



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DOS
RESÍDUOS ORGÂNICOS ALIMENTÍCIOS DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU/PR
PARA APLICAÇÃO COMO COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO**

GABRIELA KAENNA ZENI NAVARRO LINS

Foz do Iguaçu
2021



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

ENGENHARIA QUÍMICA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS ALIMENTÍCIOS DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU/PR PARA
APLICAÇÃO COMO COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO**

GABRIELA KAENNA ZENI NAVARRO LINS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr^a Andréia Cristina Furtado

Foz do Iguaçu
2021

GABRIELA KAENNA ZENI NAVARRO LINS

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS ALIMENTÍCIOS DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU/PR PARA
APLICAÇÃO COMO COMBUSTÍVEL AUTOMOTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.^a Dr^a Andréia Cristina Furtado
UNILA

Prof. Dr Luís Antônio Lourenço
UNILA

Prof. Dr Rodrigo Monteiro Elliott
UNILA

Foz do Iguaçu, _____ de _____ de _____.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): _____

Curso: _____

Tipo de Documento	
(.....) graduação	(.....) artigo
(.....) especialização	(.....) trabalho de conclusão de curso
(.....) mestrado	(.....) monografia
(.....) doutorado	(.....) dissertação
	(.....) tese
	(.....) CD/DVD – obras audiovisuais
	(.....) _____

Título do trabalho acadêmico: _____

Nome do orientador(a): _____

Data da Defesa: ____/____/____

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons Licença 3.0 Unported*.

Foz do Iguaçu, ____ de _____ de _____.

Assinatura do Responsável

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, tenho que agradecer a Deus por ter possibilitado que eu, minha família e meus amigos estarmos bem e com saúde diante desse cenário pandêmico. Isso se deve ao imensurável esforço dos profissionais da saúde, cientistas, pesquisadores, acadêmicos, jornalistas, psicólogos, cozinheiros, entregadores, profissionais do transporte público, zeladores... enfim, todas as pessoas que de uma forma contribuíram para o enfrentamento da pandemia do COVID-19, tanto os que estavam na linha de frente como nos bastidores, os agradeço também.

À minha mãe Karin, meu pai Rodrigo e meu irmão Matheus pelo suporte durante toda a minha vida, à minhas tias Rosemarie e Marylis, todo o respeito e admiração pela educação que eu tenho vieram por vocês, as mulheres professoras da minha vida. Meus primos e principalmente aos meus avós, Frederico e Rui que estão me protegendo e guiando lá do céu e minhas avós Maria Inês e Elinore, que as amo demais e sempre se esforçam ao máximo para me verem bem todas as vezes que nos encontramos.

Aos meus amigos e colegas de graduação, em especial a toda minha turma de 2017, passamos e iremos compartilhar ainda ótimos momentos juntos. Ao meu grupinho de trabalho nota mil, Kenny, Miguel e Willian, a gente é demais, obrigada pelo esforço e compreensão ainda mais nesses últimos dias onde ter começado a trabalhar me afastou mais de vocês. Hugo, Letícia Vivian (Jeane), Letícia Lisik, Carlos Daniel, Luís, Maria Laura, Andrew, Fiorella, Adrian, Eduardo, Ghessyca, Karen, Maria Elena, Noelia, Yessica, Gabriele, Isadora, Mariana, Giovanna, Jeziel, Matheus, Brenda, Nicolas, a amizade e companheirismo de vocês fez Foz do Iguaçu ter um lugarzinho especial no meu coração.

Aos meus professores de graduação: Marlei, Kátya, Leonardo, Karine, Ana Carolina, Caroline, Priscila, Marcela, Marciana, Aline, Ivana, Gilcélia, Fabio, Rodrigo, dentre outros. Em especial à minha orientadora Andreia, por toda prestatividade e ensinamentos prestados a mim durante toda graduação e agora no TCC. Ao professor Luís, por ter me inspirado a realizar a análise econômica do meu projeto durante a disciplina de Análise. À minha professora Ana Paula Sone do ensino médio, que durante as aulas de química orgânica me fez despertar o interesse pela área. Se não fosse as aulas, provas, trabalhos, broncas de cada um de vocês eu não seria metade do que sou hoje, obrigada por contribuírem para eu ser uma pessoa melhor, uma aluna melhor, e uma futura engenheira de qualidade.

