
Faculdade Nilo De Stéfani
Trabalho de Graduação

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA”
FACULDADE NILO DE STÉFANI DE JABOTICABAL - SP (Fatec-JB)
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM BIOCOMBUSTÍVEIS

**ETANOL DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO: DIFERENÇAS, DESAFIOS E
PERSPECTIVAS.**

GABRIELA APARECIDA DA SILVA

PROF.(A) ORIENTADOR(A): Dr^a EDILENE DEISE DA SILVA FERRACINE

PROF.(A) COORIENTADOR(A): Me. RITA DE CÁSSIA VIEIRA

JABOTICABAL, S.P.

2024

GABRIELA APARECIDA DA SILVA

**ETANOL DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO: DIFERENÇAS, DESAFIOS E
PERSPECTIVAS.**

Trabalho de graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnóloga em Biocombustíveis.

Orientadora: Profa. Dr^a Edilene Deise da Silva Ferracine

Coorientadora: Profa. Me. Rita de Cássia Vieira

JABOTICABAL, S.P.

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Silva, Gabriela.
Etanol de Primeira e Segunda Geração: Diferenças, Desafios e Perspectivas. /
Gabriela Aparecida da Silva. — Jaboticabal: Fatec Nilo de Stéfani, 2024.

xxp.

Orientador: Edilene Deise da Silva Ferracin
Coorientador: Rita de Cássia Vieira

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em
Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani - Jaboticabal, 2024.

1. Biocombustíveis. 2. Etanol de primeira geração. 3 Etanol de segunda
geração. I. Ferracine, Edilene Deise da S. II. Aspectos gerais da produção de
Etanol de Primeiro e Segunda Geração

GABRIELA APARECIDA DA SILVA

**ETANOL DE PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO: DIFERENÇAS, DESAFIOS E
PERSPECTIVAS.**

Trabalho de Graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnóloga em Biocombustíveis.

Orientador: Edilene Deise da Silva Ferracine

Coorientador: Rita de Cássia Vieira

Data da apresentação e aprovação: ____/____/____.

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA

Presidente e Orientador: Dr^a Edilene Deise da Silva Ferracine

**Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani (Fatec), Jaboticabal, Estado de São Paulo,
Brasil.**

Segundo membro da banca examinadora: Me. Marcio Cristian Sandro dos Santos

**Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani (Fatec), Jaboticabal, Estado de São Paulo,
Brasil.**

Terceiro membro da banca examinadora: Dr. Valciney Gomes de Barros

**Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani (Fatec), Jaboticabal, Estado de São Paulo,
Brasil.**

Local: Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Jaboticabal – SP – Brasil

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que me apoiaram e me incentivaram durante todo este processo, não permitindo que me abdicasse desta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu chegar até aqui, a minha família e a todos por toda dedicação e paciência contribuindo para que concluísse essa jornada acadêmica.

À minha orientadora Edilene Deise da Silva Ferracine e coorientadora Rita de Cássia Vieira e a todos os professores que sempre estiveram dispostos a auxiliar e a oferecer o seu melhor para que usufruísse do melhor aprendizado.

À banca avaliadora por aceitarem o convite e estarem presentes neste momento tão importante.

À todos os membros da Fatec de Jaboticabal, sendo gestores, professores, funcionários, entre outros.

EPÍGRAFE

“O impossível é apenas uma questão de perspectiva”.

(Frank Betin).

SILVA, Gabriela. Análise comparativa da produção do etanol de primeira e segunda geração. Trabalho de Graduação. Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. 38 p. 2024.

RESUMO

Com o aquecimento global e as mudanças climáticas, as preocupações com o meio ambiente se intensificaram nas últimas décadas e a busca por fontes de energias renováveis se tornaram essenciais. O Brasil possui uma matriz energética onde quase metade de seu consumo energético é proveniente de fontes renováveis, sendo o carvão vegetal, hidráulica, eólica, solar e de derivados da cana-de-açúcar. Devido à boa adaptação da cana-de-açúcar em diversas regiões do país, o Brasil hoje é o maior produtor de cana-de-açúcar e a partir de seu processamento industrial obtemos a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade. A produção e consumo do etanol, se deu no século XX, com a criação do Programa Nacional do Álcool – Proálcool, em 14 de novembro de 1975, como resposta à Crise do Petróleo. Atualmente, o etanol é dividido em etanol de primeira e segunda geração e pode ser produzido por diferentes matérias-primas. O etanol de primeira geração é produzido a partir do caldo fermentado da cana-de-açúcar ou da hidrólise do amido presente no milho. Já o etanol de segunda geração é aquele produzido pelos resíduos lignocelulósicos provenientes da indústria sucroenergética. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar uma análise comparativa das tecnologias empregadas para a produção de etanol de 1ª e 2ª geração, assim como os desafios e oportunidades no contexto nacional através de uma revisão bibliográfica sobre o tema.

Palavras-chave: Etanol 1ª geração; Etanol 2ª geração; Cana-de-açúcar; Milho; Lignocelulósica.

SILVA, Gabriela. Análise comparativa da produção do etanol de primeira e segunda geração. Trabalho de Graduação. Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal. 38 p. 2024.

ABSTRACT

With global warming and climate change, concerns about the environment have intensified in recent decades and the search for renewable energy sources has become essential. Brazil has an energy matrix where almost half of its energy consumption comes from renewable sources, including charcoal, hydraulic, wind, solar and sugarcane derivatives. Due to the good adaptation of sugar cane in different regions of the country, Brazil is today the largest producer of sugar cane and from its industrial processing we obtain the production of sugar, ethanol and bioelectricity. The production and consumption of ethanol took place in the 20th century, with the creation of the National Alcohol Program – Proálcool, on November 14, 1975, as a response to the Oil Crisis. Currently, ethanol is divided into first and second generation ethanol and can be produced using different raw materials. First generation ethanol is produced from fermented sugar cane juice or from the hydrolysis of starch present in corn. Second-generation ethanol is that produced by lignocellulosic waste from the sugar-energy industry. Therefore, the general objective of this work is to present a comparative analysis of the technologies used for the production of 1st and 2nd generation ethanol, as well as the challenges and opportunities in the national context through a bibliographical review on the topic.

Keywords: 1st generation ethanol; 2nd generation ethanol; Sugar cane; Corn; Lignocellulosic.

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1	Representação esquemática da parede celular da célula vegetal	26
Imagem 2	Processo de produção do etanol de segunda geração	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Área, produção e produtividade brasileira de cana-de-açúcar (Safras 2020/21 a 2022/23).....	19
Tabela 2	Produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar por região.....	19
Tabela 3	Produção brasileira de etanol de milho por região.....	20
Tabela 4	Produção mundial de etanol (Milhões de litros).....	20
Tabela 5	Composição química de biomassa celulósicas.....	27
Tabela 6	Comparação entre hidrólise ácida de hidrólise enzimática.....	31

LISTA DE FLUXROGRAMAS

Fluxograma 1	Processo de produção: Etanol 1G e Etanol 2G.....	21
Fluxograma 2	Processo simplificado de produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas.....	22
Fluxograma 3	Processo de produção de etanol de cana.....	23
Fluxograma 4	Processo de produção de etanol de milho.....	25

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Métodos de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos.....	28
Quadro 2	Processo simplificado de produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
E1G	Etanol de Primeira Geração
E2G	Etanol de Segunda Geração
GEE	Gases de Efeito Estufa
INPM	Instituto Nacional de Pesos e Medidas
MEG	Monoetilenoglicol
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. MERCADO DO ETANOL.....	18
2.2. ETANOL PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO	21
2.3. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL	22
2.4. PROCESSO PRODUTIVO:	23
2.4.1. ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO – E1G	23
2.4.1.1. CANA-DE-AÇÚCAR.....	23
2.4.1.2. MILHO.....	24
2.4.2. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO.....	26
2.4.2.1. BAGAÇO E PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR	26
2.4.2.1.1. PRÉ-TRATAMENTO.....	28
2.4.2.1.2. HIDRÓLISE.....	29
2.4.2.1.2.1. HIDRÓLISE ÁCIDA	30
2.4.2.1.2.2. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA.....	30
2.4.2.3. FERMENTAÇÃO E DESTILAÇÃO	31
3. ANÁLISE COMPARATIVA.....	32
4. CONCLUSÃO.....	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

As preocupações com o meio ambiente se intensificaram nas últimas décadas ganhando projeção internacional. O aquecimento global e as mudanças climáticas entraram na pauta e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) têm sido alvo das políticas ambientais de diversos países (NYKO; GARCIA, 2010).

