos equipamentos necessários à sua produção, tais como: reatores, coluna de recuperação de produto e subprodutos da fase inicial do processo – destruição da fibra vegetal através da hidrólise ácida, e produção do caldo hidrolisado, bem como tubulações necessárias às interligações deste processo ao processo de produção pré-existente, além do aumento de alguns equipamentos orçamentados na planta industrial de produção do etanol de 1ª geração, como: tanques de armazenamento e fermentativos, colunas de destilação, entre outros.

Foram estimados alguns valores para adaptações que deverão ser feitas nas caldeiras para recepção da palha que substituirá o bagaço da cana, como matéria-prima para geração da energia elétrica consumida na unidade de produção.

Para elaboração dos estudos foram estabelecidas as seguintes premissas de produção:

**Tabela 3.1.** Premissas de Produção.

Premissas para elaboração das demonstrações financeiras	Unidade	Unidade de Produção de	
		1ª Geração	2ª Geração
1) Moagem de Cana	Ton	2.000.000	2.000.000
2) Produtividade Industrial	Lts/Ton.Cana	88,000	162,800
3) Produção Anual de Etanol	M³	176.000	325.600

Fonte: Elaboração Própria.

### 3.1.1.1. Planta Industrial Para Produção de Etanol de 1ª Geração

**Tabela 3.2.** Orçamento Para Implantação de Unidade Produtora de Etanol de 1ª Geração.

Orçamento para Implantação de Unidade Industrial Produtora de Etanol de 1ª Geração (Convencional)

	Capacidade	R\$/Mil
Recepção de Cana, hilo, mesa e limpeza a seco, esteira de cana 90",		13.390
Moenda 42x86"com cinco ternos acionamento elétricos instalados	450 TC/hora	52.000
Caldeira de 65 Kcm <sup>2</sup> - 520°C, com tratamento de água para fuligem e		26.300
Tratamento de água para caldeira e fermentação	200 m <sup>3</sup> /hora	3.170
Casa de força	20 Mwa	45.000
Central de ar comprimido	600 PCM	370
Pré-tratamento de caldo, aquecedores, decantador, peneira e pré-		17.050
Pré-tratamento de levedo, cubas e dornas volantes	4 x 400 m <sup>3</sup>	2.720
Centrifugas de levedo	5 x 130 m <sup>3</sup>	1.625
Fermentação Completa	8 x 1.000 m <sup>3</sup>	8.200
Destilação para hidratado	2 x 600 m <sup>3</sup> /dia	20.000
Tanques de armazenagem para etanol	5 x 20.000 m <sup>3</sup>	22.400
Tratamento de efluentes industriais, sem vinhaça	100 m <sup>3</sup> /hora	1.300
Interligações		5.000
Sistema Elétrico geral		6.000
Laboratórios		2.000
Oficina industrial/almoxxarifados		2.200
Prédios administrativos		1.260
Terraplanagem com ruas compactadas		630
Pavimentação asfáltica		3.000
Guias e sarjetas		350
Transportes de materiais		2.500
Projeto e gerenciamento da obra		2.000
<b>Total</b>		<b>238.465</b>

Fonte: Elaboração própria.

### 3.1.1.2. Planta Industrial Para Produção do Etanol de 2ª Geração (Celulósico)

**Tabela 3.3.** Orçamento Para implantação de Unidade Combinada, Produtora de Etanol de 2ª Geração, Anexa a Unidade Produtora de Etanol de 1ª Geração.

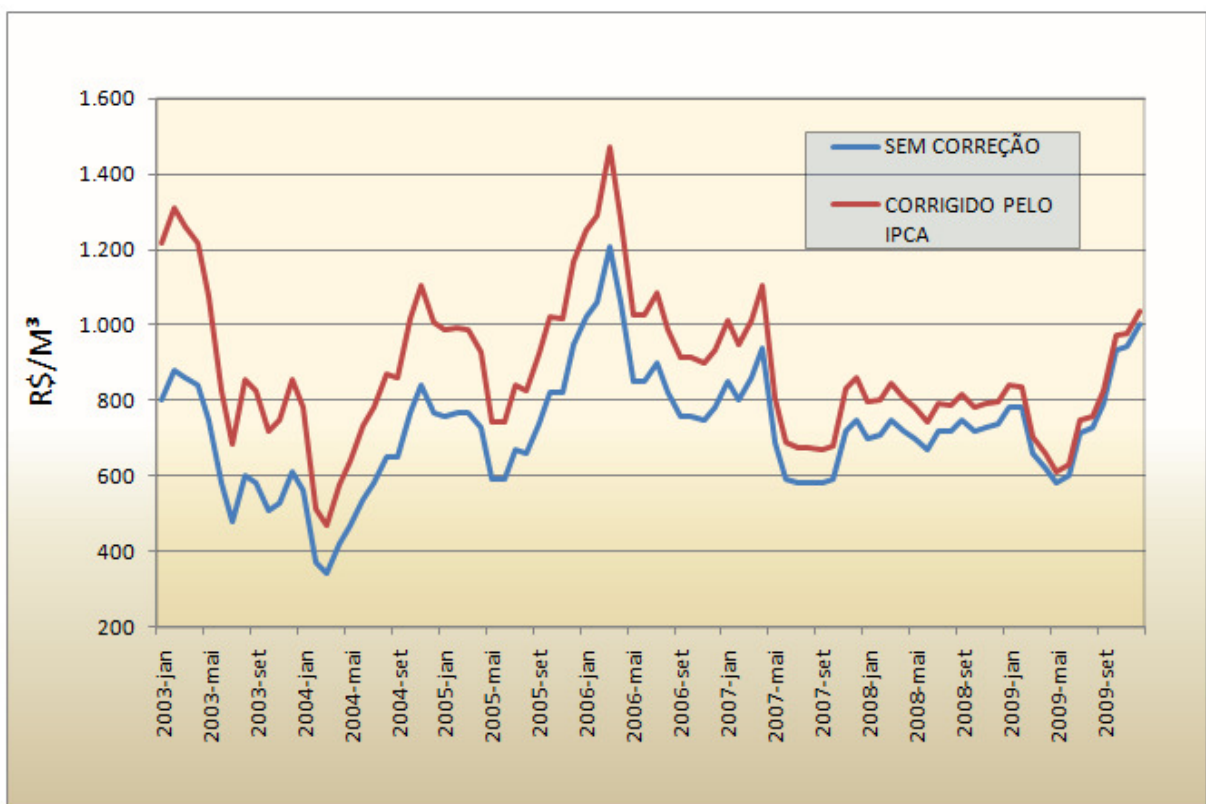
Orçamento para Implantação de Unidade Industrial Produtora de Etanol de 2ª Geração (Celulósico)

