



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL  
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA - IQB  
QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL



PEDRO CORREIA VIEIRA

O ETANOL E SUA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO BRASIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MACEIÓ, AL

2021

PEDRO CORREIA VIEIRA

O ETANOL E SUA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Química Tecnológica e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Jose Edmundo Accioly de Souza

MACEIÓ, AL  
2021

**Catálogo na fonte Universidade  
Federal de Alagoas Biblioteca  
Central**

**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

V658e Vieira, Pedro Correia

O etanol e sua evolução tecnológica no Brasil / Pedro Correia Vieira. –  
2021.

65 f. : il. color.

Orientador: José Edmundo Accioly de Souza.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química Tecnológica  
e Industrial) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e  
Biotecnologia. Maceió, 2021.

Bibliografia: f. 53-65.

1. Etanol. 2. Energia renovável. 3. Inovações tecnológicas. I. Título.

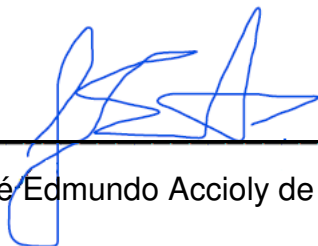
CDU: 66

## FOLHA DE APROVAÇÃO

PEDRO CORREIA VIEIRA

O ETANOL E SUA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA NO BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Química Tecnológica e Industrial.



---

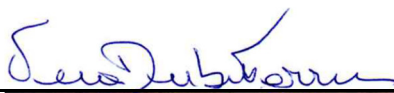
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> José Edmundo Accioly de Souza (Orientador)

### Banca examinadora:



---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Sônia Salgueiro Machado, IQB - UFAL  
(SIAPE: 1121008)



---

Prof<sup>a</sup> Mestre Vera Lucia Dubeux Tôrres, CECA - UFAL

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me proporcionar saúde e capacidade para chegar até aqui. Aos meus pais, Claudia e Jorge, que sempre estiveram ao meu lado em toda decisão que eu tomava, além de vibrar com cada conquista minha. A toda minha família, tias, primos, irmãos que contribuíram nessa jornada.

A minha namorada, Milleny, por ter paciência para me aturar, por está presente nos momentos difíceis, fazendo-os se tornar alegres.

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Dr Jose Edmundo Accioly de Souza, por me auxiliar na construção desse TCC.

Aos meus amigos de graduação, ao grupo Mendeleev e principalmente ao melhor grupo de estudos, risadas, aprendizado de vida e folia, os QUIgostosxs: Maysa, Thiago, Lavínia, Anna Paula, Mariana e, principalmente a Laís Sarmento, que em momentos difíceis estava do meu lado para me orientar durante toda a graduação.

Ao Lab de físico-química, onde fiz várias amizades e agradeço por toda assistência que eles me proporcionaram. Obrigado tia Ju, Sheylinha, Sannyele, Julia, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Valéria e PH.

Ao Instituto de Química e Biotecnologia, e todo corpo docente.

A UFAL, pela oportunidade de estudo.

## RESUMO

Diante da globalização e da insaciável busca por matrizes energéticas para suprir as necessidades da população mundial, acarretou em buscar por novos recursos energéticos menos prejudiciais ao meio ambiente. Diante disso, comparado com os combustíveis fósseis, o etanol apresentou vantagem por ser oriundo de fonte renovável, além de contribuir para a redução das emissões de carbono. Este biocombustível vem se tornando cada vez mais atrativo para contribuir com o cenário energético brasileiro. Os estudos com etanol começaram quando o açúcar perdia valor de mercado, iniciando-se vários planos do governo para desenvolvê-lo como alternativa energética renovável com finalidade de substituir o petróleo. No período de 1975 a 2000 surgiram várias ramificações de pesquisas para o desenvolvimento do setor sucroalcooleiro, desde o cultivo da cana-de-açúcar no campo à introdução de motores movidos a álcool, os flex-fuel. Depois dos anos 2000, com a compreensão dos conhecimentos básicos, o setor buscou inovar em suas pesquisas para otimizar o processo e reduzir os custos de produção, além de gerar lucro com o reaproveitamento dos rejeitos originados pelas indústrias. Perante o exposto, o papel das universidades e o investimento realizado pelo governo e empresas tornou o Brasil pioneiro e colocando entre os líderes nesse ramo do mercado. Sendo assim, utilizando a metodologia científica de revisão bibliográfica, este trabalho teve como objetivo relatar a evolução tecnológica do etanol no Brasil, os aspectos relacionados ao estágio vigente das inovações tecnológicas, as perspectivas do setor sucroalcooleiro e o papel da universidade nessa evolução.

Palavras chave: etanol, inovações, energias renováveis.

## **ABSTRACT**

Due to globalization and the continuing search for energy matrices to supply the needs of the world population, has led to foccus on new energy resources that are less harmful to the environment. Therefore, compared to fossil fuels, ethanol has showed an advantage because it comes from a renewable source, in addition to contributing to the reduction of carbon emissions. This biofuel has become extremely attractive to contribute to the Brazilian energy scenario. The studies with ethanol started when sugar lost market value, and several government started research projects in ordem to develop it as a renewable energy alternative with purpose of replacing oil. Between 1975 and 2000, several research ramifications emerged for the development of the sugar and alcohol sector, since the cultivation of sugarcane in the field to the introduction of engines powered by alcohol, the flex-fuel. After the 2000s, with the understanding of basic knowledge, the sector search News ways for process optimization and innovation combining costs reduction and wates reuse. In light of this, the role of the universities and the investment made by the government and companies became Brazil a world player and pioner in this market branch. Therefore, using the scientific methodology of bibliographic review, this work aimed to report the technological evolution of ethanol in Brazil, the aspects related to the current stage of technological innovations, the perspectives of the sugar and alcohol sector and the role of the university in this evolution.

Key-words: ethanol, innovations, renawable energy

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Oferta interna de energia no Brasil.....	14
Figura 2: Produção mundial de biocombustíveis - 2009 a 2019.....	15
Figura 3: Tipos de moendas de 3 e 4 rolos .....	22
Figura 4: Processo de extração do caldo com embebição composta .....	23
Figura 5: Estrutura geral da parede celular vegetal.....	34
Figura 6: Processo simplificado da produção do etanol de 2 <sup>a</sup> geração.....	35
Figura 7: Peneira molecular de alumínio-silicato.....	44
Figura 8: Crescimento da produtividade e redução dos custos de produção da cana-de-açúcar, etanol e açúcar no Brasil, de 1975 a 2008 .....	48
Figura 9: Quantidade de auxílios à pesquisa/bolsas iniciados por ano. ....	49
Figura 10: Processo integrado para Produção de Etanol de 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> Geração e produtos químicos com Emissão zero de CO <sub>2</sub> - Projeto temático Fapesp/BIOEN.....	50



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e desvantagens apresentados pela biodigestão da vinhaça ...	20
Tabela 2: Métodos de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos.....	37
Tabela 3: Principais pré-tratamento de material lignocelulósico e suas descrições..	38
Tabela 4: Alguns tipos de pré-tratamentos de material lignocelulósico e suas características, vantagens e desvantagens .....	39
Tabela 5: Comparação entre as opções para a hidrólise da celulose.....	40
Tabela 6: Resultados da evolução tecnológica no Brasil .....	46
Tabela 7: Financiamento Fapesp-BIOEN em números.....	49

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	12
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	13
<b>4. EXPLANAR O CONTEXTO ENERGÉTICO E O INÍCIO DO ETANOL NO CENÁRIO BRASILEIRO</b> .....	14
<b>5. A TRAJETÓRIA DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DO ETANOL NO BRASIL DE 1975 A 2000</b> .....	18
5.1. A introdução em larga escala de variedades de cana desenvolvidas no Brasil .....	18
5.2 O desenvolvimento do uso integral da vinhaça na fertirrigação e posteriormente a Biodigestão .....	19
5.3 Controles biológicos na produção da cana .....	21
5.4 Desenvolvimento do sistema de moagem com quatro rolos .....	22
5.6 Aumento na produção de energia elétrica na indústria (autossuficiência) .....	24
5.7 Utilização do Etanol na Produção de Polímeros: ETENO/EDC/MVC/PVC .....	25
5.8 Otimização do corte, carregamento e transporte da cana .....	26
5.9 Avanço em automação industrial .....	28
5.10 Obtenção de excedentes de energia elétrica e venda para a concessionária .....	29
5.11 A introdução dos motores flex-fuel .....	31
<b>6. PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS ANOS, APRESENTANDO AS POSSIBILIDADES DE AINDA SE OBTEREM GRANDES AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO E NOS USOS DO ETANOL</b> .....	32
6.1 Desenvolvimentos de novas variedades com alto teor de fibra (cana energia) .....	32
6.2 Hidrólise da biomassa: permite a conversão da celulose em açúcares e a partir daí a produção de etanol e outros produtos .....	33
6.3 Etanol celulósico, etanol de 2ª geração ou 2G: utilização da palha ou do bagaço da cana .....	41
6.4 Utilização de peneiras moleculares para desidratação do Álcool .....	43
<b>7. O PAPEL DA UNIVERSIDADE NA EVOLUÇÃO DO ETANOL NO BRASIL</b> .....	46

<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>9. REFERÊNCIA .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A instabilidade política dos países produtores de petróleo, preocupações com o contexto energético mundial, esgotamento de fontes de combustíveis fósseis aliados aos efeitos negativos derivados da sua utilização, e a crescente demanda de energia, são os principais fatores que têm motivado a busca por fontes renováveis de energia.

Devido à escassez e a alta nos preços dos combustíveis fósseis e a consequente poluição ocasionada por eles, o etanol vem sendo considerado como alternativa para minimizar os problemas ambientais e energéticos no mundo. Comparado aos combustíveis fósseis, o etanol apresenta a vantagem de ser oriundo de fonte renovável de energia, e de contribuir para a redução das emissões de dióxido de carbono (PACHECO, 2011).

Nessa coerência, no início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira: em 1925, surgiu a primeira experiência brasileira com etanol combustível; em 1933, no governo Vargas foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool – IAA, onde tornava obrigatória a mistura de etanol na gasolina; em 1975, foi lançado o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), cujo objetivo era a redução da dependência nacional em relação ao petróleo importado. No começo do século XXI, o Brasil possuía um setor sucroalcooleiro muito forte e competitivo, isso graças ao constante esforço de garantir o mercado interno do etanol e de expandir o mercado de açúcar. Entretanto, a partir de 2003, com os veículos *Flex-fuel*, o setor ganhou um novo impulso alcançando autonomia quanto a combustíveis líquidos (LEITE *et al*, 2007).

Convencionalmente, a produção deste biocombustível pode ser, atualmente, dividida de três formas de obtenção, sendo classificado como: etanol de primeira geração (etanol 1G), etanol de segunda geração (etanol 2G) e etanol de terceira geração (etanol 3G).

A produção do etanol de primeira geração baseia-se no uso de cana-de-açúcar, beterraba, trigo, mandioca e milho por meio da fermentação do açúcar contido nessas plantas. O etanol de segunda geração, por sua vez, tem como matéria-prima a lignocelulose, componente que se encontra presente na constituição de resíduos de origem vegetal, que incluem vantagens ambientais e econômicas ao se investir neste biocombustível (CARVALHO *et al.*, 2013) que, para o Brasil, a produção do etanol 2G

representa a possibilidade de aumentar a produção de etanol sem expandir a área plantada em cana-de-açúcar, por meio do bagaço e palha da cana (JARDINE *et al.*, 2009).

O etanol de terceira geração vem sendo cada vez mais estudado com o intuito de incrementar sua tecnologia. Ele provém da utilização da utilização da biomassa de algas verdes que sob condições anaeróbicas e bactérias púrpuras sulfurosas utilizam vias enzimáticas para a produção de etanol e H<sub>2</sub> (KOSOUROV *et al.*, 2003; PHILIPPS *et al.*, 2011 apud COSTA, 2015). Outra forma, também em estudo é a espécie *Chlamydomonas reinhardtii*, na qual a produção de etanol ocorre a partir do metabolismo do amido acumulado durante a fotossíntese (COSTA *et al.*, 2014 a).

Uma perspectiva para o futuro do setor sucroalcooleiro e energético no Brasil vem com a criação da Política Nacional de Biocombustíveis (MME, 2017), o RENOVABIO, tendo o potencial de fazer com que o Brasil lidere novamente o mercado de biocombustíveis, reduza a importação de combustíveis fósseis, diferindo-se das políticas de outros países, voltadas ao aumento de biocombustíveis, principalmente quanto à transparência na comercialização das certificações devido à inclusão da bolsa de valores. A premiação por eficiência estimularia o aumento de tecnologia para que, constantemente, se obtivesse ou mantivesse melhores classificações, não possuindo, assim, diferenciação entre os tipos de biocombustíveis.

No Brasil, no que tange ao setor sucroalcooleiro, o uso de novas tecnologias à atividade de cultivo e transformação industrial da cana-de-açúcar tem se dado de forma crescente e irreversível, abrindo espaço para um grande questionamento: “quais são as possibilidades de ainda se obterem grandes avanços tecnológicos na produção e nos usos do etanol nos próximos anos?”. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo relatar a evolução tecnológica do etanol no Brasil, os aspectos relacionados ao estágio vigente das inovações tecnológicas, os fatores motivadores para a adoção das mesmas e as perspectivas do setor sucroalcooleiro, utilizando a metodologia de revisão bibliográfica.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Relatar, através de uma revisão bibliográfica, como ocorreu a evolução e as inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro no Brasil.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar o contexto energético e o início do etanol no cenário brasileiro;
- Descrever a trajetória da inovação tecnológica para o etanol no Brasil;
- Ilustrar as perspectivas para os próximos anos, apresentando as possibilidades de ainda se obterem grandes avanços tecnológicos na produção e nos usos do etanol;
- Explicitar o papel da Universidade neste contexto.

### **3. METODOLOGIA**

A revisão bibliográfica trata-se de uma análise crítica das publicações decorrentes de uma determinada área de conhecimento, buscando explicar e discutir um tema com base em publicações (livros, revistas, periódicos, etc) afim de aprimorar e analisar dados científicos sobre determinado tema (TRENTINI e PAIM, 1999; MARTINS, 2001).

A finalidade desse tipo de pesquisa é proporcionar o pesquisador um contato direto com tudo que foi estudado sobre a área de interesse (MARCANI e LAKATOS, 2007). Dessa forma o escritor poderá rescrever com uma nova visão sobre o que já foi publicado sem modificar a ideia do autor principal.