Com o propósito de minimizar os impactos ambientais ocasionados pela utilização de combustíveis de origem fóssil, a introdução da produção e utilização de combustíveis renováveis tem-se destacado como opção primordial.

Os combustíveis renováveis, comumente conhecidos como biocombustíveis são derivados de biomassa vegetal e apresentam duas vantagens significativas: sua usabilidade permite reduzir a emissão de gás carbônico para a atmosfera reduzindo a emissão de gases do efeito estufa, e são considerados ecologicamente favoráveis, uma vez que liberam 50% menos material particulado e 98% menos enxofre, além de serem biodegradáveis e não tóxicos (NUNES et al., 2013).

A matriz energética mundial ainda concentra em sua totalidade, a utilização de combustíveis de origem fósseis, como o carvão, gás natural e o petróleo, correspondendo a cerca de 80% do consumo mundial de energia. O Brasil, já possui uma matriz energética ainda mais sustentável, sendo que 47% de seu consumo energético é proveniente de fontes renováveis, sendo o carvão vegetal, hidráulica, eólica, solar e de derivados da cana-de-açúcar (EPE,2024).

No Brasil essa notoriedade para a produção e consumo de combustível renovável, principalmente o etanol, se deu no século XX, com a criação do Programa Nacional do Álcool – o Proálcool, em 14 de novembro de 1975, como resposta à Crise do Petróleo daquela época. Essa foi uma iniciativa conjunta do governo, fabricantes de automóveis e acadêmicos que resultou no maior programa de incentivo de produção de biocombustíveis a partir da cana-de-açúcar. (ANFAVEA,2024).

Devido à boa adaptação da cultura em várias regiões do país, o Brasil hoje é o maior produtor de cana-de-açúcar e a partir de seu processamento industrial obtemos a produção de açúcar, etanol e bioeletricidade. Esse avanço tem colaborado para o surgimento de novas tecnologias e o aumento de instalações de novas usinas em todo o país. Dentre essas tecnologias, está a utilização do subproduto da biomassa para a geração de calor, bioeletricidade e a produção de etanol de segunda geração (NUNES, 2017).

O etanol (C_2H_6O) denominado álcool etílico, é um líquido claro com odor característico e altamente inflamável produzido especialmente via fermentação de açúcares. Possui uma ampla gama de aplicação, como em bebidas alcoólicas, solventes, perfumaria, artigos de higiene pessoal, desinfetantes, vernizes, combustível, na fabricação de plásticos, borracha e medicamentos (CETESB, 2020).

No processo industrial são obtidos dois tipos de etanol: o anidro e o hidratado.

- Etanol anidro não possui água e por essa razão seu teor alcoólico é muito mais elevado, sendo de 99,3° INPM (Instituto Nacional de Pesos e Medidas). Para se obter este tipo de etanol, é adicionado o processo de desidratação, podendo ser: desidratação por meio azeotrópico, desidratação por monoetilenoglicol (MEG) ou desidratação por peneiras moleculares. Uma de suas principais aplicações é na mistura com a gasolina com objetivo de baratear o custo do combustível, além de estar presente em solventes, tintas e aerossóis.

- Etanol hidratado: possui como teor alcoólico mínimo de 92,6° INPM e é aquele comumente vendido nos postos de combustíveis. Esse tipo de álcool inclusive é utilizado na produção de bebidas, alimentos, cosméticos, aromatizantes, produtos de limpeza, remédios e vacinas (NUNES, 2017).

No Brasil, o biocombustível mais utilizado e conhecido é o etanol de primeira geração, proveniente da fermentação do caldo da cana-de-açúcar. Com o advento dos motores flexíveis (flex-fuel), o etanol pode substituir a gasolina em até 100%, sendo normalmente utilizado em veículos leves. Outros biocombustíveis, no entanto, vêm ganhando espaço, como o etanol de segunda geração, o biodiesel e o biometano. O etanol de segunda geração, também chamado de etanol celulósico ou de lignocelulose, é obtido a partir da quebra de cadeias de celulose presentes nas fibras dos vegetais. Esse biocombustível permitiria o uso de uma gama muito maior de matérias primas, inclusive resíduos vegetais (MARIN; FUGGI, 2021, p. 6).

Diante do contexto apresentado e com a crescente demanda pela busca de se utilizar combustíveis de origem renovável e de aproveitar os resíduos provenientes do setor sucroalcooleiro, tendo como principal o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, o presente trabalho tem como objetivo geral apresentar uma análise comparativa das tecnologias empregadas para a produção de etanol de 1ª e 2ª geração, assim como os desafios e oportunidades no contexto nacional através de uma revisão bibliográfica sobre o tema.

Com esse intuito, o objetivo específico será fundamentado em explorar os processos produtivos de ambos, etanol 1ª e 2ª geração, E1G e E2G, respectivamente, destacando as principais matérias primas atualmente empregadas, como cana-de-açúcar e o milho para a

produção de etanol de 1ª geração e o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, para a produção de etanol de 2ª geração.

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

2.1. MERCADO DO ETANOL

Segundo VIDAL (2022)

[...] O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, com 27,5% do volume global em 2021, quase que totalmente de cana-de-açúcar, embora nas últimas safras tenha-se observado importante crescimento da utilização do milho para produção de etanol no País [...].

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Com isso, conta com 426 usinas sucroalcooleira distribuídas em seu território, sendo 227 unidades localizadas na região Sudeste, 84 no Centro-Oeste, 74 no Nordeste, 36 no Sul e 5 no Norte (DUARTE, 2024).

De acordo com a União Nacional de Etanol de Milho (UNEM), o Brasil também conta com 18 usinas de etanol de milho em operação. Sendo que, 11 dessas usinas estão instaladas nos municípios mato-grossenses de Lucas do Rio Verde, Sorriso, Sinop, Nova Mutum, Poconé, Nova Marilândia, São José do Rio Claro, Jaciara e Campos de Júlio (PETROLI, 2023). Sendo que em 2017, foi inaugurada pela FS Bioenergia a primeira usina de produção de etanol exclusivamente a partir do milho no município de Lucas do Rio Verde-MT (RIBEIRO, 2023).

Quando nos referimos sobre o mercado do etanol de segunda geração, vale destacar que no Brasil existem dois grupos que já operam neste novo contexto tecnológico, sendo a GranBio, com a unidade de São Miguel dos Campos no estado de Alagoas e a Raízen, com unidades em pleno funcionamento nos municípios de Piracicaba, ao lado da Usina Costa Pinto e em Guariba, anexa à Usina Bonfim, ambas no estado de São Paulo. Além destas, o grupo Raízen conta com projeto de expansão que totalizará 20 unidades para produção de etanol de segunda geração que terão como capacidade produzir 1.6 bilhão de litros por ano. (NOVACANA, 2022; UDOP, 2024).