	Capacidade	R\$/Mil
Recepção de Cana, hilo, mesa e limpeza a seco, esteira de cana 90",		13.390
Moenda 42x86"com cinco ternos acionamento elétricos instalados	450 TC/hora	52.000
Caldeira de 65 Kcm <sup>2</sup> - 520°C, com tratamento de água para fuligem e		26.300
Tratamento de água para caldeira e fermentação	300 m <sup>3</sup> /hora	5.170
Casa de força	20 Mwa	45.000
Central de ar comprimido	600 PCM	370
Pré-tratamento de caldo, aquecedores, decantador, peneira e pré-		17.050
Pré-tratamento de levedo, cubas e dornas volantes	4 x 400 m <sup>3</sup>	2.720
Centrifugas de levedo	9 x 130 m <sup>3</sup>	3.250
Alimentação de Bagaço Hidrólise		3.000
Adaptações no Parque Industrial (Recepção e Limpeza da Palha, etc)		7.000
Unidade de Hidrólise Ácida	1.000 m <sup>3</sup> / dia	60.000
Fermentação Completa	14 x 1.000 m <sup>3</sup>	15.170
Destilação para hidratado	4 x 600 m <sup>3</sup> /dia	40.000
Tanques de armazenagem para etanol	9 x 20.000 m <sup>3</sup>	41.440
Tratamento de efluentes industriais, sem vinhaça	100 m <sup>3</sup> /hora	2.300
Interligações		7.000
Sistema Elétrico geral		6.000
Laboratórios		2.500
Oficina industrial/almojarifados		2.200
Prédios administrativos		1.260
Terraplanagem com ruas compactadas		630
Pavimentação asfáltica		3.000
Guias e sarjetas		350
Transportes de materiais		2.500
Projeto e gerenciamento da obra		2.000
<b>Total</b>		<b>361.600</b>

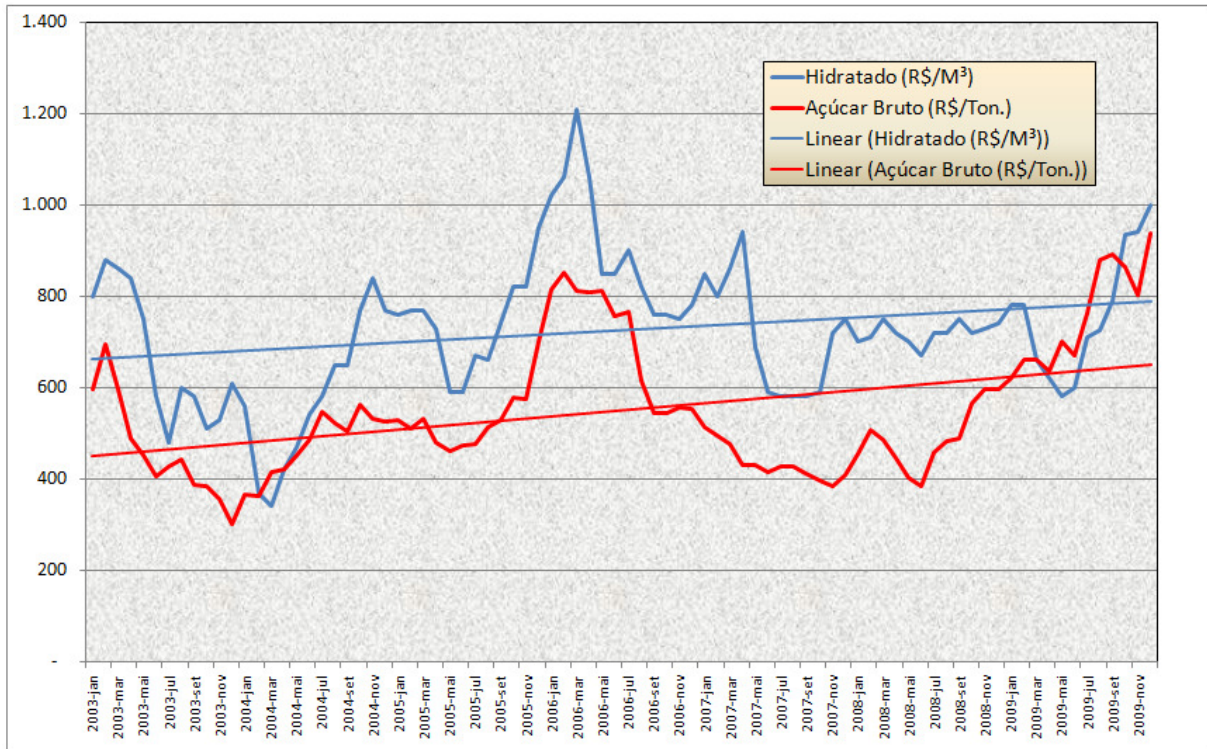
Fonte: Elaboração Própria.

### 3.1.2. Preços do Etanol Hidratado

Os preços do etanol hidratado foram obtidos no site da UNICA, no período compreendido entre janeiro de 2.003 e dezembro de 2.009 e demonstram, conforme se pode observar na Figura 3.1, grande volatilidade, os quais têm relação quase que direta com os preços do açúcar no mercado internacional (*Raw Sugar NY11* – Contrato número 11 da Bolsa de Nova Iorque), de acordo com a Figura 3.2.