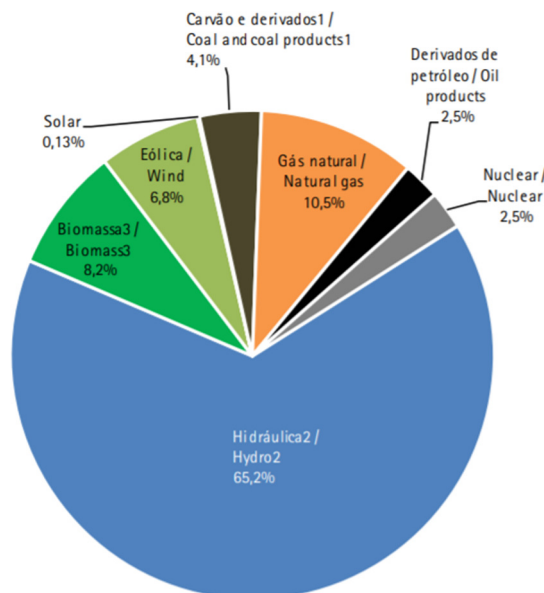
O presente trabalho é resultado de uma pesquisa exploratória, utilizando a metodologia de pesquisa bibliográfica, onde foi elaborada a partir de materiais já publicados, como livros, artigos, teses e periódicos.

#### 4. EXPLANAR O CONTEXTO ENERGÉTICO E O INÍCIO DO ETANOL NO CENÁRIO BRASILEIRO

Um dos segmentos que mais tem recebido destaque e relevância no que tange à sustentabilidade é a questão energética mundial. Com o aumento da população, a demanda de energia torna-se cada vez maior. Em 2014, no Brasil, a empresa de pesquisa energética publicou no balanço energético nacional que o consumo total de energia (todas energias utilizadas além da energia elétrica) cresceu de 219.498 Tep (toneladas equivalentes de petróleo) em 2004 para 282.560 Tep no ano de 2013, resultando em um acréscimo superior a 30% em nove anos (DUPONT,2015). É evidente que este crescimento não pode ser dissociado de preocupações ambientais, tendo em vista que toda essa energia é provinda de extrações e são transformadas a partir de recursos naturais (DUPONT,2015).

A partir da Figura 1, é significativo observar o avanço das fontes renováveis, a qual mostra como a oferta interna de energia no Brasil encontra-se distribuída no balanço energético do ano de 2018, ano base 2017.

**Figura 1: Oferta interna de energia no Brasil**



Notas / Notes:

1. Inclui gás de coqueria / Includes coke oven gas

2. Inclui importação de eletricidade / Includes electricity imports

3. Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações / Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

Fonte: (BRASIL, 2018).

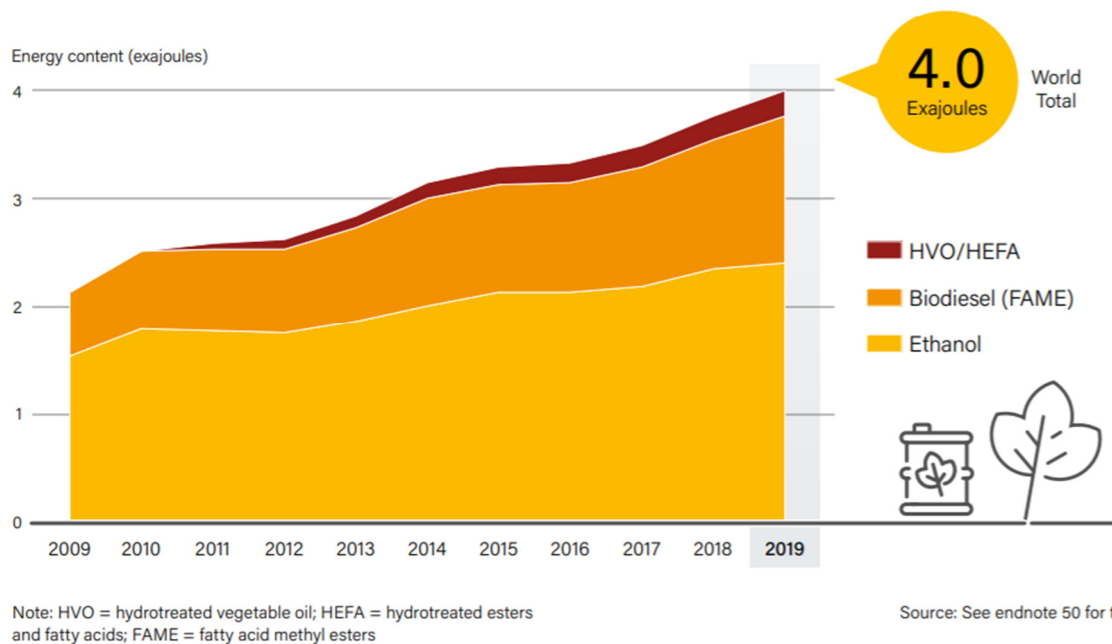


Analisando o gráfico da Figura 1, observa-se que 80,4% da oferta de energia interna de eletricidade no Brasil provém de fontes renováveis, e que a contribuição de biomassa foi maior que a dos derivados de petróleo, sendo 8,2% frente a 2,5%, respectivamente.

Com a ampla utilização de biomassa como fonte renovável de energia, estudos relacionados aos biocombustíveis vêm juntamente ganhando seu espaço.

Na Figura 2, observa-se o avanço na produção mundial de biocombustíveis, principalmente os mais utilizados, dentre eles: o Óleo vegetal hidratado, biodiesel e etanol, do ano de 2009 até 2019.

**Figura 2: Produção mundial de biocombustíveis - 2009 a 2019**



Fonte: (REN21,2020).

Analisando o gráfico da Figura 2, a produção de etanol global cresceu de 111 bilhões de litros em 2018 para 114 bilhões de litros em 2019, o que resulta em um acréscimo de 2%. No Brasil, a produção de etanol aumentou em 7%, chegando ao novo recorde produzindo 35.5 bilhões de litros no ano de 2019. No mesmo ano, a alta

valorização no preço do etanol estimulou a produção antes mesmo da introdução do sistema Renovabio no início de 2020.

A Política Nacional de Biocombustíveis, Renovabio, instituída pela Lei nº 13.576/2017, tem como objetivo estabelecer metas nacionais anuais para a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para o setor de combustíveis, de forma a expandir o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país (MME,2017).

O mercado do açúcar provindo da cana perdia valor no mercado externo, com isso, na década de 1920, começaram os estudos e experiências com álcool combustível. Em 1930, o governo, através do decreto nº 19.717, tornou obrigatório a adição de álcool à gasolina, inicialmente na proporção de 5%. Esse plano teve como intenção regularizar a situação do setor açucareiro que enfrentava séria crise, em que no ano de 1933, no governo de Getúlio Vargas, originou o Instituto do Açúcar e Álcool - IAA, tornando obrigatório a mistura de álcool na gasolina (CARVALHO, 2013).

Para diminuir os efeitos negativos da crise, o governo brasileiro incentivou pesquisas com o intuito de encontrar alternativa energética renovável para substituir o petróleo. Assim surgiu o Proálcool, que teve como principais objetivos: diminuir a dependência externa de combustível; economizar dívidas; interiorizar o desenvolvimento; evoluir a tecnologia nacional; proporcionar o crescimento nacional da produção de bens de capital; e gerar emprego e renda (MICHELON,*et al.*, 2008). O Proálcool foi dividido em quatro fases:

A primeira fase (1975-1979) foi marcada pela produção de álcool anidro para ser utilizado como aditivo a gasolina, reduzindo a importação de petróleo e, por outro lado, diminuindo o déficit do balanço de pagamentos do governo (MICHELON, *et al.*, 2008).

A segunda fase (1979-1986), inicia com o 2º choque do petróleo que aqueceu o preço no mercado internacional. Essa fase é marcada pela produção de álcool hidratado, para atender o consumo nascente e em ascensão dos veículos movidos exclusivamente a álcool. Durante essa fase, pode-se dizer que foi o período de consolidação e expansão do Proálcool, em que houve uma grande ampliação das destilarias anexas e marcada pelo surgimento de destilarias autônomas (MICHELON *et al.*, 2008).

A terceira fase (1986-2003) foi marcada pela desaceleração e crise do Proálcool, oriundos de fatores como a estabilização e queda do preço do petróleo e

ao aumento do preço do açúcar no mercado internacional. Além disso, o governo priorizou o controle inflacionário e o déficit para estabilizar a economia, o que levou o programa nessa fase a se deteriorar, gerando uma crise de abastecimento em 1989. Em 1990 o governo promoveu a desregulamentação do mercado, liberando os preços para a livre concorrência. O setor sucroalcooleiro, através da formação de entidades como ÚNICA (União da Agroindústria Canavieira de São Paulo) e SUCROÁLCOOL (Associação Paulista da Agroindústria Sucroalcooleira), procuraram se organizar e buscar formas para dar novo fôlego ao programa e setor (MICHELON *et al.*, 2008).

A última fase do Proálcool, após passar por uma ascensão e declínio, parecia destinado ao fracasso. O programa recebe um novo incentivo, derivado do aumento do preço do petróleo no mercado internacional. Esse alta se deve a conscientização do Protocolo de Kyoto (1997) cujo objetivo principal é conseguir que os países desenvolvidos reduzam em 5% a emissão de gases causadores do efeito estufa. Foi lançado em março de 2003 no mercado brasileiro o veículo biocombustível, movido tanto a álcool como a gasolina, tecnologia conhecida como *flexfuel*, que obteve uma aceitação dos consumidores impulsionando a demanda interna por álcool (MICHELON *et al.*, 2008).

O Brasil apresenta-se, atualmente, como o maior produtor de cana-de-açúcar, principalmente voltado na produção de etanol e açúcar. Além da produção, as usinas sucroalcooleiras têm buscado melhorar sua eficiência na geração de energia elétrica, ajudando a ampliar a sustentabilidade do setor, diminuindo os custos e aumentando a oferta (CONAB, 2020).

Para a produção de cana-de-açúcar na safra 2020/21 espera-se chegar a quantidade de 665.105 mil toneladas, tendo um aumento de 3,5% em comparação à safra anterior. Neste ano, para absorver os impactos da crise que atingiu o mercado nacional de biocombustíveis, causado pela desvalorização do etanol, foi necessário um aumento da produção de açúcar. De acordo com a estimativa realizada pela Conab, nesta temporada a produção de açúcar teve um aumento de 40,4% e a produção de etanol reduziu em 7,9% com base na safra anterior. Sendo produzido 32,9 bilhões de etanol, em que 22,4 bilhões do etanol hidratado e 10,5 bilhões de etanol anidro (CONAB, 2020).

## **5. A TRAJETÓRIA DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DO ETANOL NO BRASIL DE 1975 A 2000**

### **5.1. A introdução em larga escala de variedades de cana desenvolvidas no Brasil**

Entre 1959 a 1969, foram fundadas três entidades que auxiliaram no desenvolvimento das variedades de cana de açúcar no Brasil, dentre elas: a Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool (Copersucar), Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB) e o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). A Copersucar teve como objetivo de organizar a comercialização do álcool e açúcar, enquanto a STAB, que foi fundada por 83 profissionais do setor, teve como ênfase buscar a troca de informações inovadoras com procedimentos entre as regiões produtoras de cana-de-açúcar, no Brasil e no exterior abrangendo da lavoura a indústria. Com a criação do CTC, trouxe ao setor um novo polo de progresso que foi sustentado pelas empresas sucroalcooleiras. Em 1979, afim de consolidá-lo como referência mundial em pesquisas, tecnologia de produção e transformação industrial de cana-de-açúcar, a Copersucar convidou Manoel Sobral para assumir a presidência (GORDINHO, 2010).

Segundo Werther Annicchino (2003), a Copersucar teve um papel fundamental no desenvolvimento de tecnologia, chegando a investir US\$ 24 milhões por ano no Centro de Tecnologia. Esse investimento teve como objetivo o desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, com a importação de tecnologia e o treinamento de pessoal. Como resultado, em termos de extração, obteve-se o que existe de mais moderno no mundo.

No setor tiveram vários programas de pesquisas: em nível estadual, no Instituto Agrônomo de Campinas e no CTC, e, em nível federal, foi criado o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar - Planalsucar pelo Pratini de Moraes, ministro de Indústria e Comércio. O Planalsucar teve como finalidade principal dar sustentação tecnológica para o setor canavieiro em todo o país. Além disso, foram criadas estações experimentais em Carpina (PE), Rio Largo (AL), Campos (RJ) e Araras (SP), que trabalhavam em cooperação para desenvolver novas variedades de cana, chamadas RB (República do Brasil), onde substituíram variedades menos eficientes providas da Argentina. Os Recursos disponíveis no IAA auxiliaram na

criação do Programa de Financiamento e da Modernização do Setor, levando investimento na qualidade de produção e na modernização das instalações das usinas, qualificando a agroindústria. Nessa mesma época, esta foi a principal alavanca para o aumento da produtividade de álcool no país. As diversidades de espécies de cana plantadas necessitavam cada vez menos de insumos químicos, tendo um menor impacto ambiental, com isso, a possibilidade do combustível verde tornava-se cada vez mais real (NATALE NETTO, 2007).

## 5.2 O desenvolvimento do uso integral da vinhaça na fertirrigação e posteriormente a Biodigestão

A vinhaça, resíduo líquido proveniente da destilação de uma solução alcoólica chamada vinho obtido no processo de fermentação para produção do álcool, consiste em um efluente líquido rico em matéria orgânica e potássio, com significativos teores de cálcio, magnésio, enxofre e outros minerais em pequena quantidade. Trata-se de uma suspensão de sólidos orgânicos e minerais, com elevadas DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Biológica de Oxigênio), de onde vem seu grande potencial poluidor (PINTO, 2000).

No final da década de 70, a vinhaça era lançada diretamente em corpos d'água, em que trazia impactos negativos para a comunidade aquática desses habitats quanto para a população ribeirinha que sofriam com a deterioração da qualidade da água para usos diretos e indiretos. Advindo desse problema, gerou uma grande preocupação aos impactos do uso da vinhaça no ambiente, onde foi instituído em 28 de fevereiro de 1967, o Decreto lei nº 303 que proibiu a disposição da vinhaça nos rios, lagos e cursos de água (SANTA CRUZ et al, 2013). Após o decreto, esse resíduo começou a ser destinado para as áreas de sacrifício que eram áreas ditas de inundação, onde se formavam extensos alagados para permitir sua infiltração no terreno, sem nenhum controle, indisponibilizando o solo para usos futuros além de ocasionar a poluição do lençol freático (ANDRADE, 2009).

Com a proibição do despejo nos cursos de água, a perda contínua das áreas de sacrifício e o aumento excessivo no volume de vinhaça produzido, outra forma para reutilização desta iniciou na década de 70 com a fertirrigação (SANTA CRUZ et al, 2013).