Agradeço também Mayra pela amizade e carinho de tantos anos, você é a pessoa que quem te conhece não tem como não te admirar pela sua força, coragem e determinação, nunca esqueci das nossas aulas de química quando eu te indicava a posição de cada grupo funcional usando os pontos cardeais! À Erika, por ser minha amiga de todos os momentos, desde quando íamos todos os dias juntas de bicicleta pra natação, minha colega de raia e de competições e travessias aquáticas e até mesmo quando deixamos de conversar por 5 anos pela graduação. Nunca se esqueça de que tal como na travessia noturna de bombinhas, quando você precisar, eu sempre estarei lá para te ajudar.

RESUMO

O etanol é um biocombustível que possui uma crescente participação na matriz energética brasileira, que tem como matéria-prima tradicional a cana-de-açúcar. Contudo novas alternativas estão ganhando espaço no mercado, introduzindo o conceito do etanol de segunda geração. Assim, qualquer matéria-prima que possua algum tipo de sacarídeo pode ser transformada em álcool, como os resíduos orgânicos, por exemplo. A cidade de Foz do Iguaçu dispõe de uma grande taxa de geração desses resíduos por habitante, assim possui um grande potencial de instalação de uma planta de produção de etanol. Assim esse trabalho objetivou a aplicação desse processo no município, tendo inicialmente a realização de uma revisão bibliográfica das rotas de produção de etanol tradicional e a de segunda geração, especificando o processo para cada tipo de biomassa. Além de uma pesquisa sobre o cenário do mercado do combustível, o trabalho reuniu os principais estudos encontrados nas plataformas digitais sobre essa temática e por fim, propôs uma metodologia com os principais resultados encontrados. Nos cinco estudos analisados, as operações de trituração e secagem da biomassa mostraram-se essenciais para o processo, dado que diminuem o tempo necessário para a sacarificação da matéria-prima. Além disso, a hidrólise ácida seguida pela detoxicação do meio foi a metodologia que apresentou melhores resultados, visto que a última é importante pois o produto final não apresentou os inibidores fermentativos HMF e furfural. Os dados sobre a geração de resíduos orgânicos na cidade mostraram que mensalmente, cerca de 9000 toneladas são destinadas ao aterro sanitário, assim o trabalho considerou um terço desse montante para a aplicação. Na simulação do processo, o custo com equipamentos foi de R\$ 431.060,00. e considerando uma taxa de geração de 67 litros de etanol por tonelada de resíduo, a receita gerada foi de R\$ 643.200,00 mensais. A análise econômica do projeto seguiu a metodologia *Venture Profit* que considera o lucro relativo estimado que engloba fatores como custo de matéria-prima, custos de utilidades e deduções de imposto de renda, dentre outros. O lucro do empreendimento encontrado foi positivo, o que demonstra que esse projeto se trata de um investimento vantajoso, que assume e garante um bom retorno apesar dos riscos.

Palavras-chave: etanol 2G; resíduos orgânicos; Foz do Iguaçu; revisão bibliográfica; análise econômica preliminar.

ABSTRACT

Ethanol is a biofuel that has a growing participation in the Brazilian energy matrix, whose traditional raw material is sugarcane, but new alternatives are gaining ground in the market, introducing the concept of second-generation ethanol. Thus, any raw material that has some type of saccharide can be transformed into alcohol, such as organic waste, for example. The city of Foz do Iguaçu has a high rate of generation of waste per inhabitant, so it has great potential for installing an ethanol production plant. Thus, this work aimed to apply this process in the municipality, having initially carried out a literature review of the traditional and second-generation ethanol production routes, specifying the process for each type of biomass. In addition to a survey of the fuel market scenario, the project gathered the main studies found on digital platforms on this topic and, finally, proposed a methodology with the main results found. In the five studies analyzed, the operations of crushing and drying the biomass proved to be essential for the process, as they reduce the time required for saccharification of the raw material. In addition, acid hydrolysis followed by detoxification of the compound was the methodology that showed the best results, since the latter is important because the final product did not present the fermentative inhibitors HMF and furfural. The data on the generation of organic waste in the city showed that monthly, about 9000 tons are sent to the landfill, so the work considered a third of this amount for the application. In the simulation of the process, the cost of equipment was R\$431,060.00. and considering a generation rate of 67 liters of ethanol per ton of waste, the revenue generated was R\$643,200.00 per month. The economic analysis of the project followed the Venture Profit methodology, which considers the estimated relative profit that includes factors such as raw material costs, utility costs and income tax deductions, among others. The profit of the project found was positive, which demonstrates that this project is an advantageous investment, which assumes and guarantees a good return despite the risks.