**Figura 3.1.** Preços do Etanol Hidratado ao Produtor entre Jan-03 a Dez-09 (UNICA, 2010).



**Figura 3.2.** Preços do Etanol Hidratado e Açúcar Bruto ao Produtor entre Jan-03 e Dez-09 (UNICA, IPEADATA).

### 3.1.3 Custos de Produção e Outras Premissas Para Elaboração dos Fluxos de Caixa

#### 3.1.3.1 Custos Diretos e Indiretos de Produção

Os custos de produção considerados refletem:

a) no caso da industrialização do etanol, a média do custo desembolsável das quatro unidades industriais, produtoras de açúcar e etanol (anidro e hidratado), do Grupo Virgolino de Oliveira, localizadas no Estado de São Paulo; e,

b) o cálculo do custo da matéria-prima é efetuado com base nos critérios adotados pelo setor, que incorporou a metodologia do CONSECANA – Conselho dos Produtores de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, que, para valorizar a tonelada de cana a ser paga ao produtor leva em conta: 1) os preços praticados no estado de São Paulo no período de safra, o qual está compreendido entre abril e março do ano subsequente; e, 2) o *mix* de comercialização da unidade industrial processadora da cana-de-açúcar (Tabela 3.4)

**Tabela 3.4.** Cálculo do Custo da Matéria-Prima – Metodologia Consecana (Etanol de 1ª Geração).

Produto	Mercado	Quantidade	Fator de	Ton de ATR	Participação	Preço unitário	Preço em	C. média	Participação	C. média
Açúcar (ton)	Interno	0	1,0495	0	0,00	0,00	0,00	0,00	59,50	0,00
	Externo	0	1,0495	0	0,00	0,00	0,00	0,00	59,50	0,00
Etanol Anidro (m³)	Interno	0	1,7651	0	0,00	0,00	0,00	0,00	62,10	0,00
	Externo	0	1,7651	0	0,00	0,00	0,00	0,00	62,10	0,00
Etanol Hidratado (m³)	Interno	176.000.000	1,6913	297.669	100,00	800,03	473,02	473,02	62,10	62,10
	Externo	0	1,6913	0	0,00	0,00	0,00	0,00	62,10	0,00
Total/média				297.669	100,00			473,02		62,10
									R\$/Kg ATR total	0,4730
									R\$/Kg ATR fornecedor	0,2937
									Kg/ATR	147,00
									R\$/ton cana	43,18

Fonte: Elaboração Própria.

### 3.1.3.2. Depreciação

A depreciação ora considerada para a planta de etanol de 1ª geração leva em conta a vida útil dos equipamentos e instalações industriais, de acordo com laudo de avaliação obtido junto ao Grupo Virgolino de Oliveira, por ocasião do recente evento de reavaliação de seu ativo imobilizado (já citado no item “3.1.1”), o qual considera, diante de correta manutenção preventiva de equipamentos, uma vida útil superior ao da legislação vigente no país, pois, segundo BRASIL (RIR/1999, art.310), regra geral, a taxa de depreciação será fixada em função do prazo durante o qual se possa esperar a utilização econômica do bem, pelo contribuinte, na produção dos seus rendimentos.

Já para o estudo da depreciação da planta com produção de etanol de 2ª geração foi estabelecida uma alíquota de depreciação superior em 2% ao ano (alíquota de 5% da planta de etanol de 1ª geração), pois, de acordo com bibliografia pesquisada, é que, por se tratar de prospecção de planta com tecnologia de hidrólise da rota ácida, ocorre um maior desgaste dos equipamentos, por corrosão e abrasão, que estão em contato direto com o ácido diluído e com o bagaço de cana, este, matéria-prima e, aquele, insumo envolvido no principal processo de quebra da lignina.



### 3.1.4. Demonstração Resumida das Premissas Operacionais Utilizadas no Estudo

**Tabela 3.5.** Premissas Gerais do Estudo, Para Elaboração das Demonstrações e Análises Financeiras.

Premissas para elaboração das demonstrações financeiras	Unidade	Etanol de:	
		1ª Geração	2ª Geração
1) Moagem de Cana	Ton	2.000.000	2.000.000
2) Produtividade Industrial	Lts/Ton.Cana	88,000	162,800
3) Produção Anual de Etanol	M <sup>3</sup>	176.000	325.600
4) Comercialização Anual de Etanol	M <sup>3</sup>	176.000	325.600
5) Preço do Etanol Hidratado	R\$/M <sup>3</sup>	800,03	800,03
6) Impostos Sobre Venda	R\$/M <sup>3</sup>	48,00	48,00
7) Imposto de Renda e Contribuição Social	%	34,00	34,00
8) Custo de Produção Industrial do Etanol	R\$/M <sup>3</sup>	103,90	374,97
9) ATR na Matéria-Prima	Kg/Ton.Cana	147,00	147,00
10) Custo da Matéria-Prima (Cana-de-açúcar)	R\$/M <sup>3</sup>	490,69	265,24
11) Depreciação Média Anual	%	5	7
12) Despesas Com Vendas	%	2	2
13) Despesas Administrativas Anuais	R\$/Mil	5.200	5.200
14) Dividendos	%	20	20
15) Custo de Produção Total (Desembolsável + Econômico)	R\$	662,34	717,95

Fonte: Elaboração Própria.

### 3.1.5. Origem do Capital do Empreendimento

Para o estudo foi adotada a premissa de que todo o capital investido é de origem dos investidores, os quais somente exigiram o pagamento mínimo de dividendos de 20% (vinte por cento) dos lucros de cada período apurado, através da demonstração de resultados do exercício.

### 3.1.6. Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A TMA do estudo foi fixada em 12% (doze por cento) ao ano após pesquisa informal com empresários e gestores da área financeira de empreendimentos do setor sucroalcooleiro.

## 4. RESULTADOS OBTIDOS

### Demonstrações Financeiras e Análises de Sensibilidade

#### 4.1. Etanol de 1ª Geração

Na Tabela 4.1 são apresentados os resultados dos exercícios obtidos com a comercialização do etanol produzido a partir da tecnologia de 1ª geração.