Na fertirrigação, a disposição da vinhaça é realizada diretamente no solo sem nenhuma forma de pré-tratamento. Os benefícios advindos dela são tanto diretos, através da redução no custo com a adubação, quanto indiretos, aumentando a fertilidade natural dos solos. Segundo Andrade (2009) o uso da vinhaça repõe ao solo os nutrientes que as plantas dele retiram, aumenta a produtividade agrícola, eleva o pH do solo, aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes e imobiliza outros, eleva a população microbiana, o poder de retenção de água e melhora a estrutura física do solo.

A digestão anaeróbica da vinhaça, denominada de “tecnologia limpa”, contribui diretamente para o desenvolvimento sustentável, já que contribui para as questões ambientais, diminuindo a contaminação do lençol freático e do solo diferente da fertirrigação, que com o uso excessivo acarreta na salinização do mesmo. Em relação as questões econômicas, acarreta na produção de biogás que poderá gerar energia térmica auxiliando no processo de concentração da vinhaça in natura (viabilizando o transporte de longas distancias), no procedimento de secar leveduras afim de ser comercializadas a outras usinas, bem como na produção de energia elétrica. E por fim, o biofertilizante que contém características físicas-químicas ideais para o solo em substituição a vinhaça in natura (SOUZA et al., 1992).

**Tabela 1: Vantagens e desvantagens apresentados pela biodigestão da vinhaça**

<b>VANTAGENS</b>	<b>DESvantagens</b>
Baixo consumo de energia comparado com sistemas aeróbicos	Maior tempo de detenção comparado com sistemas aeróbicos
Menor produção de lodo	Produção de Gases com odores desagradáveis e corrosivos
Menor custo de tratamento	
O sistema suporta elevadas concentrações de DBO	
Produção de biogás possuindo finalidades econômicas e energéticas	
Garante uma maior sustentabilidade ambiental ao processo	

Fonte: Adaptado de CORTEZ et al., 2007

Apesar da biodigestão da vinhaça ser uma fonte de energia renovável, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais, energéticos e sociais, alguns fatores como visto anteriormente, ainda a impedem de ser amplamente utilizada e conseqüentemente minimiza a possibilidade de um maior padrão de sustentabilidade ao setor, em vistas de utilização de mais recursos naturais ao invés da utilização de subprodutos decorrentes dessa tecnologia (OLIVEIRA et al., 2000).

### 5.3 Controles biológicos na produção da cana

A cana-de-açúcar é a cultura em que mais se aplica o controle biológico artificial, onde laboratórios modernos locais mantêm a criação de moscas da família Thachinidae e da vespinha *Cotesia flavipes* para controle da lavoura. O controle biológico utilizado consiste na liberação de parasitóides ou predadores após sua criação e multiplicação em massa nesses laboratórios visando rapidamente diminuir a população da praga propiciando seu equilíbrio, essa técnica de ação rápida é bastante semelhante a inseticidas convencionais (GALLO, 2002).

Dentro das pragas que atingem essa cultura, temos como principais a broca da cana-de-açúcar, cigarrinhas das raízes, cupins, *migdolus*, *Sphenophoruslevis*, formigas e largatas, sendo a broca da cana (*Diatraea saccharalis*) é localizada amplamente distribuída em todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil (DINARDO-MIRANDA et al, 2008).

A partir disso, os primeiros trabalhos com a broca da cana-de-açúcar no Brasil iniciaram-se em 1973 pelo IAA/PLANALSUCAR e tinham como um dos objetivos, explorar e conhecer quais eram os inimigos naturais que poderiam ser utilizados no controle biológico. As pesquisas foram iniciadas com as espécies *Lixophaga diatraeae*, originária de Cuba e as espécies nativas *Metogonys tilumminense* e *Paratheresia claripalpis* (PARRA et al, 2002; BOTELHO, 1992).

Após o emprego desses trabalhos na lavoura não se obteve o resultado esperado, foi então que em 1976 começaram estudos com a vespa *Cotesia flavipes* com linhagens provenientes do Paquistão e da Índia, onde o clima semelhante ao estado de São Paulo (BOTELHO, 1992). Com a introdução de *Cotesia flavipes* entre os anos de 1980 e 2002 a intensidade de infestação desta praga regrediu de 11% para 2,8%. No mesmo período foram liberados 14,8 bilhões de adultos em 2,44

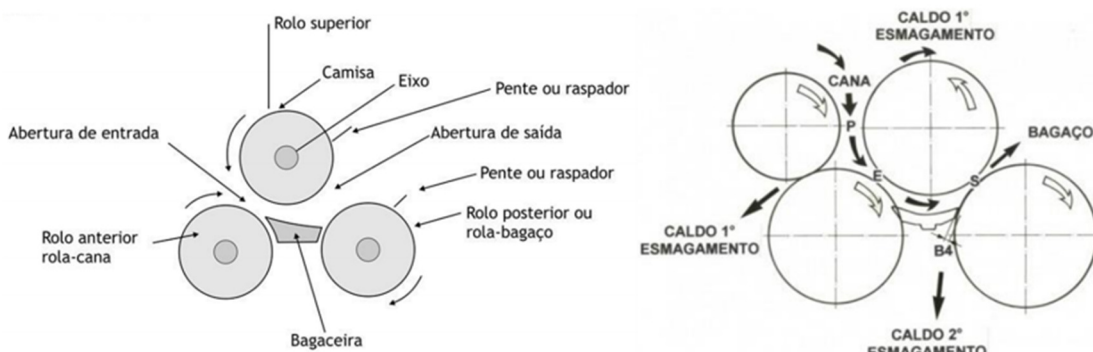
milhões de hectares a um custo de R\$ 7,14 por hectare implicando um custo de R\$ 16,7 milhões gerando uma economia de R\$ 88,4 milhões, pois não foram aplicados mais de 700 mil litros de inseticidas para o controle da Broca da cana-de-açúcar (POLANCZYK et al, 2004).

Logo, os usos de diferentes métodos de controle biológico empregados na cultura da cana-de-açúcar são cada vez mais crescentes possuindo a particularidade de reduzir principalmente o impacto ambiental por meio da preservação de inimigos naturais o que resulta a baixos ou quase nulos os casos de resistências de pragas. Com o passar dos anos cresce cada vez mais as pesquisas com controle biológico surgindo excelentes contribuições no controle de pragas sem agressão do meio ambiente. Além do uso do controle biológico propiciar incremento da produção durante todo o cultivo da cana, ele ainda possui um excelente custo benefício, acrescentando-se ainda o equilíbrio ambiental que o acompanhará durante alguns anos após a adoção deste manejo (CONCEIÇÃO et al, 2011).

#### 5.4 Desenvolvimento do sistema de moagem com quatro rolos.

Antes da utilização do sistema de moagem com quatro e cinco rolos, o terno de uma moenda clássica era constituída de três cilindros ranhurados, existindo dois no plano inferior e um terceiro localizado no intermédio superior a eles, tendo como objetivo a triangulação propiciando que a matéria prima seja espremida duas vezes, ilustrado na Figura 3 (STUPIELLO, 1987).

**Figura 3: Tipos de moendas de 3 e 4 rolos**

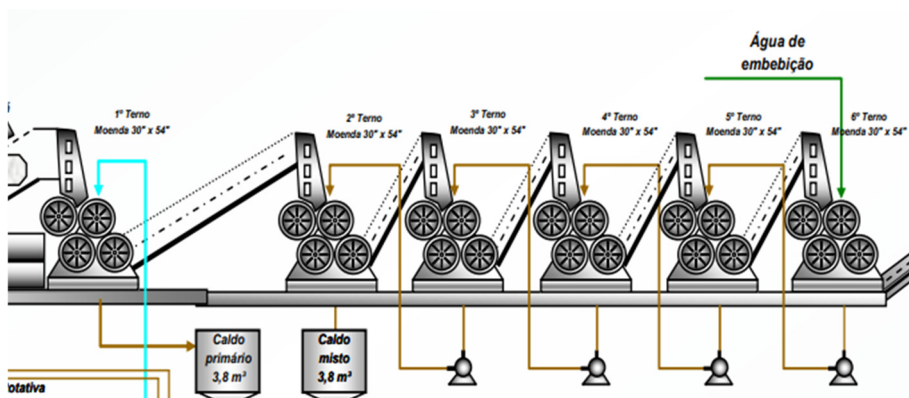




Fonte: Extração do caldo de cana-de-açúcar – moagem e difusão -; Dr<sup>a</sup> Santa Helena da Cruz, 2017.

Após diversas experimentações realizadas possibilitou alcançar uma conformação sequencial de operação onde permitiu a extração do caldo na moagem de 93% a 96%. Esta é composta inicialmente por uma etapa de preparação da cana, onde passa por picadores e desfibriladores, e posteriormente a cana adentra em uma etapa de esmagamento composta de seis ternos dotados de rolos complementares de pressão e repressão (press-roller e top-roller) (PARAZZI et al, 1981). Almejado atingir a máxima extração da sacarose, foi utilizada a embebição completa e composta entre os ternos, nesse tipo de embebição a água é injetada na camada de cana entre os dois últimos ternos e o caldo de cada terno é injetado antes do terno anterior até o segundo terno. Em geral, uma usina padrão possui em sua linha de extração uma sequência entre cinco a seis ternos de moenda interligados, conforme mostrado na Figura 4 (STUPIELLO, 1987).

**Figura 4: Processo de extração do caldo com embebição composta**



Fonte: Extração do caldo de cana-de-açúcar – moagem e difusão -; Dr<sup>a</sup> Santa Helena da Cruz, 2017.

## 5.5 Tecnologia para operação de fermentações “abertas” de grande porte.

O início das fermentações de grande porte, eram realizadas em dornas abertas, porem tal procedimento resultou em perdas irrisórias de etanol, considerando a

quantidade produzida, contabilizando cerca de 1,5% em etanol. Afim de otimizar o processo, foram realizados estudos que visavam a utilização de dornas fechadas, em que o etanol arrastado pelo CO<sub>2</sub> na fermentação fosse conduzido para coluna de recuperação (DUARTE, LOURENÇO e RIVEIRO, 2006; SEJIMO, 2011).

## 5.6 Aumento na produção de energia elétrica na indústria (autossuficiência).

A produção simultânea de energia elétrica ou mecânica a partir de energia térmica útil de uma simples fonte de energia, como carvão, óleo, gás natural, biomassa ou solar – ou chamado cogeração – (ASHRAE, 2000), surgiu pela primeira vez no setor sucroalcooleiro na década de 1870, tendo como destaque nas aplicações em turbinas centrífugas (PELLEGRINI, 2009).

Os anos de 1980 foram marcados com a fabricação de caldeiras que operavam 300° C e 22 bar, tornando as usinas autossuficientes energeticamente, ou seja, não necessitando comprar energia elétrica ou combustível. Porém mesmo com a autossuficiência, os sistemas de cogeração ainda não propiciavam a geração de excedentes de energia (PELLEGRINI, 2009). Tendo em vista que o objetivo das usinas era obter a autossuficiência energética, até o fim da década de 90, poucas usinas conseguiam produzir e comercializar o excedente de energia elétrica (SEABRA, 2008), porém elas eram motivadas em questão de visão futurística no âmbito do mercado energético, afim de se obter ganhos financeiros (LEAL, 2006 apud ALVES, 2011).

Sendo um dos principais objetivos do setor sucroalcooleiro a produção de vapor ao menor custo possível, afim de fornecer energia motriz e calor suficiente para o processo, as caldeiras apresentavam baixa capacidade e geravam vapor com pressão entre 7 a 10 bar, conseqüentemente, a estação de geração de vapor consistia de um conjunto de caldeiras (SUZOR; BOUVET, 1991). Como as caldeiras e turbinas, em muitos casos, não atingiam a eficiência energética requerida, eram utilizados lenha ou carvão como combustível auxiliar. Com o tempo, novos geradores de vapor passaram a produzir vapor superaquecido com pressões entre 12 e 18 bar, e o uso de turbinas a vapor de contrapressão passou a ser habitual (CAMARGO et al., 1990).

No sistema de cogeração, em que a energia térmica é um rejeito, permite a classificação em topping, onde o combustível é alimentado diretamente em uma

máquina térmica, produzindo energia mecânica ou elétrica e o calor rejeitado é utilizado como calor útil (ou residual) em um processo, ou bottoming, na qual a energia térmica rejeitada de processos industriais, é aproveitada em caldeiras recuperadoras para gerar vapor, para produção de energia mecânica ou elétrica (CORREA NETO, 2001). Sendo o sistema a vapor do tipo topping mais adotados pelas usinas do setor sucroalcooleiro (ENSINAS, 2008).

### 5.7 Utilização do Etanol na Produção de Polímeros: ETENO/EDC/MVC/PVC

Em meados do ano de 1980, as empresas Halcon/Scientific Design, ICI, ABB Lummus, Petrobras, Solvay e Union Carbide projetaram e construíram plantas de eteno à base de etanol na Índia, Paquistão, Peru, Austrália e no Brasil. Em geral a capacidade de produção dessas plantas estavam na faixa de 3.000 a 30.000 ton/ano, sendo a Salgema (atual Braskem) a maior empresa operando no ramo, tendo uma capacidade de 100.000 ton/ano usadas na produção de PVC durante 1980 e 1990. Durante a crise do petróleo, onde teve uma queda em seu preço, quase todas estas plantas foram desativadas na década de 90. Existe uma unidade comercial que segue em funcionamento na Índia para produzir óxido de eteno, além desta, temos no Brasil, uma planta inaugurada em setembro de 2010 pela Braskem em Triunfo – RS, com capacidade de 200.000 ton/ano de eteno verde (MORSCHBACKER, 2008).

No processo de produção de eteno a partir do etanol necessita de duas etapas, sendo elas: a desidratação e a purificação do etanol. Para iniciar o processo de desidratação, o etanol é misturado com uma corrente pré-aquecida de vapor, a fim de obter um menor custo utiliza-se o etanol hidrato em vez do anidro. Esta mistura passa através de uma fornalha, aumentando sua temperatura a um nível desejado. Após, a corrente “etanol + vapor d’água” é inserida no reator onde dará a desidratação catalítica (BELLOLI, 2010). Uma variável crítica deste processo é a temperatura de reação, em que a conversão de etanol acima de 99% e seletividade molar de eteno entre 97 e 99% acontecem para temperaturas de entrada do reator entre 450 a 500°C. Níveis maiores de temperatura não favorecem grandes melhorias de conversão, mas em temperaturas inferiores a 350°C acarretam na formação de éter etílico, reduzindo significativamente o rendimento da reação desejada (KOCHAR, MERIMS e PADIA, 1981).