O mercado de produção de etanol de segunda geração é crescente e atrativo para a indústria do setor sucroenergético, em razão de que é uma alternativa para o aproveitamento

da biomassa da cana e de outros resíduos agrícolas, pois são fontes renováveis de energia, mesmo que investimentos tecnológicos devam ser feitos (MARTINS, 2018).

A produção brasileira de etanol proveniente da cana-de-açúcar na safra 2023/2024 registrou um aumento de 11,9%, totalizando 29,69 bilhões de litros. No mesmo ano safra, o etanol de milho teve um novo recorde de produção, quando comparado com a última safra, totalizando 33,1% que corresponde ao volume de 5,92 bilhões de litros de combustível e o etanol de segunda geração obteve uma produção de 36 milhões de litros pelo Grupo Raízen. (CANAL RURAL, 2024; CONAB, 2024.).

A produção de cana-de-açúcar e consequentemente de etanol no Brasil está concentrada na região Sudeste e Centro-Oeste (Tabela 1), sendo o Estado de São Paulo responsável por 36% da produção total do país de etanol tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar (Tabela 2) e o Estado de Mato Grosso, responsável por 73% da produção de etanol de milho (Tabela 3) (LENNON, 2024).

Tabela 1 - Área, produção e produtividade brasileira de cana-de-açúcar (Safras 2020/21 a 2022/23).

Região	Área (Em mil ha.)			Produção (Em mil t)			Produtividade (kg/ha.)		
	2020/21	2021/22	2022/23(¹)	2020/21	2021/22	2022/23(¹)	2020/21	2021/22	2022/23(¹)
Norte	45,7	45,0	47,5	3.488,8	3.855,53	4.082,8	76.392	85.659	86.007
Nordeste	849,7	847,4	867,3	48.448,3	51.062,1	52.929,1	57.017	60.260	61.030
Centro-Oeste	1.823,3	1.806,7	1.787,2	139.804,7	131.370,3	135.531,3	76.676	72.712	75.834
Sudeste	5.378,0	5.095,3	5.015,8	428.592,7	366.929,9	373.732,8	79.694	72.013	74.511
Sul	519,4	522,9	491,5	34.193,2	31.961,6	29.790,3	65.828	61.121	60.606
Brasil	8.616,1	8.317,3	8.209,3	654.527,8	585.179,4	596.066,3	75.965	70.357	72.609

Fonte: Conab, 2022.

Tabela 2 – Produção brasileira de etanol de cana-de-açúcar por região.

Região	Etanol de cana-de-açúcar								
	Anidro			Hidratado			Total		
	2020/21	2021/22	2022/23(¹)	2020/21	2021/22	2022/23(¹)	2020/21	2021/22	2022/23(¹)
Norte	125.738	134.368	166.664	109.621	129.351	94.153	235.359	263.719	260.817
Nordeste	832.897	930.604	831.634	1.069.530	969.921	747.878	1.902.427	1.900.525	1.579.512
Centro-Oeste	1.919.991	2.335.963	2.083.548	6.868.978	6.022.700	6.371.267	8.788.969	8.358.663	8.454.815
Sudeste	5.987.922	6.647.390	5.832.883	11.657.450	8.465.453	7.588.014	17.645.372	15.112.843	13.420.897
Sul	455.264	556.242	515.518	719.032	592.839	580.186	1.174.296	1.149.080	1.095.703
Brasil	9.321.812	10.604.567	9.430.247	20.424.611	16.180.264	15.381.497	29.746.423	26.784.830	24.811.744

Fonte: Conab, 2022.

Tabela 3 - Produção brasileira de etanol de milho por região.

Região	Etanol de milho								
	Anidro			Hidratado			Total		
	2020/21	2021/22	2022/23(*)	2020/21	2021/22	2022/23(*)	2020/21	2021/22	2022/23(*)
Norte	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nordeste	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Centro-Oeste	855.000	894600	1.005.900	2.046.848	2.465.845,0	2.725.545,0	2.901.848	3.360.445,0	3.731.445
Sudeste	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sul	77.945	77.945,0	77.945,0	34.828	34.828,0	34.828,0	112.773	112.773,0	112.773
Brasil	932.945	972.545	1.083.845	2.088.876	2.500.673	2.760.373	3.021.821	3.473.218	3.844.218

Fonte: Conab, 2022.

No cenário do mercado mundial, a produção de etanol nos Estados Unidos, corresponde a cerca de 54,9%, tornando os maiores produtores e exportadores do produto em escala mundial. Os países que compõem a União Europeia, ocupam a terceira posição do ranking tendo como parte significativa o etanol produzido a partir de grãos, como trigo e milho. A China é o quarto maior produtor mundial de etanol, com plantas industriais a base de grãos como milho, arroz, trigo e tubérculo, como a mandioca. Índia, Tailândia, Canadá e Argentina, completam o ranking dos oito maiores produtores mundiais de etanol (Tabela 4) (VIDAL, 2022).

Tabela 4 - Produção mundial de etanol (Milhões de litros).

Países	2017	2018	2019	2020	2021	%
EUA	60.324	60.911	59.726	52.772	56.781	54,9
Brasil	25.589	30.586	33.274	30.586	28.391	27,5
União Europeia	4.997	5.148	5.224	4.770	4.921	4,8
China	3.218	3.066	3.823	3.520	3.255	3,1
Países	2017	2018	2019	2020	2021	%
Índia	795	1.590	1.779	1.931	3.104	3,0
Canadá	1.741	1.741	1.893	1.628	1.666	1,6
Tailândia	1.438	1.476	1.628	1.476	1.476	1,4
Argentina	1.098	1.098	1.098	795	984	1,0
Selecionados	99.200	105.617	108.444	97.478	100.578	97,3
Outros	2.514	2.760	2.582	2.495	2.801	2,7
Mundo	101.714	108.376	111.026	99.973	103.380	100,0

Fonte: VIDAL, 2022.

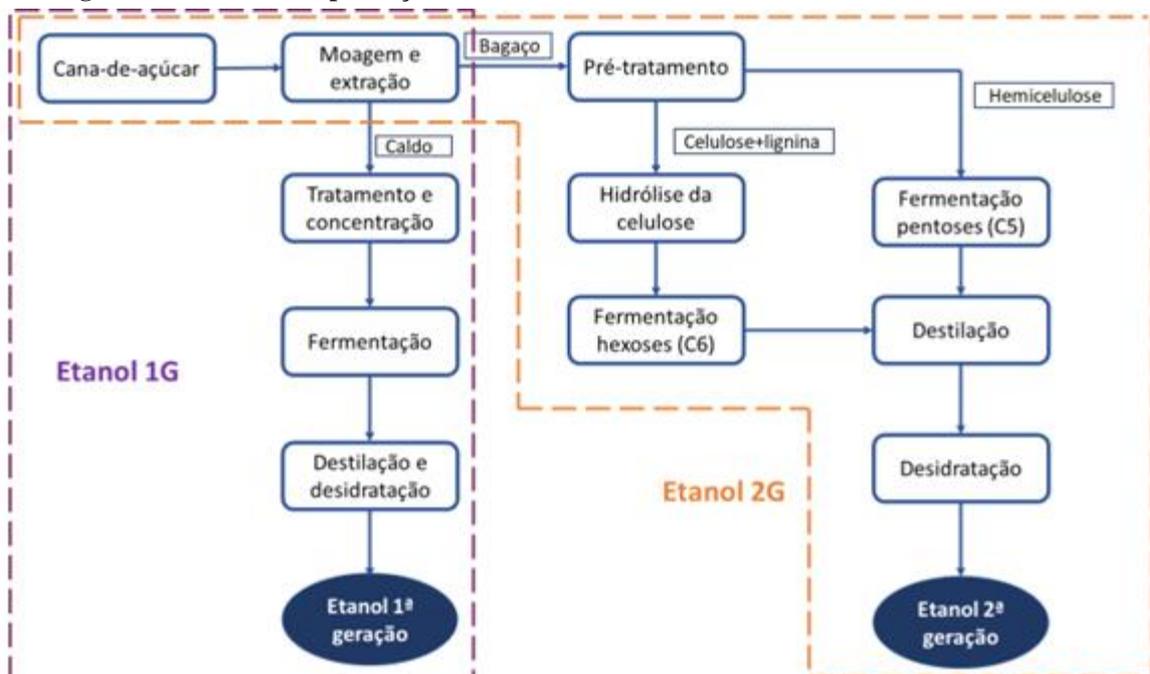
2.2. ETANOL PRIMEIRA E SEGUNDA GERAÇÃO

Considerando o etanol de primeira geração a partir da cana-de-açúcar, será aquele obtido através da fermentação dos açúcares presentes no caldo, como a sacarose.