**Tabela 4.1.** Demonstração de Resultados do Etanol de 1ª Geração (R\$/mil).

(R\$/Mil)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Receita bruta das vendas										
Vendas de produtos	140.804	140.804	140.804	140.804	140.804	140.804	140.804	140.804	140.804	140.804
Impostos e contribuições sobre vendas	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448	-8.448
Receita líquida das vendas	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356
Custos dos produtos vendidos	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571
Lucro bruto	15.785	15.785	15.785	15.785	15.785	15.785	15.785	15.785	15.785	15.785
(Despesas) receitas operacionais										
Com vendas	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647
Gerais e administrativas	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200
Resultado operacional (antes dos impostos)	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938
(Despesas) receitas financeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prejuízo antes dos impostos	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938	7.938
Imposto de Renda e Contribuição Social	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699
Resultado do Exercício	5.239	5.239	5.239	5.239	5.239	5.239	5.239	5.239	5.239	5.239
Dividendos	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048	1.048
Margem EBITDA (%)	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados observados na Tabela 4.1 evidenciam que, ao preço considerado de R\$ 800 (oitocentos reais) o metro cúbico de etanol, há viabilidade de empreendimentos para a produção de etanol de 1ª geração no Brasil, que é o país detentor da melhor tecnologia para produção de açúcar e etanol e, principalmente, disponibilidade de recursos naturais para prática da cultura de cana-de-açúcar.

A margem EBITDA fica em torno de 15% (quinze por cento), o que, a princípio, não é uma taxa considerada satisfatória para o setor que gera índices acima de 20% (vinte por cento).

Na Tabela 4.2 é demonstrada a sensibilidade do lucro líquido do empreendimento produtor de etanol de 1ª geração em relação às variações de preço do produto no mercado.

**Tabela 4.2.** Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido à Variação de Preços (R\$/m<sup>3</sup>) Brutos do Etanol.

Análise de Sensibilidade do Lucro/(Prejuízo) do Exercício à Variação do Preço do Etanol Hidratado	Etanol Hidratado (Bruto - R\$/m <sup>3</sup> )								
	477	527	577	627	677	727	777	827	877
Lucro/(Prejuízo) do Exercício (R\$/mil)	-12.906	-9.680	-6.453	-3.227	0	2.130	4.259	6.389	8.518

Fonte: Elaboração Própria

O resultado apresentado na Tabela 4.2 indica que, com os parâmetros adotados nos estudos, o preço bruto do etanol (R\$/m<sup>3</sup>) pode oscilar até o nível de R\$ 677 (seiscentos e setenta e sete reais) que ainda assim está fora da faixa de prejuízos. Tal preço está 15% (quinze por cento) abaixo do praticado no ano de 2.009 (janeiro a dezembro, corrigido pelo IPCA).

Na Tabela 4.3 são analisados os fluxos de caixa gerados pela produção e comercialização do etanol obtido na planta industrial produtora de etanol de 1ª geração.

**Tabela 4.3.** Fluxos de Caixa e Índices VPL e TIR do Etanol de 1ª Geração.

(R\$/Mil)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Saldo Inicial de Caixa		0	16.114	32.229	48.343	64.458	80.572	96.686	112.801	128.915	145.030
Receitas Operacionais Líquidas		132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356	132.356
Custos		-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571	-116.571
Despesas Com Vendas		-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647	-2.647
Despesas Administrativas		-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200
(Despesas) Receitas Financeiras		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IR/CS		-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699	-2.699
Distribuição de Dividendos		-1.048	-1.048	-1.048	-1.048	-1.048	-1.048	-1.048	-1.048	-1.048	-1.048
Depreciações		11.923	11.923	11.923	11.923	11.923	11.923	11.923	11.923	11.923	11.923
Investimentos	-238.465										
Total	-238.465	16.114	16.114	16.114	16.114	16.114	16.114	16.114	16.114	16.114	16.114
Saldo Final de Caixa	0	16.114	32.229	48.343	64.458	80.572	96.686	112.801	128.915	145.030	161.144
TMA	12%										
VPL	-147.415										
TIR	-6,6%										

Fonte: Elaboração Própria.

Os resultados analisados na Tabela 4.3 demonstram que, à TMA estabelecida no estudo, o VPL é negativo em R\$ 147.415 mil (cento e quarenta e sete milhões e quatrocentos e quinze mil reais), sendo um projeto, via análise deste índice, inviável de ser implantado.

A análise da TIR nos mostra um retorno negativo no período de 10 (dez) anos, o que inviabilizaria o processo de investimento e não dá comparabilidade com a TMA do projeto.

#### 4.2. Etanol de 2ª Geração (Celulósico)

Na Tabela 4.4 são apresentados os resultados obtidos com o etanol produzido em planta combinada – tecnologia de produção de etanol de 1ª e 2ª geração.

**Tabela 4.4.** Demonstração de Resultados do Etanol de 2ª Geração (R\$/mil).

(R\$/Mil)	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Receita bruta das vendas										
Vendas de produtos	260.488	260.488	260.488	260.488	260.488	260.488	260.488	260.488	260.488	260.488
Impostos e contribuições sobre vendas	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629	-15.629
Receita líquida das vendas	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859
Custos dos produtos vendidos	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763
Lucro bruto	11.096	11.096	11.096	11.096	11.096	11.096	11.096	11.096	11.096	11.096
(Despesas) receitas operacionais										
Com vendas	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897
Gerais e administrativas	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200
Resultado operacional (antes dos impostos)	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
(Despesas) receitas financeiras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prejuízo antes dos impostos	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
Imposto de Renda e Contribuição Social	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340
Resultado do Exercício	659	659	659	659	659	659	659	659	659	659
Dividendos	132	132	132	132	132	132	132	132	132	132
Margem EBITDA (%)	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%	10,7%

Fonte: Elaboração Própria

Os resultados obtidos na Tabela 4.4, com a implantação da planta de etanol de 2ª geração anexa a uma unidade que já produzia o de 1ª geração, demonstram que:

- 1) Houve uma piora do EBITDA, comparativamente à tecnologia de produção exclusivamente voltada para o etanol de 1ª geração, e que é ainda mais distante da média aceita pelo setor que é de um índice acima de 20%
- 2) Os custos, sem levar em conta os efeitos da depreciação dos equipamentos, tiveram um considerável aumento por conta da nova realidade de operacionalização, descrita em alguns tópicos na sequência:
  - a) Aumento dos custos de transporte da unidade industrial, devido ao aumento da necessidade de matéria-prima (palha da cana) para geração de energia, uma vez

que o bagaço, anteriormente destinado a esse fim, é utilizado para produção do etanol de 2ª geração;

- b) Maior necessidade, e de melhor qualidade, de manutenções preventivas por conta do novo processo de produção do etanol, pois o bagaço utilizado, ao ser armazenado, absorve quantidade significativa de impurezas adicionais (exemplo: terra) causando excessiva abrasão nos equipamentos envolvidos no processo da quebra de lignina (reator);
- c) Aumento da quantidade de insumos (ácidos, antibióticos, reagentes, anti-espumantes, dispersante, etc...); e,
- d) Necessidade de contratação de mão-de-obra especializada e em maior número do que o usual em destilarias, em razão do aumento de processos de relativa complexidade (relacionados à hidrólise).