Key words: 2G ethanol; organic waste; Foz do Iguaçu; literature review; preliminary economic analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Rotas catabólicas do piruvato.	16
Figura 2- Fluxograma do processo de produção etanol	17
Figura 3- Esquema do efeito do pré-tratamento em material lignocelulósico	18
Figura 4- Esquema da sacarificação do amido.....	20
Figura 5- Matriz Energética Nacional em 2019.....	22
Figura 6- Gráfico da produção de etanol hidratado e anidro nacional.	23
Figura 7- Gráfico da venda de etanol hidratado estadual.	24
Figura 8- Fluxograma da metodologia proposta.	28
Figura 9- Comparativo da composição gravimétrica do município	30
Figura 10- Média anual de geração de resíduos.	31
Figura 11- Árvore de estados da metodologia.	34
Figura 12- Detalhamento dos cálculos do custo total.	37
Figura 13- Procedimento de cálculo do investimento total.	38
Figura 14- Procedimento do cálculo do LE.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química de biomassas.....	19
Tabela 2- Descritores e palavras-chave utilizados na pesquisa.....	25
Tabela 3- Relação dos trabalhos selecionados.....	25
Tabela 4- Procedimentos adotados nos trabalhos selecionados	26
Tabela 5- Composição da amostragem	32
Tabela 6- Relação dos principais equipamentos da planta	35
Tabela 7- Custos de matéria-prima e insumos do processo.	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 ETANOL.....	15
3.1.1 Conceito e propriedades.....	15
3.1.2 Fermentação alcoólica.....	15
3.1.3 Processo de produção do etanol	17
3.2 ETANOL 2G	18
3.2.1 Amiláceos	19
3.2.2 Açucarados	20
3.3 MERCADO DO ETANOL	22
3.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.4.1 Metodologia	24
3.4.2 Análise dos trabalhos selecionados	26
4 DESENVOLVIMENTO	30
4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS	30
4.2 SIMULAÇÃO DO PROCESSO	32
4.2.1. Equipamentos.....	33
4.2.2 Estimativa de custos	35
4.3 ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR	36
4.3.1 Estimativa de custo total	36
4.3.2 Estimativa de investimento total.....	37
4.3.3 Lucro do empreendimento	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O etanol ou álcool etílico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) é um biocombustível com grande aplicação em motores automotivos, seja ele puro ou misturado com aditivos ou gasolina. No país, é produzido majoritariamente através do processamento da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), uma gramínea cujos caules robustos são ricos em sacarose. Os resíduos desse processo também são reaproveitados para a produção do etanol, que é o caso do bagaço e a palha da planta. No entanto, novas alternativas como mandioca e milho estão ganhando espaço no mercado, uma vez que o etanol é produzido pela fermentação alcoólica de açúcares (WALTER et al, 2014).

Essas novas alternativas produzem o denominado Etanol 2G, fonte de energia renovável com baixa emissão de gases do efeito estufa ao longo do processo. São uma aposta para o mercado energético nacional, visto que futuramente poderão ocorrer conflitos sobre a utilização das terras cultiváveis para a produção de alimentos do que para geração de combustível. Assim, o etanol de segunda geração veio para ampliar a participação dos biocombustíveis na matriz energética bem como dar um destino final aos resíduos agrícolas do país.