Após a reação de desidratação, segue-se para a purificação, onde o eteno bruto passa por uma sequência de operações, começando com um resfriamento rápido da corrente de reação em uma torre de quench para remover a maior parte da água formada e as substâncias condensáveis polares, como o etanol não-reagido e pequenas quantidades de acetaldeído e ácido acético. A corrente de eteno que deixa o topo da torre de *quench* é então tratada, pois existe a presença de outros contaminantes menores, a fim de se obter a pureza desejada no produto final (BELLOLI, 2010).

Em um processo preferencial para obtenção de eteno grau polímero, a corrente segue o processo de purificação entrando numa torre de lavagem com Hidróxido de sódio (NaOH) para remover o gás CO<sub>2</sub> presente e, após, passa por um leito dessecante para obtenção de eteno grau químico, com pureza acima de 99%. A última etapa de purificação consiste em fracionar esta corrente através de destilação criogênica, obtendo-se monômero grau polímero. Os efluentes gerados neste processo contêm principalmente acetaldeído, dietil éter e etanol não-reagido (MORSCHBACKER, 2008).

Uma relação importante a respeito da fabricação de eteno através da desidratação do etanol é que um processo que necessita de pouco investimento por tonelada de produto obtido, mesmo produzindo em pequena escala, em que a etapa de reação é o centro desta tecnologia. O melhoramento da conversão do etanol e da seletividade da reação gera um impacto direto sobre o rendimento, levando também, em minimizar o custo do processo. Já uma maior produtividade significa que a planta será capaz de gerar mais produto com o mesmo consumo de matéria prima (MORSCHBACKER, 2008).

## 5.8 Otimização do corte, carregamento e transporte da cana

O setor sucroenergético vem em crescimento ao longo do tempo, como resultado do aumento da demanda de açúcar, etanol e derivados (ÚNICA, 2009 apud SCHEIDL, 2012). Recorrente a isso, o processamento de insumos necessário para atender a essa demanda requer considerável movimentação de mão de obra, equipamentos e serviços, além de um gestor eficiente que certifique a execução das atividades envolvidas. Para a operação logística agrícola, responsável pelo corte,

carregamento e transporte (CCT), esse aumento de volume processado acarreta no incremento da utilização de colhedoras, tratores, caixas de transporte, caminhões e implementos, além de outros veículos de apoio, como caminhão-comboio, caminhão-pipa e caminhão-oficina. Nesse sentido, ligado ao crescimento desse volume processado, necessita também um aumento da complexidade das relações e sincronismos entre as atividades (PINHEIRO, 2018).

A colheita está presente em um conjunto de operações habitualmente classificados como CCT, em que na literatura especializada encontra-se como operação à parte das etapas agrícola e industrial. A cana após colhida, mecânica ou manualmente, necessita ser transportada para a usina em sincronia com o ritmo de moagem, afim de não faltar matéria prima na usina e que não haja ociosidade de caminhões no pátio ou a falta deles no campo. No caso, a cana-de-açúcar é perecível e não pode ser estocada por muito tempo, necessita que o CCT esteja alinhado com a moagem da usina que abastece (CONAB, 2013).

Como já mencionado, existe dois tipos de corte na colheita: o manual e o mecanizado. Na operação do corte manual, uma prática usualmente utilizada para afastar animais peçonhentos e reduzir o volume de palha, é a queima prévia da cana-de-açúcar, assim, melhorando a eficiência da colheita. Após essa etapa, os trabalhadores rurais mobilizados até as frentes de colheita amontoam para o carregamento e transporte até o caminhão. Já no corte mecanizado, a colhedora segue as linhas de cana cortando-as pela base e em sua parte superior para retirar a palha, em seguida, retalha o colmo em pedaços de 20 a 30 centímetros, que são despejados na carroceria de um veículo, podendo ser um caminhão ou trator que a acompanha na mesma velocidade. Após o carregamento, a cana é conduzida até os caminhões com maior capacidade de transporte localizados na frente de colheita, enquanto isso, um outro veículo é substituído para acompanhar a colhedora afim que está etapa não pare. Em época de safra, as usinas funcionam 24 horas por dia e a oferta de matéria-prima deve ser contínua, de modo que, em algumas situações, a colheita pode se prolongar no período noturno (PINHEIRO, 2018).

Em relação aos custos de produção, o CCT equivale cerca de 30% do valor da cana (CAIXETA-FILHO; GAMEIRO, 2001) e é de responsabilidade da usina, quando as terras são próprias ou arrendadas; quando a terra é de terceiros, então é necessário entrar em um acordo entre a usina e o fornecedor (NUNES, 2010). Têm

surgido casos em que as usinas terceirizam o CCT, deixando a aquisição de máquinas e os vínculos empregatícios a cargo da empresa contratada (PINHEIRO, 2018).

Com a evolução no setor, o corte mecanizado da cana-de-açúcar tem crescido no Brasil, principalmente na região Centro-Sul, onde obteve 71,6%, isso ocorreu em função das exigências socioambientais e da necessidade de reduzir custos de produção. Na região Norte-Nordeste, o corte mecanizado fica em torno de 13,49%, pois segundo a CONAB, é possível observar uma menor utilização desse tipo de corte, que se deve em grande medida ao excesso de mão-de-obra e as características do relevo regional. O estado de São Paulo apresenta a maior taxa de mecanização na colheita, passando dos 70%, resultado das restrições à queima no estado posta pela Lei n.º 11.241, de 19 de setembro de 2002, além de aproveitar as características do relevo ser plano (CONAB, 2013).

Portanto, a mecanização do CCT vem como um processo inovativo da atividade canavieira, em que proporciona a intensificação do ritmo de produção agroindustrial, onde ao mesmo tempo diminui os custos de produção e a dependência de mão de obra com baixa especialização (RAMÃO et al, 2007).

## 5.9 Avanço em automação industrial

A implementação do controle no processo é considerada como o principal avanço em automação industrial no setor sucroalcooleiro, tendo como vantagens a possibilidade de gerar um aumento de eficiência, produtividade e reprodutibilidade, redução de custos, melhor controle da qualidade e redução de impactos ambientais. Uma motivação gerada a partir desse avanço, é apresentado no processo fermentativo de produção do etanol, os micro-organismos, em que eles são muito sensíveis a pequenas variações ambientais. Qualquer que seja a variação na qualidade da matéria-prima utilizada, composição do meio, pH e temperatura, afetam significativamente o metabolismo, alterando assim a eficiência fermentativa e a produtividade do processo. O controle de bioprocessos tem como objetivo manter o ambiente no qual as células são cultivadas em condições adequadas para o crescimento, biossíntese e o processamento final (FARINAS et al, 2010).

O centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) divulgou em um documento uma lista de alguns tópicos considerados essenciais para o desenvolvimento da

segurança agroindustrial e do processamento industrial do etanol, dentre eles, a tecnologia de extração, fermentação e destilação; produção e uso de energia; metodologia analítica; controle ambiental (MACEDO, 2003).

O sistema automático de controles de uma planta industrial é realizado por meio da implantação de sensores e atuadores, comandados por sistemas remotos. Conforme a atuação dos sensores interligada a ação dos atuadores são transmitidos através de sinais entre um sistema supervisor e a planta. Uma planta automatizada proporciona vantagens tanto ao produtor como ao consumidor final, como redução de queixas, devoluções, reprocessamento e custos, além de oferecer um produto mais padronizado (ATALA, 2004).

Algumas técnicas utilizadas no refino do petróleo poderiam contribuir no crescimento para otimizar os processos de produção de etanol, sendo elas: sistemas de otimização de balanço termoelétrico em tempo real; técnicas de automação de projetos, com ferramentas que envolvem maquetes eletrônicas de unidades; documentação digital de sistemas; sistemas de aquisição de dados; sistemas de reconciliação de dados para fechamento de balanço de massa; controle avançado de processos, etc. Essas tecnologias podem ser incorporadas ao setor sucroalcooleiro (OLIVEIRA, 2008 apud FARINAS et al, 2010).

Em vista disso, os atuais métodos de concepção, projetos e operação das usinas devem ser refeitos, procurando introduzir à incorporação de técnicas de simulação, otimização e controle do processo. Ferramentas que permitam a implementação de metodologias de análise on-line devem ser desenvolvidas, servindo de sustentação a essa nova metodologia, de forma a garantir, afinal, uma melhor eficiência do processo do ponto de vista econômico, energético e ambiental (FARINAS et al, 2010).

#### 5.10 Obtenção de excedentes de energia elétrica e venda para a concessionária

No tópico 5.6 foi retratado sobre a autossuficiência das usinas sucroalcooleiras. Com o avanço da tecnologia de co-geração, as usinas buscavam produzir energia elétrica em uma quantidade superior à que necessitava, afim de adentrar no mercado para vender o excedente obtido.

Contudo a expansão do volume de energia co-gerada pelo setor sucroalcooleiro carece uma discussão sobre o custo dessa tecnologia e o quanto será

necessário investir. Segundo a ELETROBRÁS/UFRJ (2001), tendo em vista que o setor sucroalcooleiro apresenta firmas bastantes diversificadas em sua estrutura de custos, os valores de investimentos necessário para a expansão da geração variam entre R\$ 600 e R\$ 2,5 mil por MW, de acordo com o nível tecnológico adotado. Em comparação aos investimentos em hidrelétricas e em várias termelétricas, essa modificação no setor requer linhas de financiamento específicas e incentivos, onde o principal objetivo é o financiamento da produção de açúcar e álcool e sua melhoria tecnológica. Perante esse quadro, em 2001, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com o intuito de contribuir para a expansão do sistema elétrico brasileiro, implementou o Programa de Apoio à Co-geração de Energia Elétrica a partir de Resíduos da Cana-de-Açúcar, onde o objetivo principal desse programa é financiar a implantação de projetos de co-geração que utilizam resíduos de cana com destinação final a venda de eletricidade excedente às distribuidoras/comercializadores (SOUZA et al, 2003).

Segundo normas de comercialização de excedentes, a terminologia adotada no setor elétrico diferencia dois tipos de co-geradores. O primeiro, denominado Autoprodutor (AP), é detalhado por meio do artigo 2º do Decreto 2.003 de 10/09/96, em que esse tipo de co-gerador se caracteriza como pessoa física, jurídica ou consórcio detentor de uma concessão ou autorização para produzir energia elétrica para consumo próprio. Dentro dessa categoria se encaixam as usinas sucroalcooleiras produtoras de energia elétrica para consumo da planta industrial. Entretanto, o Decreto 2.655/98 concede a permissão aos autoprodutores para a comercialização da energia co-gerada que sobressair do consumo de sua planta industrial, sendo que essa comercialização deve obedecer à prévia autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e caracterizar-se pela sua eventualidade (SOUZA et al, 2003).

O segundo, chamado Produtor Independente de energia elétrica (PIE), foi instituído por meio da Lei 9.074/95, retratando pessoa jurídica ou consórcio detentor de uma concessão ou autorização para produzir, regularmente, energia elétrica parcialmente ou na sua totalidade destinada ao comércio, por responsabilidade e risco pessoal. Perceptível que o autoprodutor pode ser descrito como pessoa física, enquanto não ocorre o mesmo para o PIE. Embora essa lei tenha sido homologada em setembro de 1996, apenas existia a opção de vender o excedente co-gerado para a distribuidora local. A oportunidade de negociar o excedente de energia co-gerada



por meio das demais opções, principalmente ao consumidor livre, necessitava da regulamentação do acesso dos PIEs às redes de distribuição e transmissão das concessionárias, além de sua conexão. A não regulamentação levava as concessionárias locais ser apenas a única compradora de energia co-gerada a partir dos PIEs sucroalcooleiros, impossibilitando a exploração de novas formas de comercialização (SOUZA et al, 2003).

No dia 01 de outubro de 1999, a Aneel promulgou a resolução 281, em que estabelecia as condições gerais de contratação do acesso, compreendendo o uso e a conexão, aos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade, outorgando assim, a efetivação do disposto no Decreto 2.003. Por meio dessa promulgação, permitiu que fossem estabelecidas as condições gerais de contratação do acesso, uso e conexão aos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade, onde possibilitou a comercialização direta entre produtores e consumidores livres, independentemente de suas localizações no sistema elétrico.

#### 5.11 A introdução dos motores flex-fuel

Advento a crise do petróleo diminuiu a vantagem de preço do etanol no início da década de 1990. Em meados de 1998 para inverter essa situação, misturaram o etanol à gasolina para diminuir o custo do combustível, essa união se popularizou como “rabo-de-galo”. O primeiro carro flex surgiu em 1992, pela empresa GM (General Motors) nos Estados Unidos, porém essa tecnologia pouco desenvolveu no país. Por motivos de baixos preços do petróleo e a competitividade do etanol ser maior nas estradas e não em áreas urbanas, tornou a tecnologia do sistema de bicomcombustível complexa em que conspirou contra o lançamento desse produto no território brasileiro. O Brasil, após pesquisas, se tornou pioneiro por dispensar o sensor que controla a mistura gasolina-etanol nos carros diminuindo os custos de produção. Em 1993, a base introdutória para o uso da tecnologia flex no Brasil aconteceu a partir da injeção eletrônica introduzidas no carro a etanol (GORDINHO, 2010).

O primeiro veículo flex lançado no mercado brasileiro foi o Volkswagen Gol Total Flex, em março de 2003, esse avanço tecnológico trazia ao consumidor a opção de escolher entre dois combustíveis, a segurança de abastecimento, além de agregar valor em estar colaborando com a preservação do planeta em abastecer com etanol (ALFRED SZWARC, 2010 apud GORDINHO, 2010).

Esses automóveis foram aceitos pelos consumidores brasileiros em relação a sua qualidade, versatilidade e possibilidade de economia, alavancando ainda mais o seu mercado em progressão geométrica. Com o poder de escolha na aquisição entre o etanol e a gasolina conforme seu custo, sem acarretar prejuízo para o veículo, levou a um marco histórico do etanol em fevereiro de 2008, em que sua venda ultrapassou em mais de 50% na saída de carros novos, elevando as vendas em sete anos para 10 milhões de veículos inovadores (GORDINHO, 2010).

Entretanto, a evolução do cenário brasileiro a respeito desse bicomcombustível se deu em razão do Proálcool, que determinou a distribuição obrigatória do produto pelas redes de postos de abastecimento em todo o país.

## **6. PERSPECTIVAS PARA OS PRÓXIMOS ANOS, APRESENTANDO AS POSSIBILIDADES DE AINDA SE OBTEREM GRANDES AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO E NOS USOS DO ETANOL**

### 6.1 Desenvolvimentos de novas variedades com alto teor de fibra (cana energia)

Com o passar dos anos, existiram programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar, em que o ponto principal era o desenvolvimento de cultivares com maior rendimento de sacarose para a produção de etanol e açúcar (DAL-BIANCO *et al.*, 2012). Atualmente, a demanda por biomassa para produção de etanol de segunda geração e de energia elétrica fez com que pesquisadores tivessem como objetivo desenvolver cultivares com maiores teores de fibra, posteriormente denominadas de cana energia (LOUREIRO *et al.*, 2011).