Na Tabela 4.5 é demonstrada a sensibilidade do lucro líquido do empreendimento produtor de etanol de 1ª e 2ª geração em relação às variações do rendimento adicional (Litros/ton.cana moída) obtidos com a incorporação da nova tecnologia de produção.

**Tabela 4.5.** Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido às Variações do Rendimento Adicional do Etanol de 2ª Geração (% da Base de 88 Litros/Ton.Cana Moída) Obtido Com a Mesma Quantidade de Cana Moída.

Análise de Sensibilidade do Lucro/(Prejuízo) do Exercício à Variação da Produtividade Adicional do Etanol	Rendimento Adicional de Etanol Hidratado (base: 88 lts/ton.cana moída)								
	43%	53%	63%	73%	83%	98%	113%	128%	143%
Lucro/(Prejuízo) do Exercício (R\$/mil)	-25.486	-19.115	-12.743	-6.372	-0	6.308	12.616	18.923	25.231

Fonte: Elaboração Própria.

O etanol de 2ª geração, de acordo com o demonstrado na Tabela 4.5, se torna vantajoso, diante do preço aplicado no estudo, de R\$ 800 (oitocentos reais) o metro cúbico, a partir do rendimento adicional de 83% (oitenta e três por cento), ou seja, com uma produção incremental de 73 (setenta e três) litros por tonelada de cana moída, somente com o bagaço disponível no parque industrial, após o esmagamento da cana.

Na Tabela 4.6 é demonstrada a sensibilidade do lucro líquido do empreendimento produtor de etanol de 1ª geração em relação às variações de preço do produto no mercado.

**Tabela 4.6.** Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido às Variações do Preço do Etanol Hidratado (Bruto – R\$/m<sup>3</sup>).

Análise de Sensibilidade do Lucro/(Prejuízo) do Exercício à Variação do Preço do Etanol Hidratado	Etanol Hidratado (Bruto - R\$/m <sup>3</sup> )								
	595	645	695	745	795	845	895	945	995
Lucro/(Prejuízo) do Exercício (R\$/mil)	-42.228	-31.671	-21.114	-10.557	0	6.968	13.935	20.903	27.870

Fonte: Elaboração Própria.

À base do estudo, de acordo com os resultados demonstrados na Tabela 4.6, ou seja, considerando uma produção adicional de etanol da ordem de 85% (oitenta e cinco por cento) por tonelada de cana moída, via hidrólise do bagaço da cana, o ponto de equilíbrio do projeto analisado se dá com um preço mínimo de R\$ 795 (setecentos e noventa e cinco reais) por metro cúbico comercializado. Tal preço se encontra muito próximo da média obtida no ano de 2009 (janeiro a dezembro), de R\$ 800 (oitocentos reais) o metro cúbico, o que não gera conforto ao empreendimento para suportar a volatilidade ocorrida ao longo dos anos, diferentemente do que ocorre com o etanol de 1ª geração, que tem uma “margem de segurança” maior, relativamente ao seu ponto de equilíbrio e volatilidade de preços do setor.

A Tabela 4.7 demonstra a sensibilidade do lucro líquido do empreendimento produtor de etanol de 1ª e 2ª geração em relação às variações de preço bruto do etanol (R\$/m<sup>3</sup>) e do rendimento adicional (Litros/ton.cana moída) obtidos com a incorporação da nova tecnologia de produção.

**Tabela 4.7.** Análise de Sensibilidade: Variação do Lucro Líquido às Variações de: a) Preço do Etanol Hidratado (Bruto – R\$/m<sup>3</sup>); e, b) do Rendimento Adicional do Etanol de 2ª Geração (% da Base de 88 Litros/Ton.Cana Moída) Obtido Com a Mesma Quantidade de Cana Moída.

Rendimento Adicional de Etanol Hidratado (base: 88 lts/ton.cana moída)	Etanol Hidratado (Bruto - R\$/m <sup>3</sup> )								
	595	645	677	745	800	845	895	945	995
43%	-54.034	-47.062	-42.638	-33.118	-25.486	-19.174	-12.202	-5.229	1.150
53%	-51.194	-43.360	-38.389	-27.690	-19.115	-12.021	-4.187	2.407	7.578
63%	-48.354	-39.657	-34.139	-22.263	-12.743	-4.869	2.526	8.266	14.006
73%	-45.513	-35.954	-29.889	-16.835	-6.372	1.507	7.816	14.125	20.434
83%	-42.673	-32.251	-25.639	-11.408	-0	6.227	13.106	19.984	26.862
98%	-38.413	-26.697	-19.264	-3.267	6.308	13.308	21.040	28.772	36.505
113%	-34.152	-21.143	-12.889	3.217	12.616	20.389	28.975	37.561	46.147
128%	-29.892	-15.589	-6.515	8.590	18.923	27.470	36.909	46.349	55.789
144%	-25.538	-9.913	-0	14.081	25.369	34.706	45.018	55.330	65.642

Fonte: Elaboração Própria.