Por sua vez, o etanol de segunda geração, é produzido a partir dos resíduos provenientes do processo de produção do etanol de primeira geração, como a palha e o bagaço, a partir da quebra dos polissacarídeos (celulose) presentes na parede celular vegetal por meio de processos de pré-tratamento e hidrólise. Os materiais celulósicos ou lignocelulósicos são constituídos principalmente por celulose, hemicelulose e lignina. Sendo a celulose e a hemicelulose as estruturas mais significativas, constituindo em aproximadamente 70% da biomassa total e formadas por polímeros de monômeros de açúcares fermentescíveis (AGUIAR, 2017).

O que distingue a produção de etanol de primeira geração, como no caso da cana-de-açúcar e do milho e a produção do etanol de segunda geração, tendo como matéria-prima biomassa celulósica é que, no caso da segunda geração, além do processo convencional de produção ocorrem as etapas de pré-tratamento e hidrólise da celulose antes do processo fermentativo.

Fluxograma 1: Processo de produção: Etanol 1G e Etanol 2G.



Fonte: MELO, 2020.

2.3. MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL

As matérias-primas utilizadas na produção de etanol, podem ser divididas em três grupos, sendo: sacarinas ou açucaradas, amiláceas e as celulósicas ou lignocelulósicas.

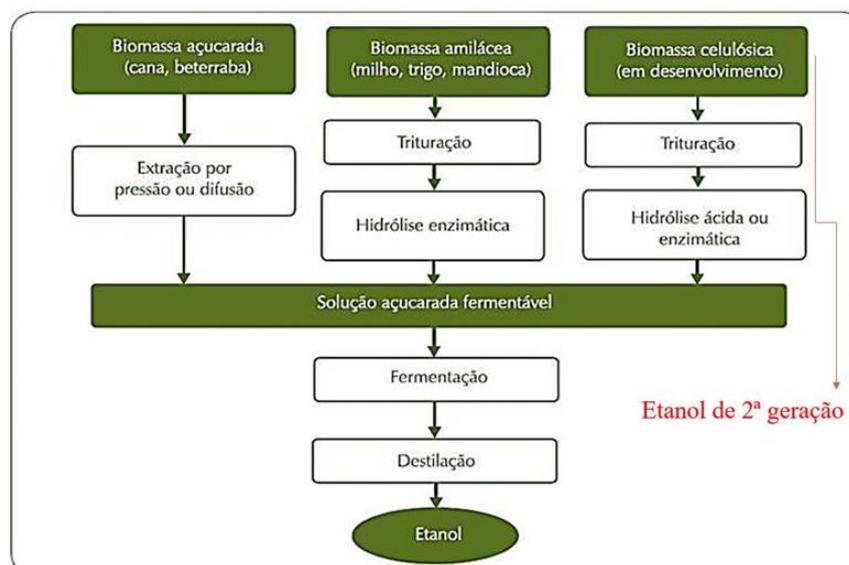
No grupo das sacarinas são utilizadas como principais matérias-primas a cana-de-açúcar e a beterraba açucareira, onde o etanol é obtido através do processo fermentativo da sacarose; as amiláceas, o açúcar a ser utilizado para o processo de conversão em etanol será o amido, comumente encontrado em batata, mandioca e milho; e as celulósicas ou lignocelulósicas o açúcar a ser aproveitado é a celulose, presente em madeira e resíduos agroindustriais, como o bagaço e palha da cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2014 apud MARTINS, 2018).

As matérias-primas amiláceas e celulósicas diferencia-se das sacarinas por não possuírem açúcares prontamente fermentáveis, requerendo uma etapa de conversão de seus polímeros de glicose em moléculas mais simples (Fluxograma 2) (SILVELLO et al., 2020).

De modo geral, para que a matéria-prima seja utilizada no processo produtivo de etanol, esta deve apresentar algumas características fundamentais, tais como: potencial agrônomo de cultivo em larga escala, elevado teor de glicídios (carboidratos) e que seu processo de industrialização seja viável.

Tendo como foco as matérias-primas mais utilizadas nos processos industriais no Brasil, será abordado especificamente sobre o processo produtivo de etanol de primeira geração utilizando como matéria-prima a cana-de-açúcar do grupo das sacarinas e o milho das amiláceas, e para o etanol de segunda geração o bagaço e a palha da cana-de-açúcar do grupo das celulósicas.

Fluxograma 2: Processo simplificado de produção de etanol a partir de diferentes matérias-primas.



Fonte: SILVELLO et al., 2020.

2.4. PROCESSO PRODUTIVO:

2.4.1. ETANOL DE PRIMEIRA GERAÇÃO – E1G

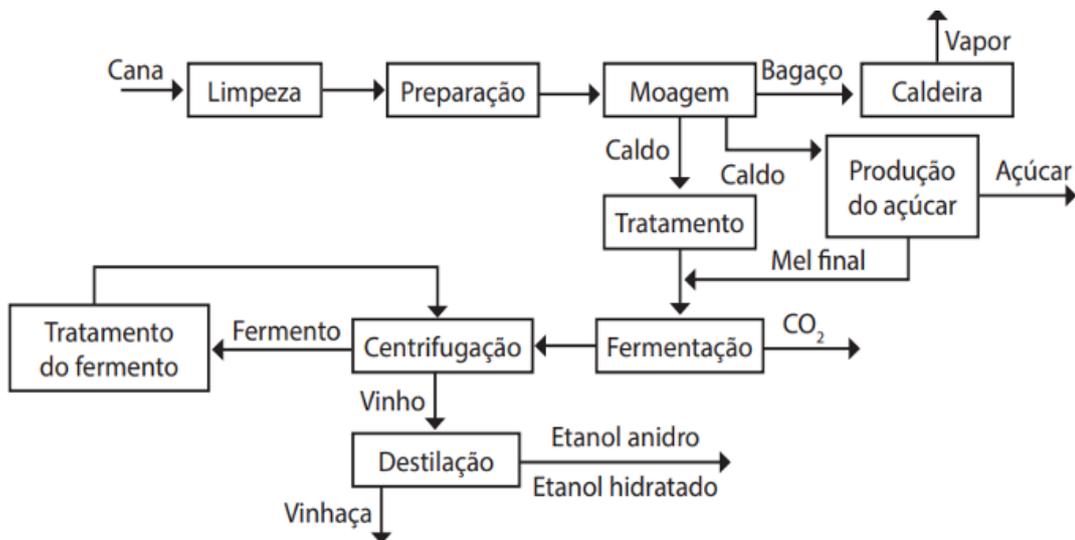
2.4.1.1. CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) pertence à família das gramíneas e é uma cultura semiperene, visto que depois do plantio pode ser cortada em média cinco vezes antes de ser replantada, tendo ciclo produtivo de seis anos (EMBRAPA, 2018).