A cidade de Foz do Iguaçu, por outro lado, é uma cidade fronteiriça com elevada densidade demográfica e um grande potencial turístico, assim gera diariamente uma grande quantidade de resíduos orgânicos, como restos de alimentos, podas e resíduos industriais, por exemplo. Essa biomassa tem em sua composição carboidratos, como celulose, frutose e amido, sendo assim possuem potencial de produção de etanol, isso é uma alternativa sustentável para esses insumos que geralmente são dispostos em lixões e aterros sanitários (VENTURINI FILHO, 2010).

Assim, o presente trabalho busca revisar as rotas de produção do etanol tradicional e o de segunda geração, além de integrar os principais estudos realizados nessa temática e aplica-los no cenário iguaçuense. Além disso será realizada uma análise econômica preliminar cujo objetivo é avaliar se o projeto proposto possui um potencial de investimento frente a outras aplicações do mercado, levando em conta o cenário atual do mercado do etanol no país.

2 OBJETIVOS

O presente estudo de revisão bibliográfica tem como objetivo avaliar o potencial da produção de etanol proveniente de resíduos orgânicos na cidade de Foz do Iguaçu. A motivação em utilizar esse tipo de resíduo veio da participação em um projeto de extensão destinado em produzir etanol para a produção de álcool em gel como estratégia de combate à pandemia do COVID-19.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Realizar revisão bibliográfica das rotas de produção de etanol de primeira e segunda geração.
- Realizar um levantamento dos principais estudos realizados na temática.
- Avaliar os trabalhos selecionados e propor uma metodologia para a produção do etanol.
- Analisar o comportamento do mercado do etanol no cenário nacional e municipal.
- Avaliar a taxa de geração dos insumos em Foz do Iguaçu para a produção de etanol hidratado.
- Determinar a capacidade de produção e projetar o lucro estimado nesse processo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ETANOL

Nesse tópico será discutido o conceito de etanol, suas principais características e propriedades e o processo da fermentação alcoólica.

3.1.1 Conceito e propriedades.

O álcool etílico, também conhecido como etanol é uma substância orgânica líquida e incolor pertencente ao grupo dos álcoois. Com sua fórmula química $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, o etanol possui um grupo hidroxila ($-\text{OH}$) ligado a um carbono de hibridização sp^3 o que confere ao composto a presença das forças intermoleculares do tipo ligações de hidrogênio. Essa característica garante que o etanol apresente uma alta solubilidade em substâncias polares, como a água (H_2O), por exemplo. Contudo, por possuir uma parte apolar (cadeia carbônica) ele apresenta ainda uma solubilidade em substâncias apolares, o que explica a utilização do etanol como aditivo em gasolinas (CAREY, 2011).

Esse tipo de força intermolecular influencia em outras propriedades do etanol. Segundo Solomons e Fryhle (2012) nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) a substância apresenta um ponto de ebulição de $78,3\text{ }^\circ\text{C}$ e $-117\text{ }^\circ\text{C}$ de fusão. A partir de $13\text{ }^\circ\text{C}$ o etanol emite vapores que podem entrar em combustão quando em contato com alguma fonte de calor, sendo assim ele é considerado como altamente inflamável.