Os pontos de equilíbrio indicados na Tabela 4.7 indicam os resultados através das seguintes situações:

Situação 1 (quadros hachurados em verde): para um preço do etanol de R\$ 800 (oitocentos reais) o metro cúbico, o ponto de equilíbrio somente é atingido com uma produção adicional de 83% (oitenta e três por cento). Portanto, quaisquer resultados obtidos acima do preço e produtividade indicados nesta análise geram lucros ao empreendimento e dividendos aos acionistas; e,

Situação 2 (quadros hachurados em amarelo): a um preço de etanol de R\$ 677 (seiscentos e setenta e sete reais) o metro cúbico, preço este que define o ponto de equilíbrio do etanol de 1ª geração, o ponto de equilíbrio da planta combinada de 1ª e 2ª geração somente é atingido com uma produção adicional de 127 litros de etanol com a mesma quantidade de cana moída, ou seja, conforme demonstrado, com incremento de 144% (cento e quarenta e quatro por cento) na produção.

A Tabela 4.8 indica os fluxos de caixa gerados pela produção e comercialização do etanol obtido na planta industrial produtora de etanol de 1ª e 2ª geração (planta combinada).

Tabela 4.8. Fluxos de Caixa e Índices VPL e TIR da Planta Combinada.

(R\$/Mil)	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Saldo Inicial de Caixa		0	25.839	51.679	77.518	103.358	129.197	155.037	180.876	206.716	232.555
Receitas Operacionais Líquidas		244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859	244.859
Custos		-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763	-233.763
Despesas Com Vendas		-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897	-4.897
Despesas Administrativas		-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200	-5.200
(Despesas) Receitas Financeiras		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IR/CS		-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340	-340
Distribuição de Dividendos		-132	-132	-132	-132	-132	-132	-132	-132	-132	-132
Depreciações		25.312	25.312	25.312	25.312	25.312	25.312	25.312	25.312	25.312	25.312
Investimentos	-361.600										
Total	-361.600	25.839	25.839	25.839	25.839	25.839	25.839	25.839	25.839	25.839	25.839
Saldo Final de Caixa	0	25.839	51.679	77.518	103.358	129.197	155.037	180.876	206.716	232.555	258.395
TMA	12%										
VPL	-215.601										
TIR	-5,7%										

Fonte: Elaboração Própria.

Na Tabela 4.8, para o período analisado, o VPL também apresenta resultado negativo, em R\$ 215.601 mil (duzentos e quinze milhões e seiscentos e um mil reais) e TIR negativa de 5,7% (seis por cento). Os dois índices analisados, bem como os resultados observados para a

planta de etanol de primeira geração, não indicam viabilidade econômica para o empreendimento proposto.

A Tabela 4.9 analisa a sensibilidade do VPL do empreendimento produtor de etanol de 1ª e 2ª geração, em relação às variações de preço bruto do etanol hidratado (R\$/m<sup>3</sup>) levando-se em conta o rendimento adicional de 85% (oitenta e cinco por cento) do etanol produzido a partir do bagaço de cana.

**Tabela 4.9.** Análise de Sensibilidade do VPL à Variação do Preço do Etanol Hidratado (Bruto – R\$/m<sup>3</sup>).

Análise de Sensibilidade do VPL à Variação do Preço do Etanol Hidratado	Etanol Hidratado (Bruto - R\$/m <sup>3</sup> )								
	942	992	1.042	1.092	1.142	1.192	1.242	1.292	1.342
VPL (R\$/mil)	-125.979	-94.484	-62.989	-31.495	0	31.495	62.989	94.484	125.979

Fonte: Elaboração Própria.

A tabela 4.9, para a condição de produtividade considerada, o preço de equilíbrio do etanol hidratado (R\$/m<sup>3</sup>) é de R\$ 1.142. Portanto, quaisquer preços acima desta média indicam obtenção de VPL positivo. Esse preço está 42,8% (quarenta e dois vírgula oito por cento) acima do preço base para o estudo que foi de R\$ 800/m<sup>3</sup> de etanol hidratado.



## 5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O setor sucroalcooleiro responde por parte considerável do PIB nacional. O maior crescimento observado se deu na década passada, basicamente impulsionado pela perspectiva de abertura de mercado externo para o etanol. Não obstante, há um otimismo incontornável por conta do aumento das vendas dos veículos *flex fuel*, que se concretizam a cada balanço de vendas de veículos. A estes pontos devemos somar o fato de que o Brasil continua a ser, em conjunto com a Índia, um dos maiores *players* do mercado de açúcar no mundo.

Há ainda o fato de que o setor busca auto-afirmação na linha da sustentabilidade para superar o preconceito existente, o qual o rotula como poluidor e destruidor de florestas, matas e nascentes de mananciais de águas. Isto está fortemente relacionado ao aumento da produção de etanol, com a mesma quantidade de cana moída, sem a necessidade da expansão da área plantada e, por vezes, com sua redução, somente com o melhor aproveitamento de dois dos seus resíduos mais energéticos: o bagaço e a palha da cana.

Diante do cenário brevemente descrito acima, os resultados obtidos neste estudo confirmam a necessidade de o setor continuar a investir, e com mais intensidade, em pesquisa com a finalidade de desenvolver mais rapidamente processos que viabilizem a produção do etanol de 2ª geração, tanto pela rota ácida (objeto deste estudo), quanto pela rota enzimática.

Evidente que ainda há um longo percurso a ser percorrido, mas não há escolha, uma vez que temos “parceiros” como os Estados Unidos, que aplicam recursos bem mais consideráveis em pesquisa e desenvolvimento e, dadas as limitações deste trabalho, observa-se que a viabilidade “de fato” não está tão distante como se imaginava, pois o valor do incremento de custos de implantação e de produção aplicado neste estudo foi considerável.

No entanto, a evolução tecnológica é uma vertente que afeta substancialmente qualquer empreendimento. Neste estudo, especificamente, sabemos que estamos em vias de aperfeiçoamento do novo processo de produção e, por isso, cenários adversos podem ocorrer exigindo, portanto, novas modelagens tais como as que utilizam as opções reais para tomadas de decisão.