A sacarose utilizada para a produção de etanol está presente em seus colmos, localizado na parte aérea da planta, onde também se concentram as pontas e folhas, que formam a palha da cana.

Para a produção do etanol de cana-de-açúcar, o processo industrial abrange as seguintes etapas de processamento (Fluxograma 3):

Fluxograma 3: Processo de produção de etanol de cana.



Fonte: SANTOS, 2020.

- Lavagem: chegando à usina, a cana-de-açúcar é colocada em uma esteira rolante onde é submetida a uma lavagem para a retirada de impurezas. Na sequência, a cana é picada e passa por um eletroímã para a retirada de materiais metálicos;
- Moagem: nessa etapa, a cana é moída por rolos trituradores, obtendo o caldo que será utilizado no decorrer do processo e o bagaço que é utilizado para a geração de bioenergia na própria unidade;
- Eliminação de impurezas: o caldo passa por uma peneira para a eliminação de impurezas. Posteriormente, para que haja a decantação de impurezas ainda presentes no caldo, ele é encaminhado para um tanque onde ficará em repouso. Após a decantação, o caldo é

extraído e passa a ser nomeado de caldo clarificado. O caldo clarificado, ainda passa pelo processo de esterilização, onde este é aquecido com o objetivo de eliminar microrganismos ainda presentes;

- Fermentação: após estar totalmente puro, o caldo é levado por meio de tubulação até as dornas, onde é misturado a ele um fermento com leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) que irão se alimentar do açúcar presente no caldo quebrando as moléculas de glicose, produzindo etanol e gás carbônico. Este processo dura de 8 a 10 horas e como resultado será produzido o vinho, conhecido também como vinho fermentado que possui leveduras, açúcar não fermentado e cerca de 10% de etanol;

- Centrifugação: a centrifugação é uma operação unitária com objetivo de separar a fase pesada do vinho levedurado, da fase líquida, o vinho. Uma boa centrifugação confere ao fermento uma melhor qualidade para ser reutilizado no processo (SANTOS, 2017).

- Destilação: com o etanol misturado ao vinho fermentado, o próximo passo é separá-lo por meio de colunas de destilação, onde o líquido é colocado e aquecido até evaporar, separando assim o vinho do etanol. Nesta fase, se obtêm o álcool hidratado com graduação alcoólica em torno de 96%;

- Desidratação: com o álcool hidratado pronto, basta retirar a água contido nele para se obter o álcool anidro. Essa etapa abrange diversas técnicas, tais como: desidratação por meio do processo azeotrópico, desidratação extrativa pelo monoetilenoglicol (MEG) e desidratação por peneira molecular. Após ser desidratado, tem-se o álcool anidro, com graduação alcoólica em cerca de 99,3%;

- Armazenamento: esta é a última etapa do processo produtivo onde o etanol anidro e hidratado são armazenados em tanques até serem transportados por caminhões até as distribuidoras (NOVACANA, 2021).

2.4.1.2. MILHO

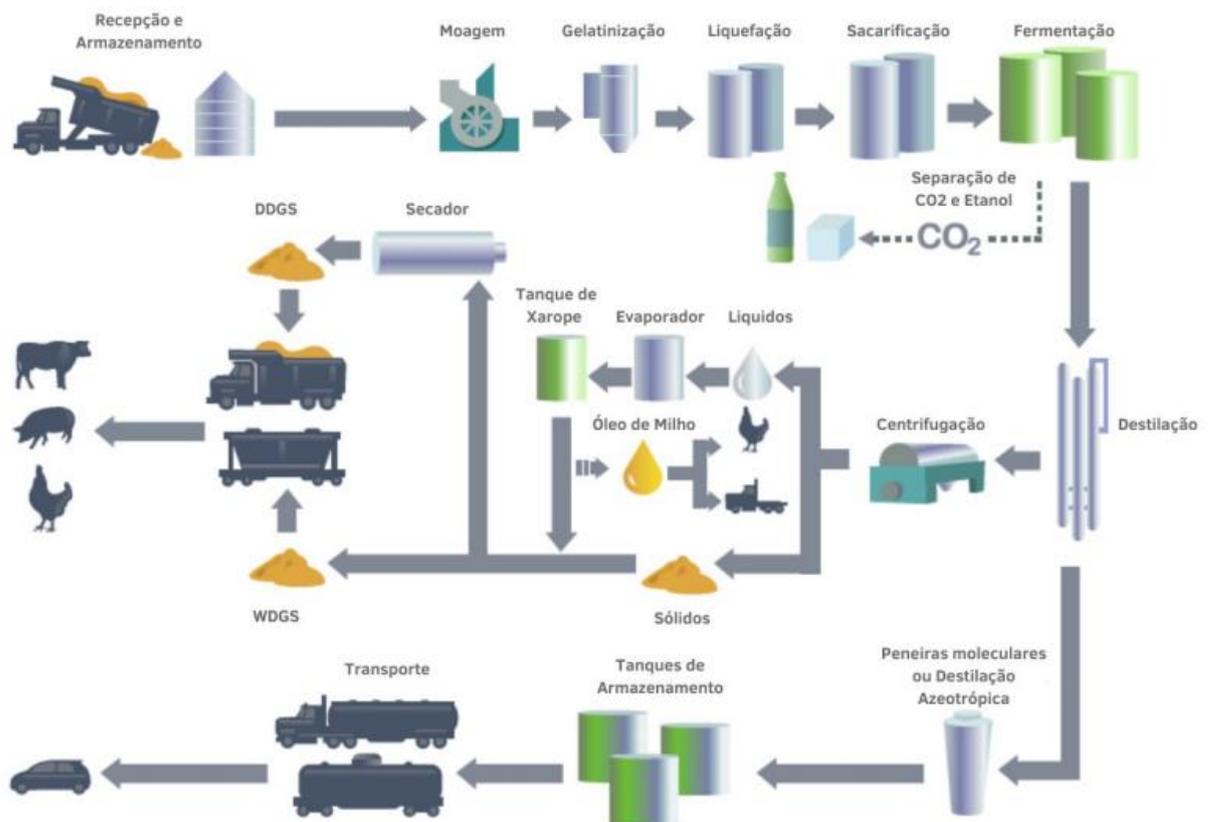
O milho é uma planta da família das gramíneas e da espécie *Zea mays L.*, com ciclo produtivo de 90 a 120 dias.

Segundo Nogueira (2021), durante o desenvolvimento vegetativo do milho, a planta armazena as moléculas de glicose produzidas durante o processo fotossintético nos grãos, na forma de amido, tendo como composição química em porcentagem de massa seca consiste em 72,7% de amido, 10,1% de proteína, 3,4% de lipídeos, 5,2% de fibras e 1,9% de cinzas.

Atualmente o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, atrás somente dos Estados Unidos (348,75 milhões de toneladas) e da China (277,20 milhões de toneladas), tendo sua produção distribuída em 65% para alimentação animal, e 11% para indústria de diversos fins, visto que seu uso industrial não se restringe apenas à indústria alimentícia, como também para utilização na produção de elementos espessantes e colantes e na produção de óleos e de etanol (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2024).

Existem três modelos de usinas de etanol de milho operando no Brasil: a Usina Full (ou dedicadas) que processa apenas milho para produção de etanol; a Usina Flex, que são usinas de cana-de-açúcar adequadas para produzir etanol de milho no período da entressafra da cana e o modelo flex full, que são usinas de cana e milho operando de maneira simultânea (SENAR, 2023).

Fluxograma 4: Processo de produção de etanol de milho.



Fonte: RIBEIRO, 2023.