A cana energia é enunciada como melhoramento genético, visto que ocorreu um aprimoramento em relação a sua eficiência energética e a adaptabilidade dos genótipos para diversos ambientes, sendo assim mencionada por muitos geneticistas como sinônimo de “ampliação da base genética”, em outras palavras, a utilização de germoplasmas diversos, especialmente ligado as espécies *Saccharum spontaneum*, *Saccharum robustum* e as cultivares modernas (*Saccharum spp.*) pode impulsionar as melhorias genéticas e auxiliar para o desenvolvimento de cultivares mais resistentes que sejam adotadas pelo setor sucroenergético atual e futuro (MING *et al.*,

2006; MATSUOKA *et al.*, 2014). Segundo Tew e Cobill (2008), as denominadas canas energia poderão ser compostas por mais de 30% de fibra e tendo uma maior produtividade, conseguindo assim atender a demanda do setor sucroenergético.

No Brasil, com pretensão de se obter um melhoramento genético da cana-de-açúcar, algumas empresas realizaram hibridações e seleção de clones cana energia. Em um programa de seleção da Canavialis foram obtidos 23 genótipos com elevado teor de fibra, variando entre 15 e 19%, porém com teores de sacarose reduzido, entre 5 e 9% (Matsuoka *et al.*, 2012). O Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) dedicou em realizar pesquisas para o desenvolvimento de cultivares cana energia, alcançando a registrar a primeira cultivar de cana energia do Brasil, denominada de CTCE7 (MAPA, 2013).

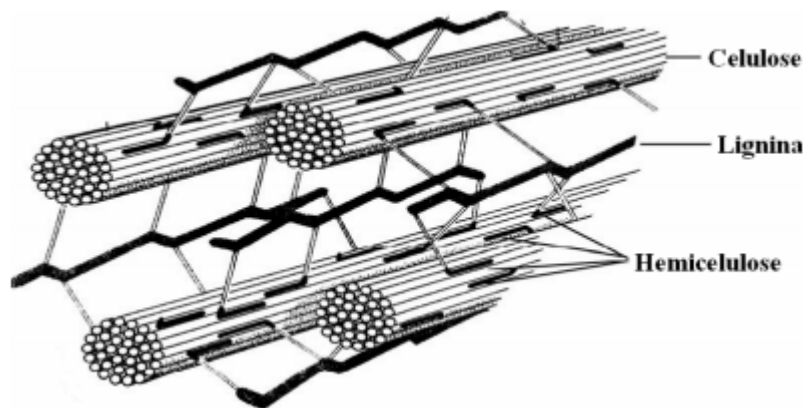
Atualmente as canas-de-açúcar cultivadas contem aproximadamente 12% de fibra, 13% de açúcar e 75% de água. Com o aprimoramento genético na obtenção de cana energia têm como meta produzir cultivares com 30% de fibra, 5% de açúcar e 65% de água. Presumindo que para obtenção desses genótipos requer um elevado tempo de pesquisa, ainda mais, tendo como objetivo de se aproximar dessas características já mencionadas. Outrora, deve-se considerar que as atuais plantas das usinas não estão preparadas para processar cana-de-açúcar com teores de fibras acima de 20%, sendo assim, cultivares com teor de fibras em torno de 17% e tendo cerca de 13% de sacarose atenderiam as necessidades atuais do setor sucroenergético. Com o acréscimo percentual de fibra, essa cana aumentaria a produção de biomassa sem acarretar em perdas na produção de açúcar (TEW e COBILL, 2008).

6.2 Hidrólise da biomassa: permite a conversão da celulose em açúcares e a partir daí a produção de etanol e outros produtos.

O bagaço da cana-de-açúcar é um material promissor na produção de diversos produtos, porém para produzi-los, precisa primeiro passar pela etapa de hidrólise da biomassa. Antes de relatar sobre a hidrólise da biomassa, necessita falar sobre sua estrutura. A biomassa ligno-celulósica é composta por polissacarídeos (celulose e hemicelulose), em que podem ser “hidrolisados” em açúcares para posterior fermentação e produção de etanol. O outro componente presente é a lignina,

constituído por um polímero complexo de grupos metoxi e fenilproprânicos, onde mantém juntas as células (DUFF e MURRAY, 1996).

**Figura 5: Estrutura geral da parede celular vegetal**



Fonte: MURPHY e MCCARTHY, 2005.

Cerca de 40 a 60% da matéria seca é composta pela fração celulósica, polímero linear do dímero glicose-glicose, rígido e difícil de ser dividido, sua hidrólise gera duas moléculas de glicose. A parte da hemicelulose, em torno de 20 a 40%, é formada de uma cadeia principal de xilose com diversas ramificações de manose, arabinose, galactose, ácido glicurônico, etc. Sendo que, essa fração hemicelulósica é mais simples de ser hidrolisada em comparação a celulose, porém, dá origem a pentoses ainda não utilizada no processo de produção de álcool em larga escala. Já a lignina, compondo cerca de 10 a 25% da matéria seca, não apresenta molécula simples de açúcar, logo assim, não sendo pretendida para a produção de etanol (GRAY *et al.*, 2006; US DOE, 2006).

Para obtenção do etanol, existem algumas tecnologias atrelada a transformação de biomassa para açúcares fermentescíveis, chamada de tecnologias de conversão, que envolve o método de hidrólise dos polissacarídeos presentes na biomassa, essa tecnologia complexa e multifásica baseia-se no uso de rotas ácidas e enzimáticas para a formação dos açúcares e remoção da lignina. Uma representação simplificada do processo é a seguinte:

**Figura 6: Processo simplificado da produção do etanol de 2ª geração**



Fonte: Adaptado de Nunes *et al.*, 2013.

Observando o fluxograma apresentado na Figura 6, a primeira etapa do processo consiste no preparado da matéria-prima, ou melhor dizendo, no pré-tratamento mecânico, seguido pela remoção da lignina e/ou hemicelulose. Após essa remoção, a celulose é hidrolisada e os açúcares são fermentados.

Os processos de conversão necessitam de um pré-tratamento para modificar a estrutura da biomassa celulósica e tornar os polissacarídeos mais acessíveis aos posteriores processos. O intuito é quebrar a proteção de lignina e romper a estrutura cristalina da celulose, visto que, essa etapa concentra o maior custo dentro do processo de conversão da biomassa a etanol (MOSIER *et al.*, 2005). A princípio, a biomassa é lavada e submetida a um tratamento mecânico, no caso do bagaço, estas etapas ocorrem no processo de moagem da cana, levando a formação adequada do tamanho das partículas aos processos (bio)químicos consecutivos (WOOLEY *et al.*, 1999).

Após atender as conformidades do tamanho da partícula, por um tratamento físico, químico ou biológico, a lignina e a hemicelulose são solubilizadas, acrescenta-se água ou vapor para hidrolisar os polímeros livres da hemicelulose. Assim o produto é filtrado e prensado, os sólidos (celulose + lignina) são levados para a hidrólise da celulose e os líquidos, contendo açúcares, sendo eles, xilose, manose, arabinose e galactose, seguem para o processo de fermentação (HAMELINCK *et al.*, 2005).

Os diferentes tipos de pré-tratamento atuam de modos diferentes sobre os componentes majoritários da biomassa; os tratamentos alcalinos, por exemplo, atuam mais sobre a lignina, enquanto os ácidos hidrolisam a hemicelulose e não fazem efeito na celulose e lignina, deixando-os intactas nos resíduos sólidos. Em relação sobre o pré-tratamento e a composição da fração não-açúcar do hidrolisado, a atuação do

ácido pode prover no aparecimento de altas concentrações de furfural na fase líquida, enquanto os alcalinos resultam em altas concentrações de ferulato e acetato no hidrolisado. Estes compostos podem apresentar efeitos negativos nos microrganismos da fermentação por estarem presentes no fluxo de açúcares (GRAY et al., 2006).

O tipo escolhido de biomassa a ser utilizada requer um método particular de pré-tratamento afim de degradar o substrato e melhorar o rendimento de açúcar. Um pré-tratamento só é dito como efetivo se passar por alguns critérios, sendo eles, impedir a diminuição das partículas da biomassa, preservar a fração das pentoses, conter a formação de produtos tóxicos que afetam o crescimento de microrganismo fermentativos, reduzir a demanda de energia e minimizar os custos (MOSIER et al., 2005).

Durante o pré-tratamento existem diferentes opções tecnológicas a serem utilizadas em diversos estágios de desenvolvimento. A seguir, um resumo é apresentado em forma de tabelas sobre as mais promissoras tecnologias, mostrando os métodos, vantagens e desvantagens, além de uma descrição sucinta sobre eles.

A Tabela 2 evidencia os quatros métodos existentes de pré-tratamento e relata sobre as alterações que ocorrem na estrutura da biomassa após passar pelas operações que as modificam.

**Tabela 2: Métodos de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos**

<b>Métodos</b>	<b>Operações que modificam a estrutura do substrato</b>	<b>Tipo de mudança</b>	<b>Referências</b>
Físico	Moagem e trituração (bola, energia vibratória, rolo duplo, pressão, martelo); radiação (raios de elétrons, raios gama, micro-ondas); altas temperaturas (pirólises, explosão a vapor).	Aumento na área superficial e tamanho dos poros de partícula, diminuição do grau de polimerização	(AZUMA et al., 1985; KOULLAS et al., 1992; RAMOS et al., 1993)
Químico	Bases, ácidos, gases, agentes oxidantes e redutores, solventes orgânicos.	Deslignificação, diminuição do grau de polimerização e cristalinidade da celulose associada com o inchaço da amostra, aumento da porosidade.	(BES et al., 1989; FARID et al., 1983; SZCZODRAK et al., 1986).
Biológico	Bolor branco (Pleurotus, Pycnoporus, Ischnoderma, Phlebia, etc.)	Deslignificação e redução do grau de polimerização da celulose e hemicelulose.	(MES-HARTREE et al., 1987; ROLZ et al., 1986).
Combinado	Tratamento alcalino associado com explosão a vapor, moagem acompanhada com tratamento alcalino ou tratamento ácido.	Degradação da hemicelulose, deslignificação, aumento da área superficial e tamanho dos poros.	(PURI; PEARCE, 1989).

Fonte: adaptado de SZCZODRAK; FIEDUREK, 1996 APUD RABELO, 2010.

Na Tabela 3 é exposto os principais pré-tratamento para cada método mencionado na Tabela 2 com suas características operacionais.

**Tabela 3: Principais pré-tratamento de material lignocelulósico e suas descrições**

Processo	Descrição	Tempo de reação	Rendimento de xilose	Custo
<b>Físicos</b>				
Explosão de vapor	A biomassa triturada é tratada com vapor (saturado, 160-260°C) seguido de uma rápida descompressão	1-10 min	45-65 %	Alto
Termoidrólise	Utiliza água quente a alta pressão (pressões acima do ponto de saturação) para hidrolisar a hemicelulose	30 min	88-98 %	Alto
<b>Químicos</b>				
Hidrólise ácida	Por meio do uso de ácidos sulfúrico, clorídrico, ou nítrico, concentrados ou diluídos	2-10 min	75-90 %	Médio
Hidrólise Alcalina	Pelo uso de bases, como hidróxido de sódio ou cálcio	2 min	60-75 %	Baixo
Organosolv	Uma mistura de um solvente orgânico (metanol, bioetanol e acetona, por exemplo) com um catalisador ácido (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCL) é usada para quebrar as ligações internas da lignina e da hemicelulose.	40-60 min	70-80 %	
Biológico	Utilização de fungos para solubilizar a lignina. Geralmente, é utilizado em combinação com outros processos			
<b>Combinados</b>				
Explosão de Vapor catalisada	Adição de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ou SO <sub>4</sub> ) ou CO <sub>2</sub> na explosão a vapor pode aumentar a eficiência da hidrólise enzimática, diminuir a produção de compostos inibidores e promover uma remoção mais completa da hemicelulose	1-4 min	88%	
AFEX (ammonia fiber explosion)	Exposição à amônia líquida a alta temperatura e pressão por um certo período de tempo, seguida de uma rápida descompressão		50-90%	Alto
Explosão de CO <sub>2</sub>	Similar à explosão de vapor		75%	

Fonte: Elaborado com base em HAMELINCK et al., 2005 apud BNDES; CGEE, 2008.

Por outro lado, a Tabela 4 exhibe as vantagens, desvantagens e características composicionais dos pré-tratamentos.



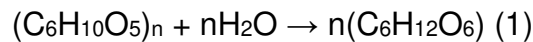
**Tabela 4: Alguns tipos de pré-tratamentos de material lignocelulósico e suas características, vantagens e desvantagens**

Pré-tratamentos		Características composicionais			Vantagens	Desvantagens
		Celulose	Hemicelulose	Lignina		
<b>Físico</b>	Moinho de bolas	Intensiva diminuição do grau da cristalinidade	Não remove	Não remove	Redução de cristalinidade	Alto consumo de energia
	Ácido diluído	Pouca despolimerização	80 – 100% de remoção	Pouca remoção, mas ocorre mudança da estrutura	Condições médias, alta produção de xilose	Difícil recuperação do ácido, corrosivo e relativamente custoso
<b>Químico</b>	Hidróxido de sódio	Inchação significativa	Considerável solubilidade	Considerável solubilização, >50%	Remoção efetiva de ésteres	Reagente de alto custo, recuperação alcalina
	Organo-solv	Considerável inchação	Solubilização quase completa	Solubilização quase completa	Alta produção de xilose, efetiva deslignificação	Recuperação de solvente, alto custo
<b>Biológico</b>	Microbiológico	20 – 30% de despolimerização	Acima de 80% de solubilização	Aproximadamente 40% de deslignificação	Baixo requerimento de energia, efetiva deslignificação	Perda de celulose, baixa taxa de hidrólise
<b>Combina-do</b>	Explosão a vapor	Pouca despolimerização	80 – 100% de remoção	Pouca remoção, mas ocorre mudança de estrutura	Energia eficiente, nenhum custo de reciclagem	Degradação da xilana como produto inibitório

Fonte: Adaptado de SANTOS et al., 2012 apud BRONZATO, 2016.

Dos pré-tratamentos indicados anteriormente, o processo mais consolidado até o momento, tanto na área acadêmica quanto na industrial, é o por explosão a vapor.

Após a realização do pré-tratamento do material lignocelulósico, a próxima etapa para seguir com a produção do etanol de segunda geração é a hidrólise propriamente dita, onde a partir dos polissacáridos presentes na biomassa será quebrado em monossacarídeos para formarem açúcares fermentescíveis. Visto que na etapa de pré-tratamento, a depender de qual foi utilizado, a hemicelulose se encontra quase completamente hidrolisada, nesta etapa a celulose será hidrolisada, dando origem a glicose no meio reacional. A reação de quebra da molécula da celulose em glicose é representada pela Equação 1 (BALAT et al., 2008).