Estudos futuros devem levar em consideração alguns aspectos com maior profundidade, tais como:

- a) O real rendimento adicional obtido com a incorporação de planta de hidrólise à uma produtora de etanol de 1ª geração;

- b) A condição do meio na eventualidade da ocorrência de infecções no processo fermentativo, após a sacarificação do material lignocelulósico;
- c) A limitação de palha disponível no campo para substituição do bagaço de cana como matéria-prima para geração de energia, além dos ajustes necessários para recepção deste material em caldeiras;
- d) Analisar os efeitos da reentrada na lavoura para retirada da palha disponível após a colheita da cana-de-açúcar, pois isso pode gerar pisoteio na lavoura e prejudicar produtividades futuras;
- e) Custo efetivo da planta industrial e o correto impacto da depreciação nos resultados do empreendimento; e,
- f) Estudos relacionados ao eventual aumento de volume da vinhaça.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, H. V. Fermentação Alcoólica – Ciência e Tecnologia. Piracicaba: Fermentec, 2005.

BALAT, M., BALAT, H., ÖZ, C. “Progress in Bioethanol Processing“. Progress in Energy and Combustion Science, 2008.

BRASIL. Depreciação de Bens do Ativo Imobilizado. Receita Federal do Brasil. Disponível em: < <http://www.receita.fazenda.gov.br/pessoajuridica/dipj/2005/pergresp2005/pr360a373.htm>>. Acesso em 29 ago. 2010.

BRASIL. Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar - Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasil, set. 2009. ISSN 1517-2627.

BRASIL. Matriz Energética Nacional 2030. Ministério de Minas e Energia. Brasil, nov. 2007.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart; ALLEN, Franklin. Princípios de Finanças Corporativas. MC Graw-Hill Interamericana do Brasil. São Paulo, 2008.

CAMARGO, C. A. Coord. Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Álcool. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, IPT Publicação, 1990.

CANILHA, L.; MILAGRES, A. M. F.; SILVA, S. S.; SILVA, J. B. A.; FELIPE, M. G. A.; ROCHA, G. J. M.; FERRAZ, A.; CARVALHO, W. Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré-hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de “desconstrução” da fibra vegetal. Revista Analytica, n. 44, p. 48-54, dezembro 2009/janeiro 2010.

COPERSUCAR, Centro de tecnologia – caderno copersucar, série industrial n 20, revisado 1999.

DARÉ, R. M. Avaliação de coeficientes de rendimento e modelagem do processo fermentativo de produção de etanol. São Carlos, SP, UFSCar, 67 p. (Dissertação), 2008.

ETHANOL STATISTICS, Cellulosic Ethanol 2008-2020, vol. 1, n. 1, p. 23, março 2008.

EXCHANGE, Intercontinental. Sugar No. 11 Futures. The ICE. Disponível em: <<https://www.theice.com/productguide/ProductDetails.shtml?specId=23>>. Acesso em 05 jul. 2010.

FERNANDES, César A.B.A.; Gerenciamento de Riscos em Projetos: Como Usar o Microsoft Excel Para Realizar a Simulação de Monte Carlo. Disponível em: <<http://www.bbbrothers.com.br/scripts/Artigos/MonteCarloExcel.pdf>>. Acesso em 29 ago. 2010.

GENENCOR®. Ahead of the Curve. ACCELLERASE™ 1000 Enzyme Can Fast-Forward Biomass Process Development and Shorten the Time to Commercial Scale, outubro 2007.

GOLDEMBERG, José. O Mundo Debate os Biocombustíveis. Revista Oficial Ethanol Summit 2009. Camarinha Editora, 2009.

GOULD, J.M. Alkaline peroxide delignification of agricultural residues to enhance enzymatic saccharification. *Biotechnology and Bioengineering*. 26, 46-52, 1984.

HAHN-HÄGERDAL, B., GALBE, M., GORWA-GRAUSLUND, M.F., LIDE'N, G., ZACCHI, G. "Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today", 2006.

HAMELINCK, C., HOOIJDONK, G. FAAIJ, A. "Ethanol from Lignocellulosic Biomass: Techno-economic Performance in Short-, Middle- and Long-Term". *Biomass & Bioenergy*. Vol. 28, n. 4, p. 384-410, 2005.

HAWAWINI, Gabriel; VIALLET, Claude. *Finanças para Executivos – Gestão para a Criação de Valor*. Cengage Learning. São Paulo, 2009.

HOLTZAPPLE, M.T.; HUMPHREY, A.E. The effect of organosolv pretreatment on the enzymatic hydrolysis of poplar. *Biotechnology and Bioengineering*. 26, 670–676, 1984.

IPEADATA. Taxa de câmbio comercial para venda: real (R\$) / dólar americano (US\$) – média. Instituto Nacional de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <[http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/ipeadata?SessionID=1495992516&Tick=1278699153824&VAR\\_FUNCAO=SubmeterFormulario%28%27frmMain%27%2C%27Series%3FSes%3FSessionID%3D1495992516%26Text%3DDOLAR%26Tick%3D1278699153809%27%29%3B&Mod=M](http://www.ipeadata.gov.br/ipeaweb.dll/ipeadata?SessionID=1495992516&Tick=1278699153824&VAR_FUNCAO=SubmeterFormulario%28%27frmMain%27%2C%27Series%3FSes%3FSessionID%3D1495992516%26Text%3DDOLAR%26Tick%3D1278699153809%27%29%3B&Mod=M)>. Acesso em: 09 jul. 2010.

JOHANSSON, T., KELLY, H., REDDY, A., WILLIAMS, R. *Renewable Energy: Source for Fuels and Electricity*. California: Island Press. p. 865-885, 1993.

JORGENSEN, H.; KRISTENSEN, J.B.; FELBY, C. Enzymatic conversion of lignocellulose into fermentable sugars: Challenges and opportunities. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 1, 119-134, 2007.

J.S.; R.B.. Balanço de emissões do etanol Agências do governo dos EUA e da Califórnia alertam: balanço da cana é melhor que o do milho; etanol de cana é que cumpre metas. *Inovação Unicamp*, 11 mai. 2009. Disponível em: <<http://www.inovacao.unicamp.br/report/noticias/index.php?cod=524>>. Acesso em: 04 jul. 2010.

KASSAI, José R.; CASANOVA, Sílvia P.de C.; SANTOS, Ariovaldo; ASSAF NETO, Alexandre. *Retorno de Investimento*. Editora Atlas. São Paulo, 2005.

LOPES, Cláudio Hartkopf; BORGES, Maria Teresa Ribeiro. *Introdução à Tecnologia Agroindustrial*. EdUFSCar. São Carlos, 2009.