A produção de etanol de milho pode ser realizada utilizando-se grãos recentemente colhidos com umidade em torno de 20% ou que estejam armazenados em silos, tendo de 12 a 13% de umidade. Estes grãos serão moídos para aumentar a superfície de contato e padronizar o material, além de facilitar a extração das moléculas de amido. Em seguida é realizada a adição

de água acidulada (pH ácido de 5,5), e esta solução é aquecida até a temperatura de 100°C dando início ao cozimento e ao processo de gelatinização das moléculas de amido presentes nos grãos formando uma pasta. Levando em consideração que o amido não é fermentável por leveduras do gênero *Saccharomyces cerevisiae*, se faz necessário o processo de hidrólise enzimática, com a adição de enzima α -amilase (enzimas amilolíticas) na pasta formada na etapa anterior para que ocorra a quebra das ligações das moléculas de amido, caracterizando o processo de liquefação. Em seguida, a pasta de milho é resfriada e a concentração de açúcares é próximo a 18° Brix, originando o mosto que receberá a enzima glucoamilase que é uma enzima sacarificante utilizada para produzir glicose a partir do amido e em seguida é inoculado leveduras do gênero *Saccharomyces cerevisiae*, iniciando o processo fermentativo que terá como duração de 24- 48 horas. Após consumo de todos os açúcares presentes, o mosto fermentado (vinho) será direcionado a colunas de destilação para recuperação do etanol (NOGUEIRA,2021).

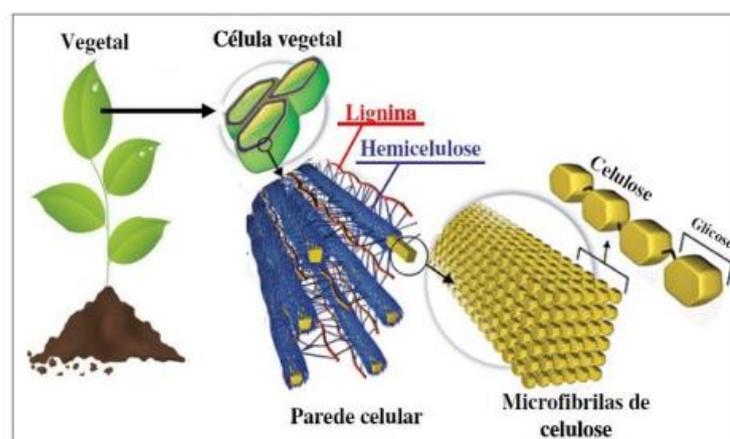
2.4.2. ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO

2.4.2.1. BAGAÇO E PALHA DA CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço e a palha da cana-de-açúcar é o principal subproduto da indústria sucroenergética, representando cerca de 28% do peso seco da cana-de-açúcar, além de ser um recurso biológico renovável abundante, sem custo elevado e que não compete em termos de área de produção.

O bagaço da cana-de-açúcar é constituído por 45% de celulose, 35% hemicelulose, 15% lignina e 5% de cinzas inorgânicas (BUORO, 2021).

Imagem 1: Representação esquemática da parede celular da célula vegetal



Fonte: MARTINS, 2018.

Tabela 5: Composição química de biomassa celulósicas.

Biomassa Lignocelulósica	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Talo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Algodão	95	2	0,3
Palha de trigo	30	50	15
Sisal	73,1	14,2	11
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3

Fonte: MARTINS, 2018.

Para a produção de etanol de segunda geração, é necessário disponibilizar a celulose e a hemicelulose. Para isso, temos que romper ou soltar a lignina destes compostos e isso acontece através de um processo altamente tecnológico de pré-tratamento da biomassa e hidrólise (RAÍZEN, 2023).

Imagem 2: Processo de produção do etanol de segunda geração.



Fonte: RAÍZEN, 2023.

2.4.2.1. PRÉ-TRATAMENTO

De acordo com o grupo Raízen (2023) o processo de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos tem como importância alterar a estrutura da biomassa de tal forma a aumentar sua área superficial e sua porosidade. Pode ser realizado por meio de métodos químicos, físicos, biológicos ou até mesmo de uma combinação entre eles.

O processo de obtenção de etanol de segunda geração pode ser feito sem o pré-tratamento da biomassa, porém, a eficiência das etapas de hidrólise e fermentação, aumentam significativamente com a sua realização.

O quadro abaixo apresenta os quatro métodos de pré-tratamento utilizados e uma breve descrição do que cada processo causa na estrutura da matéria-prima. E o Quadro 2, apresenta a uma sucinta descrição dos métodos mais utilizados.

Quadro 1: Métodos de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos.

Métodos	Operações (fatores) que ocasionam mudança na estrutura do substrato	Tipo de mudança	Referências
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 da área superficial e tamanho dos poros da partícula, diminuição do grau de polimerização.	(AZUMA et al., 1985; KOULLAS et al., 1992; RAMOS et al., 1993b).
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 (<i>Pleurotus</i> , <i>Pycnoporus</i> , <i>Ischnoderma</i> , <i>Phlebia</i> , 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: AGUIAR, 2017.

Quadro 2: Principais métodos de pré-tratamento de materiais lignocelulósicos.

Processo	Descrição	Tempo de reação	Rendimento de xilose	Custo*
Físicos				
Explosão de vapor	A biomassa triturada é tratada com vapor (saturado, 160°-260 °C) seguido de uma rápida descompressão	1-10 min	45%-65%	-
Termoidrólise	Utiliza água quente a alta pressão (pressões acima do ponto de saturação) para hidrolisar a hemicelulose	30 min	88%-98%	-
Químicos				
Hidrólise ácida	Por meio do uso de ácidos sulfúrico, clorídrico, ou nítrico, concentrados ou diluídos	2-10 min	75%-90%	+
Hidrólise alcalina	Pelo uso de bases, como hidróxidos de sódio ou cálcio	2 min	60%-75%	++
Organosolv	Uma mistura de um solvente orgânico (metanol, bioetanol e acetona, por exemplo) com um catalisador ácido (H ₂ SO ₄ , 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			
Combinados				
Explosão de vapor catalisada	Adição de H ₂ SO ₄ (ou SO ₄) ou CO ₂ 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%	
Explosão de CO ₂	Similar à explosão de vapor		75%	

Fonte: AGUIAR 2017.

Dos pré-tratamentos descritos anteriormente, o processo mais consolidado acadêmico e industrialmente, é o método físico por explosão a vapor.

2.4.2.2. HIDRÓLISE

A hidrólise é o segundo passo para a produção do etanol de segunda geração e possui como objetivo produzir, a partir dos polissacarídeos (celulose e hemicelulose) constituintes da biomassa, açúcares fermentescíveis (glicose e xilose).

A hidrólise é feita pela adição de água e os principais métodos utilizados são a hidrólise ácida e a hidrólise enzimática.

2.4.2.2.1. HIDRÓLISE ÁCIDA

A hidrólise ácida consiste na aplicação de ácido forte para que este quebre as ligações existentes entre os monossacarídeos e os polissacarídeos.

Neste processo pode ser utilizado o ácido sulfúrico, clorídrico ou trifluoroacético. A distinção entre estes três ácidos se deve à sua forma de atuação, pois os ácidos sulfúrico e clorídrico tem como alvo a celulose e a hemicelulose de forma similar, mas o ácido trifluoroacético hidrolisa preferencialmente as ligações do tipo α , das hemiceluloses. Neste tipo de hidrólise podem ser utilizados ácido diluído ou concentrado, que de acordo com AGUIAR (2017),

[...] na hidrólise ácida o uso de ácidos concentrados resulta em um maior rendimento na quebra das moléculas de celulose, mas em contrapartida, exige que os equipamentos utilizados sejam resistentes à corrosão, o que aumenta os custos do processo. Já o emprego de ácidos diluídos, apesar de reduzir os custos de aquisição de equipamentos, apresenta, originalmente, a quebra da celulose lenta, sendo necessárias maiores temperaturas para aumentar a velocidade da hidrólise e, desta forma, torná-lo mais rápido do que o processo que usa ácido concentrado, mas isto representa um problema, visto que temperaturas elevadas levam à maior degradação dos açúcares formados e da lignina residual e, conseqüentemente, à maior formação de inibidores[...].