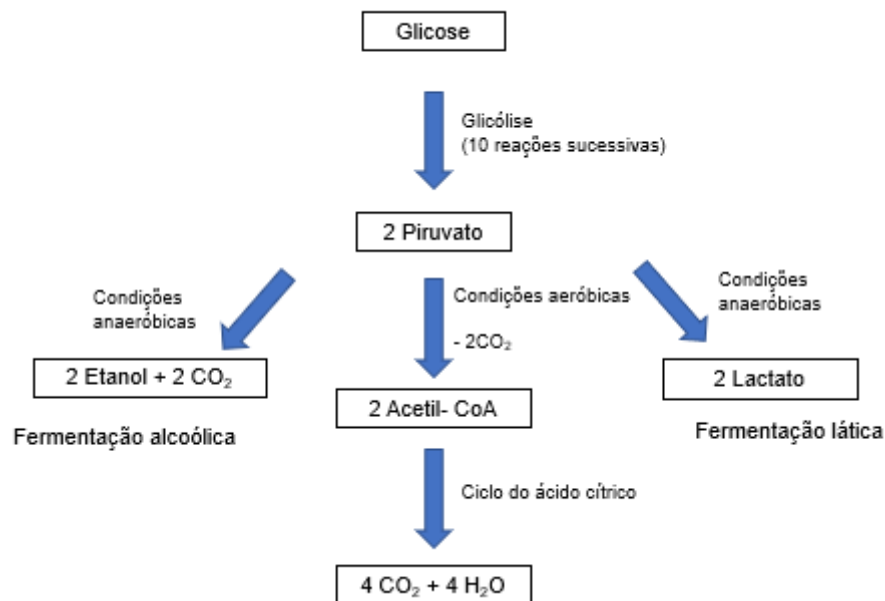
A obtenção do álcool etílico pode ocorrer por diversos mecanismos, McMurry (2010) apresenta alguns métodos, tais como a hidratação de alcenos, redução de compostos carbonílicos e redução de aldeídos, por exemplo. O álcool utilizado para fins industriais geralmente é obtido pela hidratação do eteno (C_2H_4) catalisada pelo ácido sulfúrico (H_2SO_4). Para a utilização como combustível, esses métodos, no entanto são considerados muito complexos, assim o etanol é obtido através do processo de fermentação alcoólica.

3.1.2 Fermentação alcoólica

A fermentação alcoólica é um processo bioquímico, no qual, na ausência de oxigênio, bactérias e fungos realizam a transformação da matéria orgânica rica em açúcares em energia e produtos. Ocorrendo no citoplasma das células, o processo visa como objetivo final a produção de energia no formato de adenosina trifosfato (ATP), nucleotídeo necessário para a reprodução celular e manutenção das funções fisiológicas do microrganismo. O subproduto dessa reação é o álcool etílico que atua como um inibidor de organismos competidores (GOÉS-FAVONI et al., 2018).

De acordo com Lima et al. (2001) a conversão do açúcar (glicose) em etanol e dióxido de carbono (CO_2) envolve 12 reações sequenciais todas catalisadas por enzimas situadas no nível citoplasmático. As 10 primeiras reações consistem na divisão da glicose, que possui seis carbonos em duas moléculas de piruvato, esse que possui três rotas catabólicas alternativas (Figura 1), uma em condições aeróbicas que leva a oxidação total da molécula em CO_2 através do ciclo do ácido cítrico. Os outros dois caminhos ocorrem de forma anaeróbica, podendo resultar em ácido láctico (lactato) ou etanol.

Figura 1- Rotas catabólicas do piruvato.



Fonte: Adaptado de Solomons e Fryhle (2012).

No Brasil, um dos fatores que torna a produção de etanol por fermentação mais econômica é a grande abundância de matérias-primas em todo território nacional. Qualquer produto que contenha açúcar ou algum outro tipo de carboidrato em sua composição pode ser utilizado na produção do etanol. Os insumos podem ser classificados do tipo amiláceos e feculentos, celulósicos ou açucarados. O primeiro que engloba grãos, raízes e tubérculos iniciam a fermentação após uma etapa de hidrólise (sacarificação) do amido. As matérias celulósicas, apesar de serem abundantes igualmente necessitam de um processo de hidrólise para converter a celulose em açúcar fermentável (VENTURINI FILHO, 2010).

As matérias-primas açucaradas, que compreendem a cana-de-açúcar, melões, beterraba e frutas, por exemplo são as mais utilizadas no país, podendo ser diretamente fermentescíveis ou não. Segundo Lima et al. (2001) o primeiro caso são as que apresentam monossacarídeos em sua composição, como os sucos de frutas, assim se concentram para a produção de álcool em bebidas. Por outro lado, as que apresentam dissacarídeos