LORA, E. E. S.; CORAL, D. D. S. O.; ROCHA, M. H. Plataformas termoquímica e bioquímica para uso da biomassa, concepção; *Rendimentos e Economia*, pg. 1-18, 2008.

LOSEKANN, Luciano; VILELA, Thaís. Frota brasileira de veículos leves: difusão dos flexíveis e do GNV, *Blog Infopetro*, 19 abr. 2010. Disponível em <<http://infopetro.wordpress.com/2010/04/19/frota-brasileira-de-veiculos-leves-difusao-dos-flexiveis-e-do-gnv/>>. Acesso em: 30 jun. 2010.

LUDOVICE, M. T. Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático. Campinas, SP, UNICAMP, 143 p. (Dissertação), 1997.

MACEDO, H. “III Workshop Tecnológico sobre: Hidrólise para Produção de Etanol”. Projeto Programa de Pesquisa em Políticas Públicas, 2008.

MEIRELLES, A. J. A. Expansão da produção de bioetanol e melhoria tecnológica da destilação alcoólica. Preparado para Workshop “Produção de Etanol”, EEL/USP, 2006.

MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y.Y.; HOLTZAPPLE, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. 96, 673–686, 2005.

MURTA, Márcio. Anfavea: Brasil ultrapassa Alemanha. *Tudo de Auto*, 09 jun. 2010. Disponível em: <<http://www.tudodeauto.com.br/Anfavea-Brasil-ultrapassa-Alemanha>>. Acesso em: 03 jul. 2010.

NASCIMENTO, D. Novas regras para a vinhaça. *Tecnologia agrícola*, [200-].

OLIVÉRIO, J.L. Seminário: Produção do Álcool de Celulose do Bagaço e Outras Matérias-Primas. São Paulo, 2007.

PANDEY, A.; SOCCOL, C.R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V.T. Biotechnological potential of agro-industrial residues: Sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*. 74, p. 69-80, 2000.

PARAJÓ, J.C.; DOMÍNGUEZ, H.; DOMÍNGUEZ, J.M. Biotechnological production of xylitol: Operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates. *Bioresource Technology*. 66, 25-40, 1998.

PORTAL EXAME. Etanol o mundo quer. O Brasil tem. Portal Exame – Negócios Economia Marketing. Disponível em: <[http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1183342333519\\_2065573016\\_9836/Etanol%20o%20mundo%20quer%20o%20Brasil%20tem.pdf](http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1183342333519_2065573016_9836/Etanol%20o%20mundo%20quer%20o%20Brasil%20tem.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2.010.

RAMIREZ, R. Q. Hidrólise da biomassa lignocelulósica. In: CORTEZ, L. A. B. Bioetanol de cana-de-açúcar. P&D para produtividade e sustentabilidade. UNICAMP: Blucker, p. 717-731, 2010.

RAMOS, H. A.; CECHINEL, C. A. Vinhoto: Nova perspectiva. *Diálogos & Ciência – Revista da rede de ensino FTC*. Ano III, n. 11, dez. 2009.

RAMOS, L.P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. *Química Nova*. 26, 863-871, 2003.

RODRIGUES, Azelma. BC eleva projeção para crescimento do PIB em 2010 para 7,3%. Valor On Line, 30 jun. 2010. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/bc+eleva+projecao+para+crescimento+do+pib+em+2010+para+73/n1237687813612.html>>. Acesso em: 03 jul. 2010.

SÃO PAULO (Estado). Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2008.

SCHELL, D.J.; TORGET, R.; POWER, A.; WALTER, P.J.; GROHMANN, K.; HINMAN, N.D. A technical and economic analysis of acid-catalyzed steam explosion and dilute sulfuric acid pretreatments using wheat straw or aspen wood chips. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 28/29, 87-97, 1991.

SHULLER, M.L.; KARGIL, F. Bioprocess Engineering – Basic Concepts, Anaerobic Process – Ethanol Production, 17(2): 515 – 518, 2002.

SILVA, S.S.; MATOS, Z.R.; CARVALHO, W. Effects of sulfuric acid loading and residence time on the composition of sugarcane bagasse hydrolysate and its use as a source of xylose for xylitol bioproduction. *Biotechnology Progress*. 21, 1449-1452, 2005.

SIMÕES, J. Inovação Unicamp. Pesquisa da UFRJ seleciona melhores organismos para hidrólise enzimática do bagaço da cana-de-açúcar, 2007. Disponível em: <http://inovabrasil.blogspot.com/2007/07/pesquisa-da-ufrj-seleciona-melhores.html>. Acesso em: 29 set. 2010.

SIVERS, M, ZACCHI, G. “Ethanol from Lignocellulosics: A Review of the Economy”. *Bioresource Technology*, vol. 56, n. 2-3, p. 131-140. 1996.

SUGARCANE Blog. Disponível em: <<http://sugarcaneblog.files.wordpress.com/2010/02/rfs21.png>>. Acesso em: 03 jul. 2010.

SUN, Y.; CHENG, J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: A review. *Bioresource Technology*. v.83, p.1-11, 2002.

TOLMASQUIM, Maurício T. Destaques do Novo Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 - PDE 2019. Empresa de Pesquisa Energética. Brasil, mai. 2010.

UNICA. Dados e Cotações Estatísticas. União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/>>. Acesso em: 09 jul. 2010.

US, Department of Energy Genome Programs <<http://genomics.energy.gov/gallery/brc2009/view.np/view-08.html>>. Acesso em 5 out. 2010.

USA. World Economic and Financial Surveys – World Economic Outlook –April 2010. IMF – International Monetary Fund. USA, apr. 2010.

USA. Renewable Fuel Standard Program (RFS2) - Regulatory Impact Analysis – EPA 420-R-10-06. EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USA, feb. 2010.

WYMAN, C.E.; DALE, B.E.; ELANDER, R.T.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M.R.; LEE, Y.Y. Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies. *Bioresource Technology*. 96, 1959–1966, 2005.

ZHANG, Y.H.P.; LYND, L.R. Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed systems. *Biotechnology and Bioengineering*. 88, 797-824, 2004.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)



[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)