2.4.2.2.2. HIDRÓLISE ENZIMÁTICA

As enzimas são moléculas orgânicas complexas, que em processos industriais são produzidas e secretadas por bactérias e fungos.

Entretanto, na hidrólise da celulose o processo por essas enzimas é bem mais complexo, já que envolve a quebra de polímeros mais resistentes, como a lignina e a hemicelulose que pode resultar na completa conversão de glicose (MELO, 2020).

Na hidrólise enzimática são utilizadas enzimas com atuação específica de catalizador, como por exemplo, as enzimas que hidrolisam a celulose são chamadas genericamente de celulases, as que hidrolisam a fração hemicelulósica da biomassa, sendo elas as xilanases, mananases, glucanases e galactanases, e as enzimas oxidativas que agem sobre a lignina, englobando a peroxidase, manganês peroxidase e lacase, definidas como fenoloxidasas (AGUIAR, 2017).

A hidrólise enzimática apresenta como vantagens a especificidade da enzima para o substrato, tornando o processo mais efetivo e promissor, realizado a baixas temperaturas e gerando uma quantidade mínima de inibidores, além de obter altos rendimentos, tornando esse um processo amplamente adotado e utilizado pelo grupo Raízen.

Tabela 6: Comparação entre hidrólise ácida e hidrólise enzimática

Variável	Hidrólise ácida	Hidrólise enzimática
Necessidade de pré-tratamento	Depende	Necessário
Condições de temperatura e pressão	Abruptas	Amenas
Formação de subprodutos inibidores	Provável	Não há
Velocidade de reação	Rápida	Lenta
Rendimento	Baixo	Alto

Fonte: adaptado de (Montes, 2017), por MELO, 2020.

2.4.2.3. FERMENTAÇÃO E DESTILAÇÃO

Uma vez disponibilizados os açúcares fermentescíveis, como a glicose e a xilose, seguem-se para as etapas seguintes de fermentação e destilação para a recuperação do etanol, que são semelhantes ao processo de fabricação do etanol de primeira geração. Contudo, a principal diferença é de que o açúcar gerado pela hidrólise da hemicelulose, a xilose, não é fermentável pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* requerendo o uso de uma levedura geneticamente modificada.

Existem quatro principais métodos de se realizar a etapa de fermentação, sendo:

- Hidrólise e Fermentação Separadas (SHF): método mais antigo, onde as etapas de hidrólise e fermentação são realizadas separadamente;
- Sacarificação e Fermentação Simultâneas (SSF): as etapas de hidrólise e fermentação são realizadas simultaneamente, no mesmo equipamento. Entretanto, este método refere-se apenas à hidrólise da celulose e à fermentação das hexoses;
- Sacarificação e Co-fermentação Simultâneas (SSCF): neste processo ocorre a hidrólise da celulose e a co-fermentação de todos os açúcares gerados a partir da biomassa lignocelulósica;
- Bioprocesso Consolidado (CPB): realizado de modo simultâneo pelo mesmo microrganismo com a produção de enzimas, hidrólise enzimática da celulose e a fermentação das pentoses e hexoses. No entanto, a aplicação industrial deste método é restrita visto à necessidade dos microrganismos utilizados serem capazes de produzir as enzimas que promovam a divisão dos polissacarídeos e além disso possuem elevado potencial

fermentativo, o qual não é presenciado nos microrganismos disponíveis no momento (AGUIAR, 2017).

3. ANÁLISE COMPARATIVA

O etanol de primeira geração que é o obtido pela fermentação do caldo da cana é um processo dominante, lucrativo e extremamente vantajoso para o Brasil, ocupando menos de 1% das terras cultiváveis do país, podendo expandir e otimizar sua produção sem competir com a produção alimentícia.

O rendimento energético das usinas sucroenergéticas de primeira geração é de aproximadamente apenas 30% do total de energia presente na planta, pelo fato de que somente a sacarose é aproveitada, sendo o bagaço e a palha da cana utilizados somente para a cogeração de energia e seu excedente tem-se tornado uma preocupação, visto que o processo não consegue reaproveitar todo o bagaço e palha gerado no processamento industrial e pela colheita da cana (AGUIAR, 2017).

Como alternativa para o reaproveitamento desses resíduos e expandir a eficiência energética, temos a produção do etanol de segunda geração, que apresenta uma baixa pegada de carbono – footprint, cerca de 30% se comparado com o etanol de primeira geração, além do aumento de 50% da produtividade industrial sem aumentar o tamanho da área plantada. Sem contar com o protagonismo e liderança brasileira a frente do mercado mundial com a produção deste biocombustível (RAÍZEN, 2023).

Contudo, apesar de ser uma alternativa próspera a produção deste etanol também apresenta alguns obstáculos, por se tratar de um processo complexo e altamente tecnológico. Alguns pontos ainda precisam ser melhor desenvolvidos, como qual método de pré-tratamento e hidrólise são mais viáveis, além de buscar alternativas para minimizar e erradicar a produção de inibidores.

Com relação ao etanol de primeira geração de milho, este vem se apresentando como uma alternativa suscetível principalmente pelo potencial de armazenamento dos grãos para posterior processamento, visando aspecto econômico e para ser utilizado durante o período de entressafra da cana-de-açúcar em indústria do modelo flex reduzindo o período em que a operação ficaria ociosa. Outro fator importante foi o crescimento da produtividade das safras de milho nos últimos anos possibilitando a utilização desse cereal para a produção de etanol, que como subproduto irá gerar o DDG que será utilizado para alimentação animal (RIBEIRO, 2023).

Porém, quando comparamos o custo de produção, o etanol de milho de primeira geração é o dobro se comparado com o de primeira geração a partir da cana-de-açúcar, sem considerar que o milho é uma commodity importante no cenário nacional, podendo haver variação de preço resultando em maior custo de produção.

4. CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto e tendo por finalidade atender o objetivo proposto no início deste trabalho, foram apresentados os processos produtivos do etanol de primeira e segunda geração, E1G e E2G, respectivamente, tendo como matéria-prima a cana-de-açúcar e o milho para a produção de etanol de 1ª geração e o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, para a produção de etanol de 2ª geração, assim como seus desafios e oportunidades.

No entanto, podemos refletir que ambos processos apresentam desafios e oportunidades particulares, sendo que estas premissas não desconfigura a importância ou o potencial de cada um.

A adoção do processo e matéria-prima a ser utilizado em cada usina depende da capacidade industrial, financeira e operacional de cada unidade, assim como a macro e microrregião em que está inserida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, Héricles Resende Ricardo de. **Produção de etanol de segunda geração**. Universidade Federal de Uberlândia; Faculdade de Engenharia Química; Curso de Graduação em Engenharia Química. Uberlândia, 2017.

ANFAVEA. **O que foi o Proálcool?** ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/o-que-foi-o-proalcool/>. Acesso em: 30 de maio de 2024.

BOSCHIERO, Beatriz Nastaro. **Etanol de milho no Brasil: 3 razões que impulsionam o crescimento**. AGROADVANCE. Publicado em: 04 de abril de 2023. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-etanol-de-milho-no-brasil-crescimento/>. Acesso em: 17 de novembro de 2024.

BUORO, Rafael. **Processo Produtivo de Etanol de Segunda Geração e seus Aspectos**. UFSCar – Universidade Federal de São Carlos; CCET – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia; DQ – Departamento de Química. São Carlos, 2021.