Muitas pesquisas de processos para hidrolisar a celulose em glicose vem sendo estudada, porem existem duas técnicas de hidrólise empregadas em escala industrial, são a hidrólise ácida e a enzimática (BALAT et al., 2008), em que a diferença entre elas está apenas no tipo de catalisador utilizado. A hidrólise enzimática utiliza de enzimas específicas, enquanto a ácida compreende o uso de ácido como catalisador, sendo este concentrado ou diluído. Uma breve comparação entre as duas técnicas, em termos de condições de operação e de rendimento, entre as três formas de hidrólise da celulose citada anteriormente, encontra-se retratada na Tabela 5.

**Tabela 5: Comparação entre as opções para a hidrólise da celulose**

Processo	Catalisador	Temperatura	Tempo	Sacarificação
Ácido diluído	< 1% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	215 °C	3 min	50% - 70%
Ácido concentrado	30% - 70% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40 °C	2 – 6 h	90%
Enzimático	Celulases	70 °C	1,5 dias	75% - 95%

Fonte: Elaborado com base em HAMELINCK et al., 2005 apud BNDES; CGEE, 2008

Analisando a Tabela 5, observa-se que na hidrólise ácida, sobretudo quando utiliza ácido diluído, a conversão é mais rápida, contudo, necessita de um controle minucioso da reação para evitar a formação de produtos indesejados e de inibidores que podem afetar no processo de fermentação. Enquanto na hidrólise enzimática, o controle reacional é dito como fator crucial para a eficiência do processo, visto que as enzimas

possuem ações específicas que dependem fortemente do meio em que atuam (OLIVEIRA; VASCONCELOS, 2006 apud ARAÚJO, 2013).

### 6.3 Etanol celulósico, etanol de 2ª geração ou 2G: utilização da palha ou do bagaço da cana.

O etanol de segunda geração recebe destaque por ser produzido a partir da lignocelulose presentes na biomassa, podendo ser resíduos ou rejeitos de diversos tipos. Por ser um etanol de reaproveitamento, demonstra vantagens ambientais e econômicas a serem investidas neste novo biocombustível, tornando-o bem atrativo (CARVALHO et al., 2013). Porém para se produzir um biocombustível de segunda geração com alta eficiência energética, necessita paralelamente pesquisar e desenvolver micro-organismos com melhor capacidade fermentescíveis buscando otimizar o rendimento do processo (DIAS et al., 2012). O Brasil tem como vantagem a possibilidade de aumentar a produção de etanol sem necessitar expandir a área plantada em cana-de-açúcar, por meio do uso do bagaço e palha da cana (JARDINE et al., 2009).

A expectativa de tornar viável a produção desse biocombustível em escala industrial estima-se a redução de algumas etapas de produção, a fim de reduzir os custos e fazê-lo adentrar no mercado com um preço mais atrativo ao consumidor, além de diminuir emissões de gases de efeito estufa (LEITE e LEAL, 2007). Sendo importante informar que as alterações na planta para produção de etanol 2G, por serem mais sofisticadas, são capazes de serem adaptadas junto com a produção de etanol 1G.

A produção de etanol 2G gira em torno de quatro principais etapas: pré-tratamento da biomassa, hidrólise para formação de açúcares fermentescíveis, fermentação dos açúcares e separação do produto por destilação (ARAÚJO et al., 2013).

Dentre os pré-tratamento existentes, os mais utilizados em nível industrial, com o objetivo de desestruturar o complexo lignocelulósico do bagaço e da palha, são de origem química e/ou enzimática. O pré-tratamento ácido é visado, pois além de quebrar o complexo, provoca hidrólise da hemicelulose, resultando numa porção

líquida da extração do bagaço de cana, que é a xilose, um açúcar fermentescível (SANTOS, 2012).

Contudo, em busca de aprimorar à produção de etanol 2G, muitas pesquisas têm sido realizadas, buscando tanto o desenvolvimento de tecnologias de produção quanto à melhoria da matéria-prima. Em todo o mundo, cada vez mais surgem pesquisadores, entusiasmado por políticas de pesquisa ligado ao aumento da produtividade no setor bioenergético (MARQUES, 2009 apud ARAÚJO et al., 2013). Embora que as recentes pesquisas estejam sendo intensificadas, o processo de produção de etanol lignocelulósico no Brasil já é antigo.

No Brasil, em 1970, iniciaram-se os estudos a respeito do etanol de 2G, onde a tecnologia foi ofertada pela ex-União Soviética, dando início ao projeto COALBRA, que constou com a instalação de uma usina experimental em Uberlândia, a qual utilizava eucalipto como fonte de biomassa, produzindo cerca de 30 mil L/dia. Porém, por alguns fatores, a usina não obteve um processo satisfatório (LIMA; MARCONDES, 2002; SCHLITTLER; PEREIRA-JUNIOR, 2008 apud SILVA, 2012).

Com o passar o tempo, muitas pesquisas financiadas por instituições públicas e privadas têm motivado o desenvolvimento de tornar o etanol lignocelulósico um biocombustível competitivo. Pode ser citado o Plano Conjunto BNDES-Finep de Apoio à Inovação Tecnológica Industrial dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico - PAISS como exemplo, em que teve como objetivo disponibilizar recursos para implementação de plantas comerciais de etanol de segunda geração (MILANEZ et al., 2015).

Hoje em dia, o Brasil possui duas usinas de produção de etanol 2G: a Bioflex 1 da empresa GranBio e a Unidade Costa Pinto do grupo Raízen. A Bioflex 1 iniciou suas operações em setembro de 2014 e encontra-se instalada no município de São Miguel dos Campos (Alagoas), com capacidade de produção de 60 milhões de litros de biocombustível por ano (GRANBIO, 2021). Já a Unidade Costa Pinto começou em julho de 2015, em Piracicaba (SP), onde a sua construção e a instalação dos equipamentos necessários foi um investimento de quase R\$ 250 milhões (NOVACANA, 2021).

#### 6.4 Utilização de peneiras moleculares para desidratação do Álcool

A metodologia empregada na utilização de peneira molecular é baseada na capacidade de adsorção seletiva. As zeólitas são sólidos microporosos e podem ser sintetizadas para obter como finalidade a função de peneira molecular, por apresentar porosidade definida e capacidade de distinção das moléculas por suas dimensões e geometrias, levando este processo ser comumente aplicado nas indústrias canavieiras na desidratação do etanol (LUNA, 2001).

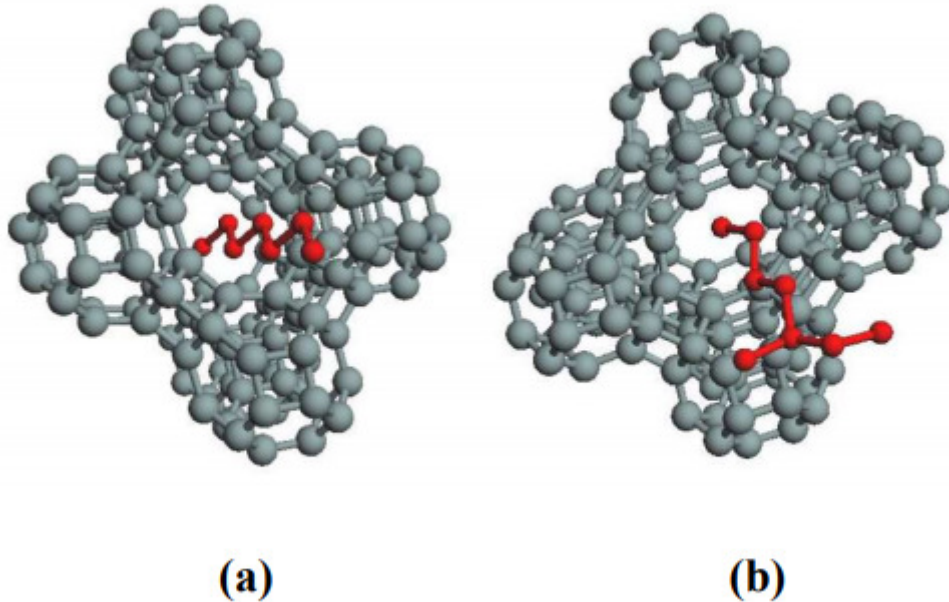
Com o avanço nas técnicas cristalográficas com raios X, na década anterior, identificou que as zeólitas apresentavam a estrutura formada por aluminossilicatos que constituíam de canais e poros, onde absorvem moléculas de água e cátions alcalinos que possuem tamanhos de poros compatíveis (BRAGA, 2016).

As zeólitas contêm uma grande quantidade de minerais naturais e sintéticos de mesmas características. São alumino-silicatos, hidretos de metais alcalinos ou alcalinos terrosos (LUNA, 2001). O início da utilização de zeólitas sintéticas, se deram na adsorção de água em gás natural, em catálise e isomerização, além de craqueamento e trocas iônicas em detergentes (BRAGA, 2016). Uma vantagem sobre adsorventes tradicionais é que as zeólitas podem ser feitas sobre medida para atuar em diversas indústrias, por exemplo, na biotecnologia, petroquímica, canaveira, farmacêutica e na área do ambiente (LUNA, 2001). A desvantagem a respeito delas é sua fragilidade em resistência mecânica e instabilidade na presença de soluções ácidas (BRAGA, 2016).

A zeólita sintética adotada para a desidratação do álcool tem arranjo cristalino formado de potássio-alumínio-silicato, com poros de 3 Å de diâmetro. No processo de desidratação do etanol por peneira molecular, está zeólita que atua em determinadas condições de pressão e de temperatura, tem a habilidade de adsorver a água contida na mistura água-etanol. Esta habilidade varia de acordo com os parâmetros ditos anteriormente. Contudo, ao passar a corrente de vapor da mistura água-etanol em uma coluna preenchida com zeólitas, faz com que a molécula de água adentre nos poros por apresentar um diâmetro inferior a 2,8 Å, deixando a molécula de etanol livre (SOUZA, 2002).

Na Figura 7 retrata o processo de adsorção de água em uma zeólita. Peneira molecular de alumínio-silicato.

**Figura 7: Peneira molecular de alumínio-silicato**



Fonte: adaptado de BRAGA, 2016.

Na Figura 7 (a) representa uma molécula linear entrando nos canais da zeólita e na Figura 7 (b), uma molécula ramificada que não consegue passar pela estrutura.

Na indústria canavieira, a aplicação da peneira molecular no processo de produção de etanol anidro apresenta-se como uma alternativa para substituição dos atuais processos utilizados na desidratação do etanol. Grande parte das usinas utilizam da destilação azeotrópica através do ciclo-hexano, ou outras substâncias, que são misturadas no etanol hidratado retificado. Neste caso, já mencionado, utiliza-se da zeólitas tipo 3A, onde refere-se ao diâmetro dos micrósporos por apresentarem 3 Å. O etanol por possuir uma molécula maior que 3Å passa sem interação, enquanto a água por ser menor fica adsorvida na peneira. Este processo possui uma série de vantagens comparado com o processo convencional da destilação azeotrópica, por exemplo, um produto com maior pureza no final do processo devido a não utilização de substâncias tóxicas, além de que, apresenta uma vantagem economicamente reduzindo o custo do processo, pois não utiliza insumos para realizar a desidratação (SOUZA, 2002).

A técnica de desidratação utilizada na indústria canavieira demanda ter sempre dois leitos de zeólitos em operação, um na fase de regeneração e outro na fase de adsorção, pois após passar a mistura hidroalcolica, a água fica adsorvida, logo em seguida, necessita desidratar o leito de zeólito e assim sucessiva e alternadamente. Nesse processo, o etanol inicia com 6,7% de umidade e sai com apenas 0,4%. Cada ciclo dura em torno de 5 a 8 minutos, dependendo do grau GL do álcool na entrada e da capacidade de adsorção do zeólito (CARMO, 1999).

## 7. O PAPEL DA UNIVERSIDADE NA EVOLUÇÃO DO ETANOL NO BRASIL

De acordo com o livro “Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro” (CORTEZ, 2018), o papel das universidades foi de extrema importância para o desenvolvimento e crescimento da cultura de cana-de-açúcar e aprimoramento do etanol combustível para o Brasil, o mesmo cita diversos importantes nomes que mereceram destaques por incentivarem a pesquisa e visarem a inovação para o setor sucroenergético.

A história do Brasil está ligada ao avanço tecnológico envolvendo a cultura da cana-de-açúcar. Desde os primórdios até os dias atuais, existiram criações de diversos planos do governo que estimularam o crescimento no setor. Com a criação destes, começaram os desenvolvimentos na variedade genética da cana-de-açúcar, de novas técnicas e procedimentos colocados em prática desde o campo até a indústria. Com base nisso, entre 1975 a 1983, ocorreu uma evolução na concepção de todas as fases de produção da matéria-prima, processos de fabricação e do uso do álcool, além do completo domínio tecnológico de todas essas etapas e do reaproveitamento de subprodutos, conforme apresentado na Tabela 6.