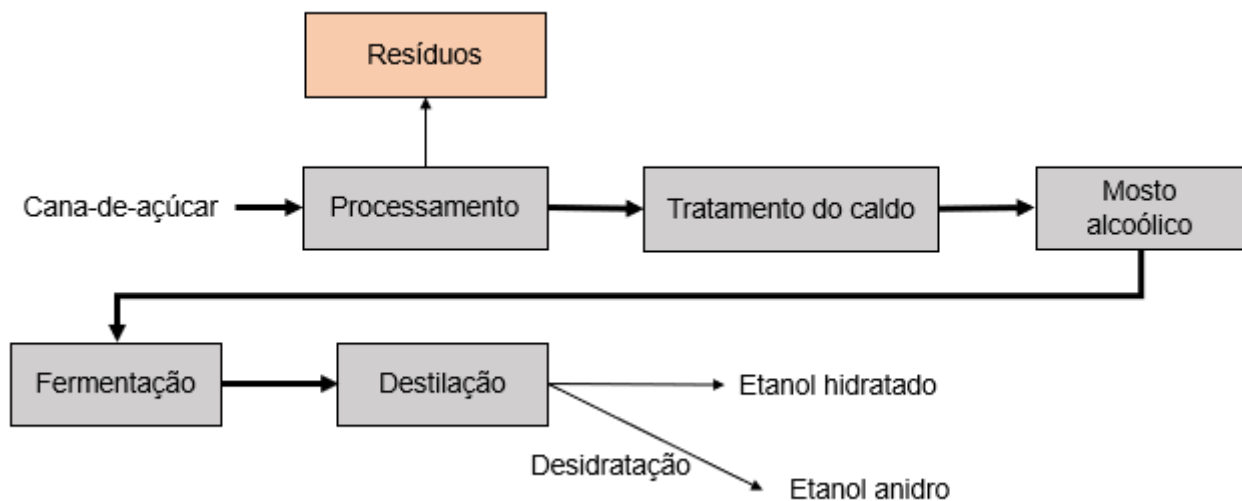
requerem novamente a etapa de hidrólise para a fermentação, nessa situação se destaca a molécula da sacarose, que é encontrada em abundância na cana-de-açúcar e nos melaços.

3.1.3 Processo de produção do etanol

O processo de produção de etanol a partir da cana-de-açúcar segue as seguintes etapas: preparação do mosto alcoólico, fermentação, destilação, que estão ilustrados na figura 2. Após a colheita ela é transportada para ser processada. Inicialmente acontece a trituração e moenda da cana para que seja então adicionado água afim de embeber o interior das células para a diluição do açúcar. O caldo extraído, que é uma mistura de garapa e bagaço passa então por um tratamento para eliminar o excesso de água e eliminar as bactérias e leveduras que atrapalhariam o processo fermentativo. A partir daí, o mosto (líquido açucarado) poderá ser preparado em condições favoráveis do processo (CHIEPPE JUNIOR, 2012).

A fermentação alcoólica é um processo agitado e contínuo, realizada pela ação das leveduras, sendo as mais utilizadas do gênero *Saccharomyces*. O produto da fermentação, denominado vinho possui um teor alcoólico entre 7 – 10%, tornando necessária a etapa da destilação a qual resulta o etanol hidratado, com cerca de 94% de graduação alcoólica. Pode também ser incluído no processo a etapa de desidratação do etanol obtido, afim de se obter etanol anidro, que contém até 1% de água em sua composição, sendo também conhecido como álcool puro (SILVA, 2010).

Figura 2-Fluxograma do processo de produção etanol



Fonte: Adaptado de CHIEPPE JUNIOR, 2012.