CANAL RURAL. **Raízen inaugura usina de etanol de 2ª geração que pode produzir 82 milhões de litros/ano**. 2024. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/agricultura/automatico-raizen-inaugura-planta-de-e2g-em-guariba-com-capacidade-para-produzir-82-milhoes-litros-por-ano/>. Acesso em: 03 de novembro de 2024.

CETESB. **Etanol**. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. Elaborado em Abril, 2012. Atualizado em Dezembro, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/laboratorios/wpcontent/uploads/sites/24/2020/12/Etanol.pdf>. Acesso em: 17 de outubro de 2024.

CONAB. **Produção de cana-de-açúcar na safra 2023/24 chega a 713,2 milhões de toneladas, a maior da série histórica**. Companhia Nacional de Abastecimento. Publicado em: 18 de Abril de 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5489-producao-de-cana-de-acucar-na-safra-2023-24-chega-a-713-2-milhoes-de-toneladas-a-maior-da-serie-historica>. Acesso em: 19 de Outubro de 2024.

DUARTE, Daniel Azevedo. **Quais são as maiores usinas de cana-de-açúcar do Brasil?** AGROFY NEWS. 2024. Disponível em: <https://news.agrofy.com.br/noticia/203334/quais-sao-maiores-usinas-cana-acucar-do-brasil>. Acesso em: 19 de outubro de 2024.

EPEA. **Matriz Energética e Elétrica.** EPEA – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 30 de maio de 2024.

FIESP; SINDMILHO & SOJA. **Milho e suas riquezas – História.** Sindicato da Indústria do Milho, Soja e seus Derivados no Estado de São Paulo. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://www.fiesp.com.br/sindimilho/sobre-o-sindmilho/curiosidades/milho-e-suas-riquezas-historia/>. Acesso em: 29 de outubro de 2024.

LANDAU, Elena Charlotte; MOURA, Larissa. **Evolução da Produção de Cana-de-açúcar (Saccharum spp., Poaceae).** EMBRAPA. Capítulo 19. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/214997/1/Cap19-EvolucaoProducaoCanadeAcucar.pdf>. Acesso em: 28 de outubro de 2024.

MARI, Gabriela de Lima; FUJII, Ricardo Junqueira. **Potencial de produção sustentável de biocombustíveis no Brasil – 2030.** WWF (World Wildlife Fund – Fundo Mundial da Natureza). 2021.

MARTINS, Camila Zanetoni. **Avaliação da produção de etanol de segunda geração.** Universidade Federal de Uberlândia; Faculdade de Engenharia Química; Curso de Graduação em Engenharia Química. Uberlândia, 2018.

MELO, Nicholas Rocha. **Etanol 2G: Processo produtivo e seu contexto atual no Brasil.** Universidade Federal de Uberlândia; Faculdade de Engenharia Química; Curso de Graduação em Engenharia Química. Uberlândia, 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Exportações Brasileiras Milho.** 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/Milho.pdf>. Acesso em: 29 de outubro de 2024.

NOGUEIRA, Lucas Conegundes. **Produção de etanol de milho: efeito de híbridos, tempo e temperatura de armazenamento dos grãos.** Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Frutal. 2021. Disponível em: https://mestrados.uemg.br/images/ppgciamb/Disserta%C3%A7%C3%B5es/Turma_2019/Diss

erta%C3%A7%C3%A3o_Lucas_Nogueira_CiambFrutal.pdf. Acesso em: 06 de novembro de 2024.

NOVACANA. **Processos da fabricação do etanol.** Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em: 23 de outubro de 2024.

NUNES, R. DE M. et al. **Resíduos agroindustriais: potencial de produção do etanol de segunda geração no Brasil.** Revista Liberato, v. 14, n. 22, p. 135–150, 2013.

NUNES, ELIS FERNANDO. **Cana-de-açúcar: a produção de etanol e seus benefícios.** Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de São Paulo – Campus Barretos – SP, 2017.

NYKO, Diego et al. **A corrida tecnológica pelos biocombustíveis de segunda geração: uma perspectiva comparada.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 32, p. 5-48, set. 2010.

PETROLI, Viviane. **Número de usinas de etanol de milho pode subir para 19 unidades em MT, prevê Sedec.** NOVACANA. 2023. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/numero-usinas-etanol-milho-subir-19-unidades-mt-sedec-300123>. Acesso em: 19 de outubro de 2024.

RIBEIRO, Laura Márcia Lima. **Etanol de milho: Processo produtivo e contexto atual do mesmo no Brasil.** Universidade Federal de Uberlândia; Faculdade de Engenharia Química; Curso de Graduação em Engenharia Química. Uberlândia, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/37913/1/EtanoldeMilhoProcesso.pdf>. Acesso em: 06 de novembro de 2024.

ROSA, Sergio Eduardo Silveira da; GARCIA, Jorge Luiz Faria. **O etanol de segunda geração: limites e oportunidades.** Revista do BNDES 32, p.117-156, 2009

SAMORA, Roberto. **GranBio prevê dobrar capacidade de etanol 2G em Alagoas; avalia combustível de aviação.** NovaCana, 2022. Disponível em: <https://www.novacana.com/noticias/granbio-preve-dobrar-capacidade-etanol-2g-alagoas-avalia-combustivel-aviacao-030622>. Acesso em: 03 de novembro de 2024.

SANTOS, Oslei. **A importância de uma boa centrifugação para produção de etanol.** 2017. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/import%C3%A2ncia-de-uma-boa>

centrifuga% C3%A7%C3%A3o-para-produ% C3%A7%C3%A3o-oslei. Acesso em: 28 de outubro de 2024.

SANTOS, Pedro Henrique de Sousa. **Panorama atual da produção de bioetanol no Brasil e no mundo**. Universidade de Brasília – UnB; Faculdade UnB Gama – FGA; Curso de Engenharia de Energia. Brasília, 2020.

SILVELLO, Giovanni Casagrande; CASTRO, Mariana Costa de; ALCARDE, André Ricardo. **Fundamentos de Ciência e Tecnologia Sucroalcooleira**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “LUIZ DE QUEIROZ”. Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição. Piracicaba, 2020.

UDOP. **Etanol - Raízen inaugura maior planta de Etanol de Segunda Geração do mundo**. União Nacional da Bioenergia. Publicado em 27 de maio de 2024. Disponível: <https://www.udop.com.br/noticia/2024/05/27/raizen-inaugura-maior-planta-de-etanol-de-segunda-geracao-do-mundo.html#!>. Acesso em: 03 de novembro de 2024.

VIDAL, Maria de Fátima. **Agroindústria – Etanol**. Caderno Setorial ETENE. Ano 7, nº 237, setembro 2022. Banco do Nordeste. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1409/3/2022_CDS_237.pdf. Acesso em 19 de Outubro de 2024.

TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, Gabriela Aparecida da Silva, RG 41.527.836.-3, CPF 431.290.868-03, declaro que o trabalho intitulado Etanol de Primeira e Segunda Geração: Diferenças, Desafios e Perspectivas é **ORIGINAL**.

Declaro que recebi orientação sobre as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tenho conhecimento sobre as Normas do Trabalho de Graduação da Fatec-JB e que fui orientado sobre a questão do plágio.

Portanto, estou ciente das consequências legais cabíveis em caso de detectado PLÁGIO (Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais, publicada no D.O.U. de 20 de fevereiro de 1998, Seção I, pág. 3) e assumo integralmente quaisquer tipos de consequências, em quaisquer âmbitos, oriundas de meu Trabalho de Graduação, objeto desse termo de originalidade.

Jaboticabal/SP, 10 de Novembro de 2024.

Assinatura do(a) aluno(a)

Nome completo do(a) aluno(a)