**Tabela 6: Resultados da evolução tecnológica no Brasil**

Descrição	Início	1985	Atual	Observações
<b>1. Aumento da capacidade de produção</b>				
Moenda: 6x78” – t cana/dia	5.500	10.000	15.000	Seis ternos + facas + desfibrador
Tempo de fermentação: horas	24		6 a 8	Fermentação tradicional – batelada /contínua
Teor alcoólico no vinho: °GL	6		12 a 16(*)	*uso Ecoferm – Dedini/Fermentec
<b>2. Aumento das eficiências</b>				
Extração do caldo: %	93,0	96	97 (98)	Facas + desfibrador + seis ternos (ou difusor)
Rendimento fermentativo: %	80,0	91	91,5	Relação estequiométrica

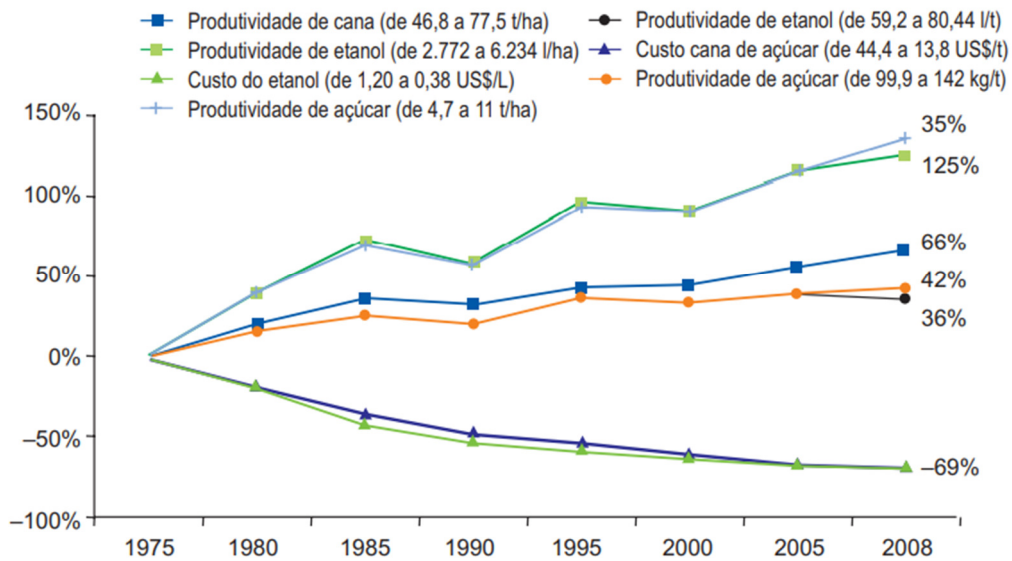


Descrição	Início	1985	Atual	Observações
Recuperação destilação: %	98,0	99,0	99,7	
<b>3. Otimização do consumo energético</b>				
Consumo de vapor açúcar/etanol	600		320	Kg vapor/t moída
Consumo vapor etanol anidro	5		2	Kg vapor/litro etanol anidro
Pressão das caldeiras – bar	21	42	100 a 120	
Temperatura vapor – Celsius	300	400	540	
Eficiência energética caldeira: %	66	86	89	
Biometano da vinhaça	Nulo	0,1	0,1	Nm <sup>3</sup> biometano/litro etanol
<b>4. Parâmetros globais</b>				
Sobra bagaço para energia: %	Nulo	Até 70	Até 78	100% produção etanol
Venda de energia para rede	Compra		sim	Cana padrão: 12,5 % fibra
Vinhaça produzida	15	<1	<1	Litro vinhaça/litro etanol
Biofertilizante sólido: Kg/t cana	Nulo		50 a 60 (*)	(*) BIOFOM
Produção biodiesel integrada	Não		Sim (*)	(*) Usina Barralcool – Denini/2006
Uso energético da palha da cana	Não		Inicial	Em início de utilização
Energia elétrica para venda	Nula		Até 90	kW/t cana
Consumo de água: litros/l etanol	187	43	Nulo/ exportação	Captação águas mananciais
Produção etanol: litros/t cana	66		87	

Fonte: adaptado de Oliveiro,2006 apud CNI, 2012.

Segundo a tabela 6, percebe-se o quanto as evoluções nos desempenhos das usinas foram expressivas em decorrência da tecnologia desenvolvida, grande parte provindo de universidades. Levando a um crescimento de produtividade e reduzindo os custos de produção, como mostrado na figura 8.

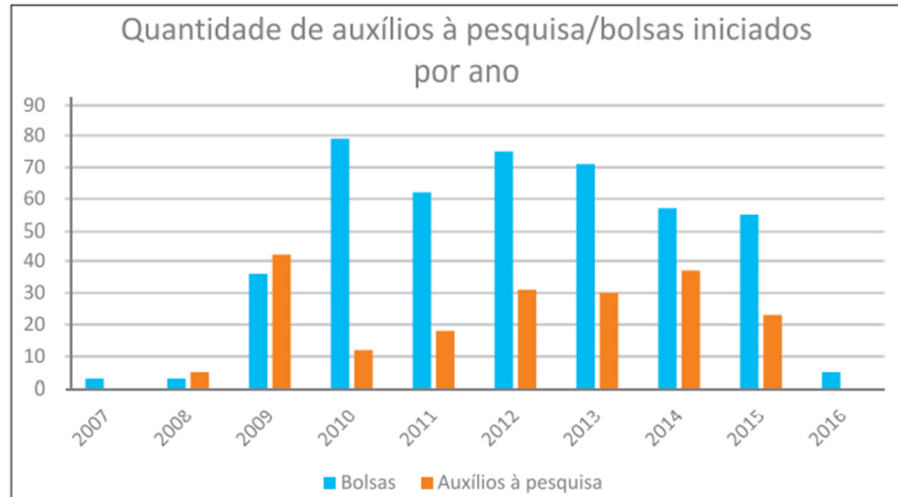
**Figura 8: Crescimento da produtividade e redução dos custos de produção da cana-de-açúcar, etanol e açúcar no Brasil, de 1975 a 2008**



Fonte: Adaptado de LAGO et al., 2012.

Em 1996, na Universidade de São Paulo (USP), houve a criação do Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) pela iniciativa do Ministério da Ciência, tecnologia e inovação (MCT), onde teve como objetivo desenvolver atividades de pesquisas em forma de rede com universidades e empresas para promover o uso moderno de biomassa. Logo em seguida, em 2008, houve a criação do Programa Fapesp de Pesquisa em bioenergia (BIOEN) que teve como objetivo integrar estudos abrangentes sobre cana-de-açúcar e outras plantas que pode servir como fonte de biocombustíveis, elevando a posição Brasil entre os líderes em pesquisas em bioenergia. Na figura 9 é representado o avanço em pesquisas decorrentes desse programa.

**Figura 9: Quantidade de auxílios à pesquisa/bolsas iniciados por ano.**



Fonte: Cortesia de Mariana Massafra/BIOEN apud CORTEZ, 2018.

A partir da Figura 9, observa-se os maiores números em incentivo a pesquisa e bolsas entre os anos de 2009 e 2015. Em contrapartida, a Tabela i apresenta dados referentes a quantidades de projetos realizados no período de 2007 a 2016.

**Tabela 7: Financiamento Fapesp-BIOEN em números**

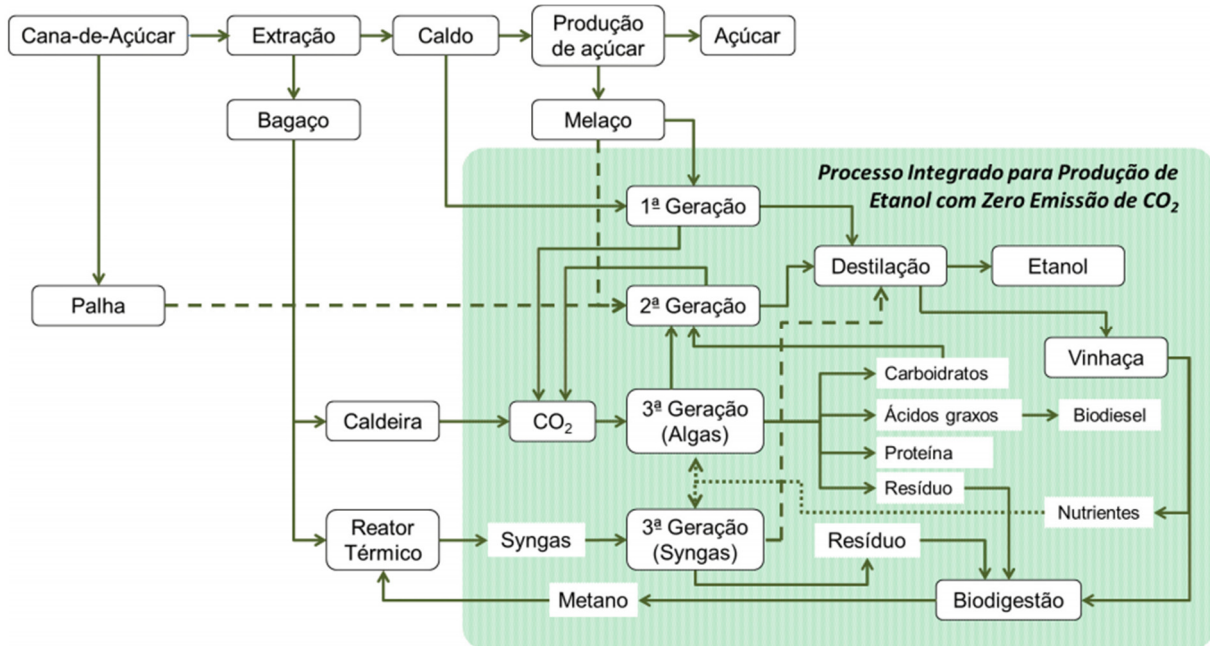
Financiamento Fapesp-BIOEN em números	
Projetos de pesquisa em andamento	40
Projetos de pesquisa finalizadas	109
Bolsas no Brasil em andamento	63
Bolsas no Brasil finalizadas	283
Bolsas no exterior em andamento	3
Bolsas no exterior finalizadas	15
Total de projetos de pesquisas e bolsas	513

Fonte: adaptado de CORTEZ, 2018.

O Professor da Faculdade de Engenharia Química (FEQ/Unicamp) e coordenador do Programa de Pesquisas em Bioenergia (BIOEN/Fapesp), Rubens Maciel Filho, propôs um processo integrado para produção de etanol de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup>

geração com finalidade de não emitir CO<sub>2</sub> para atmosfera, de forma que o gás CO<sub>2</sub> provindo das etapas de produção de 1ª e 2ª geração fossem captados por algas para produção de etanol de 3ª geração, conforme ilustrado no fluxograma da Figura 10.

**Figura 10: Processo integrado para Produção de Etanol de 1ª e 2ª Geração e produtos químicos com Emissão zero de CO<sub>2</sub> - Projeto temático Fapesp/BIOEN**



Fonte: Cortesia de Rubens Maciel Filho apud CORTEZ, 2018.

A contribuição que ganha destaque da UFAL para a evolução do etanol no Brasil, vem depois que o da extinção do PLANALSUCAR em 1990, um ano depois, é criada a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), herdando grande parte do patrimônio físico, pessoal e genético. A RIDESA é constituída por sete universidade federais (UFAL – Universidade Federal de Alagoas, UFS – Universidade Federa de Sergipe, UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFV – Universidade Federal de Viçosa, UFSCar – Universidade Federal de São Carlos e UFPR – Universidade Federal do Paraná), que em conjunto conseguiram resgatar o material genético e dar continuidade as pesquisas de cruzamentos, seleções e avaliações (BARBOSA, 2002; BARBOSA, 2008).

No município de Murici – AL, situa-se a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro (EFCSO), comumente chamada apenas por Serra do Ouro, pertencente a UFAL/CECA/PMGCA/RIDESA. Esta estação é o local onde estão armazenadas uma grande variedade de cana-de-açúcar de toda parte do mundo. Este acervo é conhecido como Banco de Germoplasma da cana-de-açúcar e possui, ativos para cruzamento, mais de 2600 acessos de germoplasma de cana.

As variedades obtidas pela RIDESA são denominadas com a sigla RB (Republica do Brasil), estas têm apresentado relevantes serviços ao país, por ocuparem mais de 50% da área canavieira do Brasil, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade e qualidade da agroindústria (BARBOSA, 2002; BARBOSA, 2008).

Atualmente, o Brasil lidera em números de pesquisas em cana-de-açúcar, devido aos esforços desenvolvidos pela Fapesp, universidades e centros de pesquisa, além do incentivo governamental, por exemplo, o Proálcool. Todavia, para manter esta posição é necessário manter os investimentos em pesquisas, buscando atrair novos jovens pesquisadores para enfrentar os desafios e inovarem o mercado.

## 8 CONCLUSÃO

Foi inicialmente implantada no Brasil a cana-de-açúcar como monocultura extrativista, servindo apenas para produção de açúcar com intuito de sustentar o mercado europeu. Atualmente podemos observar que a evolução cana-de-açúcar fez com que se tornasse uma matéria-prima atuante em diversos nichos de indústrias, produzindo diversos produtos e subprodutos, como exemplos, o açúcar, biogás, a geração de energia pela biomassa e o etanol de 1ª e 2ª geração. Diante disso, pesquisadores e empresas visualizaram o etanol como potencial alternativa para substituir o petróleo por ser um combustível de fonte renovável.

A pesquisa teve como objetivo geral relatar como ocorreu a evolução e as inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro no Brasil, constata-se que o objetivo geral foi atendido, pois efetivamente o trabalho demonstrou os acontecimentos importantes que elevou o etanol a ser tornar uma fonte renovável de energia visado pelo mundo inteiro.

O desenvolvimento no setor já conquistado, não garante uma posição confortável no futuro. Porém, com o auxílio em pesquisas pelas universidades e programas do governo incentivando o progresso do etanol no Brasil, temos as possibilidades de obter grandes avanços na produção e no uso dele nos próximos anos, prevendo que ainda temos muitas inovações para alcançar um patamar desejável. É necessário também que haja uma integração multidisciplinar para obter esse crescimento.

## 9. REFERÊNCIA

ALVES, Moisés. Estudo de sistemas de cogeração em usinas de açúcar e álcool, com utilização do bagaço e palha da cana. 2011. 114 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/266914>>. Acesso em: jan. 2021.

ANDRADE, J. Construção de um Índice de Sustentabilidade Ambiental para a Agroindústria Paulista de Cana-de-Açúcar [ISAAC].2009, 259 p. Dissertação (Mestrado Profissional). Escola de Economia de São Paulo, Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2009.

ANNICCHINO, Werther apud ALMEIDA, Mario. Conjunto de entrevistas. São Paulo: Unica, 2003. (Mimeo)

ARAÚJO, C. R. de et al. Estudo das rotas de hidrólise química e biológica para a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos. Revista Eletrônica SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, v. 12, 2013.

ARAÚJO, C. R. de et al. Estudo das rotas de hidrólise química e biológica para a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos. Revista Eletrônica SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, v. 12, 2013.

ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment. USA: ASHRAE, Inc; 2000.

ATALA, D, L. P. Montagem, instrumentação, controle e desenvolvimento experimental de um processo fermentativo extrativo de produção de etanol. 2004. Tese (doutorado) Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2004.

BARBOSA, G.V.S, SOUSA. A.J.R., ROCHA, A.M.C, RIBEIRO, C.A.G, FERREIRA, J.L.C, CRUZ, M.M., SOARES, L. E MOURA FILHO, G. **Relatório Técnico PMGCA: Safra 2001/2002**. Rio Largo, 2002.

BARBOSA, G.V.S, SOUSA. A.J.R., ROCHA, A.M.C, RIBEIRO, C.A.G, FERREIRA, J.L.C, CRUZ, M.M., SOARES, L., SANTOS, J.M., SOARES, L., SILVA, P.P. E VIVEIROS, A.J.A. **Relatório Técnico safra 2006-2007**. Rio Largo, 2007. 9-10p.

BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science, v. 34, p. 551-573, jan. 2008.

BELLOLI, R. Polietileno verde do etanol da cana-de-açúcar brasileira: biopolímero da classe mundial, Trabalho de conclusão de Curso submetido a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2010, pp 8–34.