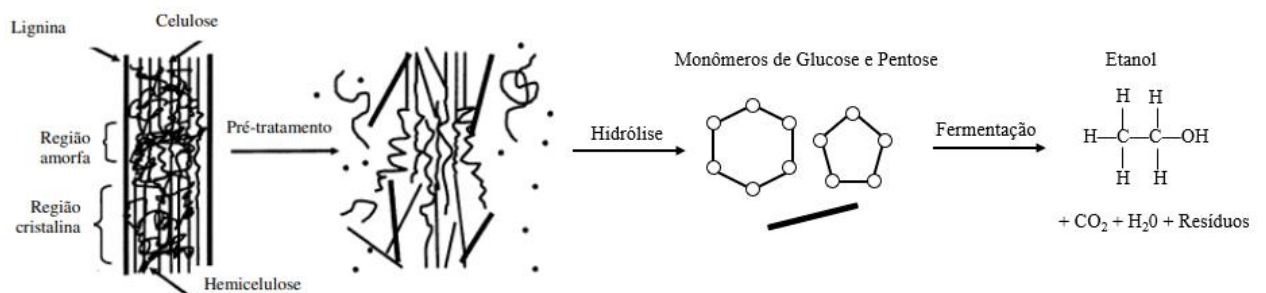
Na etapa de processamento, há a geração de resíduos como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, por exemplo. Antes descartados, eles agora se destacam também como matéria-prima para a produção do álcool, conhecido como etanol de segunda geração (2G) assumindo um papel importante na sustentabilidade industrial uma vez que aumentam o ciclo produtivo da cultura.

3.2 ETANOL 2G

A produção de etanol convencional apresenta uma limitação, a cana-de-açúcar demanda uma extensa área de cultivo. No momento isso não aparenta ser um grande problema, porém no futuro poderão existir conflitos sobre destinar o uso da terra para biocombustíveis ou para os alimentos. Assim, utilizar os resíduos dos processos tradicionais para incrementar o mercado do etanol pode se configurar como uma boa estratégia tanto ambiental como economicamente.

As etapas de produção do etanol 2G se assemelham com o convencional, não obstante pelo fato da matéria-prima, denominada de biomassa, ser constituída, em linhas gerais, por lignina, celulose e hemicelulose as etapas anteriores à fermentação apresentam uma maior complexidade. O principal desafio consiste em romper a parede celular das plantas através de uma reação de hidrólise, sendo necessário a inclusão de uma etapa de pré-tratamento químico ou mecânico da biomassa (ROSA e GARCIA, 2009). A figura 3 apresenta uma representação esquemática do efeito do pré-tratamento em materiais lignocelulósicos.

Figura 3-Esquema do efeito do pré-tratamento em material lignocelulósico



Fonte: adaptado de MOSIER et al., 2005.

Dentre os tratamentos físicos o que apresenta um melhor rendimento em produção de xilose — açúcar mais comum da hemicelulose— é a termo-hidrólise, que consiste em aplicar água quente em pressões acima do ponto de saturação. Já na categoria química a hidrólise ácida é a técnica mais eficaz, uma vez que utiliza ácido sulfúrico ou clorídrico para a quebra da parede celular. Ainda existe a possibilidade de métodos combinados como a

exposição à amônia líquida e explosão de CO₂, porém apresentam um custo maior, devido a sua complexidade (HAMELINCK et al., 2005). Os lignocelulósicos — que compõem cerca de 60% da biomassa vegetal— podem ser divididos em grupos, sendo os principais o de resíduos de colheita, madeira de lei e fibras, por exemplo. A escolha da matéria-prima para a produção do etanol deve levar em conta não somente a disponibilidade no mercado, mas também a sua estrutura química. A tabela 1 fornece a variação da composição química de cada tipo de biomassa.

Tabela 1-Composição química de biomassas.

Biomassa	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Fibra de bananeira	60-65	6-8	5-10
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45

Fonte: adaptado de Santos et al., 2012.

Dentre os resíduos, o bagaço e a palha de cana são as mais utilizadas no país, uma vez que é possível fazer uma integração da produção de etanol 1G e 2G em uma mesma planta industrial. No entanto, os amiláceos e as matérias-primas açucaradas estão ganhando destaque na matriz energética, principalmente por novos estudos sobre o potencial energético desse tipo de biomassa.