BNDES; CGEE. Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES. 2008. 316 p.

BOTELHO, P. S. M. Quinze anos de controle biológico da *Diatraea saccharalis* utilizando parasitóides. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 27, s/n, p. 255-262, 1992.

BRAGA, Vinicius Gomes Penedo. Produção de peneiras moleculares (zeólitas) como alternativa de desidratação do etanol. 2016.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017. Brasília, 2018a.

BRONZATO, G. R. F. Investigação da biomassa de *Eichhornia crassipes* (aguapé) para a obtenção de etanol de segunda geração como um processo mitigatório da poluição aquática. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Área de Concentração em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP, 2016.



CAIXETA-FILHO, J.V.; GAMEIRO, A.H. Transporte e logística em sistemas agroindustriais. São Paulo: Atlas, 2001. 218 p.

CAMARGO, C. A.; USHIMA, A. H.; RIBEIRO, A. M. M.; SOUZA, M. E. P.; SANTOS, N. F. Manual de recomendações: conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990.

CARMO, M. J. Estudo da separação etanol-água via adsorção através de um processo P.S.A. São Carlos, 1999. 252p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos.

CARVALHO, L. C. et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 530, 2013.

CARVALHO, L. C. et al. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 530, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil /responsáveis técnicos Ângelo Bressan Filho e Roberto Alves de Andrade. – v. 5 – Safra 2011/2012 – Brasília: Conab, 2013.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), Brasília, v. 7, n. 3, p. 1-77, Dez. 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>>. Acesso em: 19 de dezembro de 2020.

CONCEIÇÃO, L.L.; SILVA, C.M. O controle biológico e suas aplicações na cultura de cana-de-açúcar. Campo Digital. Campo Mourão/PR, v.6, n.1, p.14-25, jan/jul 2011.

CORREA NETO, V. Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana de açúcar e gás natural.

Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2001.

CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; LUCAS JUNIOR, J. de; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. de. Cap. 15: Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B. (Coord.); LORA, E. S. (Coord.) Biomassa para Energia. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007.

CORTEZ, Luís Augusto Barbosa (Ed.). Proálcool 40 anos: Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro. Editora Blucher, 2018.

COSTA, R. Et al; O Uso de Algas Verdes Para Produção de Etanol. XX SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS. 2015.

COSTA, R.L.; OLIVEIRA, T.V.; SANTOS, L.D.; FERREIRA, J.S; BATISTA, F.R.X., 2014 a. PotentialrenewablebiofuelproductionbyChlamydomonasreinhardtii. In: 12th international Chemical andBiologicalEngineeringConference (CHEMPOR).

DAL-BIANCO, M.; CARNEIRO, M.S.; HOTTA, C.T.; CHAPOLA, R.G.; HOFFMANN, H.P.; GARCIA, A.A.F.; SOUZA, G.M. Sugarcane improvement: How far can we go? Current Opinion in Biotechnology, v.23, p.265-270, 2012.

DIAS, M. O. S.; JUNQUEIRA, T. L.; JESUS, C. D. F.; ROSSELL, C. E. V.; MACIEL, R. F.; BONOMI, A. Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane. Energy, v. 43, p. 246-252, 2012.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M DE; LANDELL, M. G. DE A. Canade-açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008.

DUARTE, J. C.; LOURENÇO, V.; RIVEIRO, B. Continuous culture of flocculent yeast for etanol production. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação – Biotechnology Department. Portugal 2006.

DUFF, S.J.B.; MURRAY, W.D. Bioconversion of Forest products industry waste cellulose to fuel ethanol: a review. *Bioresource technology*, v.55, pp. 1-33,1996.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 19, n. 1, Ed. Especial, p. 70-81, ago./2015.

ELETROBRÁS/UFRJ. Séries Semanais. Rio de Janeiro. 2002. Disponível em: <http://www.nuca.ie.ufrj.br>.

ENSINAS, A. V. Integração térmica e otimização termoeconômica aplicadas ao processo industrial de produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar. Dissertação 92 (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

FARINAS, C. S.; MARTIN NETO, L.; GIORDANO, R. C. Instrumentação e automação na agroindústria da cadeia cana-etanol. In: Embrapa Instrumentação-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CORTEZ, LAB (Coord.). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010. p. 601-617., 2010.

GALLO, D.et al. *Entomologia Agrícola*. Piracicaba, FEALQ, 2002. 920p.

GORDINHO, Margarida Cintra. *Do álcool ao etanol: trajetória única*. Editora Terceiro Nome, 2010.

GRANBIO. Bioflex I. 2021. Disponível em: [BioFlex® I: Produção de Biocombustível](http://BioFlex® I: Produção de Biocombustível) ([granbio.com.br](http://granbio.com.br)) . Acesso em: 15 de fevereiro de 2021.

GRAY, K.A.; ZHAO, L.; EMPTAGE, M. Bioethanol. *Current Opinion in Chemical Biology*, v.10, pp. 1-6, 2006.

HAMELINCK, C.N.; VAN HOOIJDONK, G.; FAAIJ, A.P.C. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long-term. *Biomass and Bioenergy*, v.28, pp. 384-410, 2005.

JARDINE, J. G.; DISPATO, I.; PERES, M. R. Considerações sobre o bioetanol

JARDINE, J. G.; DISPATO, I.; PERES, M. R. Considerações sobre o bioetanol lignocelulósico para subsidiar a elaboração de conteúdo da Árvore de Conhecimento Agroenergia. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. 28 p.: il. – (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária; 95).

KOCHAR, N. K.; MERIMS R.; PADIA. A. S.; Ethylene from Ethanol. *Chemical Engineering Progress*, AIChE, 1981, 6, 66-70, 77.

LEITE, R. C. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. *Scielo Brasil*, CEBRAP, v. 78, p. 15-21, 2007.

LEITE, R. C.; CORTEZ, L. A. B. E. O Etanol Combustível no Brasil. In: BRASIL. Ministério das relações exteriores - MRE (Org.). *Biocombustíveis no Brasil: realidades e perspectivas*. Brasília: Arte Impressora Gráfica LTDA, 2007.p. 60-75.

lignocelulósico para subsidiar a elaboração de conteúdo da Árvore de Conhecimento Agroenergia. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. 28 p.: il. – (Documentos / Embrapa Informática Agropecuária; 95).

LOUREIRO, M.E.; BARBOSA, M.H.P.; LOPES, F.J.F.; SILVÉRIO, F.O. Sugarcane Breeding and Selection for more Efficient Biomass Conversion in Cellulosic Ethanol. In: BUCKERIDGE, M.S.; GOLDMAN, G.H. *Routes to Cellulosic Ethanol*. New York, Springer, p.2011, cap.13, p.199-239.

LUNA, Fernando. Modificação de zeólita para uso em catálise. *Química Nova*, Campos dos Goytacazes, v. 24, n. 6, p.885-892, dez. 2001.

MACEDO, I.C.; Estado da arte e tendências tecnológicas para energia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2003. 50p.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares, 2013. ([http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/detalhe\\_cultivar.php?codsr=30886](http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=30886)). Acesso em Janeiro, 2021.

MARCONI, M.A. & LAKATOS, E.M. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisas, elaboração, análise e interpretação de dados. 6ª edição, São Paulo: Atlas, 2007.

MARTINS, G.A. & PINTO, R.L. Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos. São Paulo: Atlas, 2001.

MATSUOKA, S.; BRESSIANI, J.; MACCHERONI W.; FOUTO, I. Sugarcane Bioenergy. In: Santos, F.; Borém, A. e Caldas, C. Editores. Sugarcane: Bioenergy, Sugar and Ethanol - Technology and Prospects. Viçosa, MG – Suprema, 2012, cap.18, p.471-500.

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A.J.; SANTOS, E.G.D.; TOMAZELA, A.L.; RUBIO, L.C. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects. *Advances in Botany*, v.2014, p.1-13, 2014.

MICHELLON, E. Et al. Breve descrição do Proálcool e perspectivas futuras para o etanol produzido no Brasil. SOBER, 2008.

MILANEZ, A. Y. et al. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar - uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. BNDES Setorial, n. 41, 2015.

MING, R.; MOORE, P.H.; D`HONT, A.; GLASZMANN, J.C.; TEW, T.L.; MIRKOV, T.E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHELL, R.J.; BRUMBLEY, S.M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J.C.; PATERSON, A.H. Sugarcane Improvement through Breeding and Biotechnology. In:

JANICK, J. Plant breeding reviews. New York, John Wiley & Sons, 2006, cap.2, p.15-118.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EPE - Empresa de Pesquisa Energética. RenovaBio. Nota explicativa sobre a proposta de criação da Política Nacional de Biocombustíveis. 25/08/2017b. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/documents/36224/460049/RenovaBio+-+Nota+Explicativa.pdf/08c6adbe-afea-5456-514ee2bc9b6a30d0?version=1.0#:~:text=Diferentemente%20de%20medidas%20tradicionais%2C%20o,gasolina%20e%20biodiesel%20no%20diesel>). Acesso em: jan. 2021.

MORSCHBACKER, Antonio. Bio-Ethanol Based Ethylene. Centro de Tecnologia e Inovação. Braskem S.A. Porto Alegre, 2008.

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

MURPHY, J.D; MCCARTHY, K. Ethanol production from energy crops and wastes for use as a transport fuel in Ireland. *Applied Energy*, v. 82, pp. 148-166, 2005.

NATALE NETTO, João. A saga do álcool: fatos e verdades sobre os 100 anos da história do álcool combustível em nosso país. Osasco, SP: Novo Século, 2007. p.343.

NOVACANA. Raízen fala em ampliar produção de etanol celulósico ou construir nova usina. 2017c. Disponível em: [Raízen fala em ampliar produção de etanol celulósico ou construir uma nova usina | novaCana.com](http://novaCana.com). Acesso em: 15 de fevereiro de 2021.

NUNES, P. B. Caracterização logística do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil. 2010. Monografia de conclusão de curso – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba (SP), 2010.

NUNES, R. M. et al. Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 14, n. 22, p. 113-238, jul./dez. 2013.

OLIVEIRA, L., REIS, M., PEREIRA, A., Resíduos Sólidos Urbanos: Lixo ou Combustível. *Anais XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2000.

PACHECO, T. F. Produção de etanol: Primeira ou Segunda Geração. *Circular Técnica* 04, p. 1 – 6. 2011.

PARAZZI, C. & PERRARRI, S. E. (1981). O processo de extração de açúcar por difusão na agroindústria canavieira. *Brasil Açucareiro*. V. 98, Nº 3, setembro 1981, pp. 18-32.

PARRA, J. R. et al. Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores São Paulo: Manole, 2002.

PELLEGRINI, L. F. Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade. *Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2009.

PINHEIRO, Junior Cesar. Análise da dinâmica das áreas ocupadas pela cultura canavieira no Brasil entre 1990 e 2013: uma contribuição ao estudo do circuito espacial produtivo do setor sucroenergético. 2015. 1 recurso online (170 p.). *Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/286588>>. Acesso em: jan. 2021.*

PINTO, D.M.L. Avaliação da partida da digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos inoculados com percolado. *Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos* 175 p., 2000.

POLANCZYK, R. et al. Pragas de cana-de-açúcar x métodos alternativos de controle. Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento – n. 33, jul/dez 2004.

Processos de Moagem e Difusão para a extração do caldo da cana-de-açúcar. Dra. Sandra Helena da Cruz (ESALQ / USP), 2017.

RABELO, S. C. Avaliação e otimização de pré-tratamento e hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol de segunda geração. 2010. 414 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2010.

RAMÃO, F. P.; SCHNEIDER, I. E.; SHIKIDA, P. F. A. Padrão tecnológico no corte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no estado do Paraná. Revista de Economia Agrícola, São Paulo, v. 54, n. 1, p. 109-122, jan./jun. 2007.

REN21. Renewables 2020 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. 2020

SANTA CRUZ, Luiz Felipe Lomanto et al. Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão. Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online), n. 29, p. 111-127, 2013.

SANTOS, D. S. Produção de etanol de segunda geração por *Zymomonas mobilis* naturalmente ocorrente e recombinante, empregando biomassa lignocelulósica. Tese, UFRJ, 288 p., 2012.

SCHEIDL, Herbert Scheidl Abude; SIMON, Alexandre Tadeu. Avaliação do processo de terceirização do corte mecanizado, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. Revista de Ciência & Tecnologia, v. 17, n. 33, p. 103-118, 2012.

SEABRA, J. E. A. Análise de opções tecnológicas para o uso integral da biomassa no setor de cana de açúcar e suas implicações. Dissertação (Doutorado em Engenharia



Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

SEJIMO, W. N. Obtenção do Álcool Anidro. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Biocombustíveis – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Araçatuba). 44p. 2011.

SILVA, F. V. Panorama e perspectivas do etanol lignocelulósico. Rev. Liberato, Novo Hamburgo, v. 13, n. 20, p. 01-XX, jul./dez. 2012.

SOUZA, J. R. Dissertação de Mestrado - Dessulfurização de gás natural usando peneiras moleculares, UFRN/PPGEQ/ANP PRH 14, 2002.

SOUZA, M. E., FUZARO, G. & POLEGATO, A. R. Thermophilic Anaerobic Digestion of Vinasse in Pilot Plant UASB Reactor. Water Science and Technology, v. 25, n. 7, p. 191-200, 1992.

SOUZA, Zilmar José de et al. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação. 2003.

STUPIELLO, J. P.; A cana de açúcar como matéria prima. IN: Cana de Açúcar Cultivo e Utilização. Fundação Cargil, Campinas-SP, Volume 2, 1987.

SUZOR, N. C.; BOUVET, P.E. Identifying the basic conditions for economic Generation of public electricity from surplus bagasse in sugar mill. Washington: The World Bank Industry and Energy Department, 1991. (Energy Series Paper, nº 34).

TEW, T.L.; COBILL, R.M. Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. Genetic Improvement of Bioenergy Crops. Springer, New York, 2008. cap. 9, p. 273-294.

TRENTINI, M.; PAIM, L. Pesquisa em Enfermagem. Uma modalidade convergente-assistencial. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

US DoE – U.S Department of Energy, breaking the biological barriers to cellulosic ethanol: a joint research agenda. DOE/SC-0095, Office of Science and Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. ([www.doe.genomestolife.org/biofuels/](http://www.doe.genomestolife.org/biofuels/)). Washington DC, USA, 2006.

WOOLEY, R.; RUTH, M.; SHEEHAN, J.; IBSEN, K.; MAJDESKI, H.; GALVEZ, A. Lignocellulosic biomass to Ethanol – Process prehydrolysis and enzymatic hydrolysis – Current and Futuristic scenarios. Report TP-580-26157, NREL, Golden, Colorado, USA; 1999.