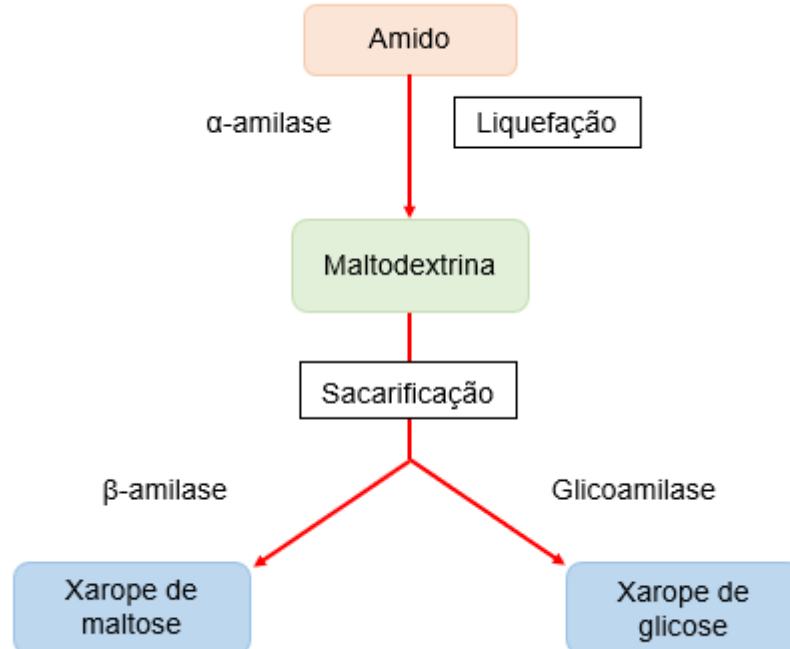
3.2.1 Amiláceos

Compreendendo raízes, tubérculos e espécies graníferas, a biomassa amilácea vem ganhando destaque na indústria química. Esse tipo de matéria-prima produz amido— que é um dos polissacarídeos mais abundantes na natureza— sendo possível a produção de etanol através da conversão do mesmo em açúcares. Segundo He et al. (2009) os Estados Unidos se destacam pelo desenvolvimento de tecnologias visando a produção de etanol a partir de milho já a China direcionou sua pesquisa para a batata-doce, uma vez que no país o cultivo desses produtos representa 60% e 85% da produção global, respectivamente. No Brasil, o arroz, sorgo granífero e a mandioca se apresentam como grandes potenciais de matéria-prima, devido principalmente ao seu cultivo ser realizado em diferentes períodos, o que possibilita uma grande oferta ao longo do ano (VAZ JUNIOR, 2013).

O amido possui dois polímeros da glicose, a amilopectina e a amilose, ambas moléculas de cadeia longa cuja principal diferença está no fato de a primeira ser altamente ramificada e a segunda não. É a principal fonte de armazenamento de energia das plantas, e essa reserva é encontrada no formato de grânulos que estão distribuídos em regiões alternadas, amorfas ou cristalinas da célula vegetal (LEHNINGER, 1995).

A reação de hidrólise, descrita anteriormente também é necessária nesse tipo de matéria-prima, nesse caso, segundo Martins (2010) a hidrólise enzimática é a mais utilizada frente a ácida principalmente por acontecer em temperaturas mais brandas e não gerar subprodutos indesejados. Cardona e Sanchez (2007) explicam que a hidrolisação do amido ocorre em duas etapas, sendo a primeira denominada liquefação, onde ocorre a liberação da dextrina e um pouco de glicose. Essa solução de maltodextrina será hidrolisada na próxima etapa através da enzima glicoamilase, completando assim a formação da glicose, rota que pode ser verificado na figura 4. Após a formação de uma solução açucarada, a rota de obtenção do etanol segue os mesmos processos da produção convencional, iniciando pela etapa da fermentação alcoólica e terminando com a destilação.

Figura 4-Esquema da sacarificação do amido



Fonte: adaptado de Berg, Tymoczko e Stryer, 2010.

3.2.2 Açucarados

Essa matéria-prima possui elevada concentração de açúcares o que torna o processo fermentativo mais rápido. São classificadas como direta ou indiretamente

fermentescíveis ou mistas. O primeiro caso engloba os produtos que possuem substâncias que são diretamente absorvidas pela levedura e transformadas em etanol, como a eritrose, frutose e glicose, por exemplo, nesse caso se destacam as frutas e o mel de abelha. Já quando os açúcares são brutos (sacarose ou lactose, por exemplo), a matéria-prima precisa da etapa de hidrólise para tornar o produto fermentescível, que é o caso da beterraba e do soro de leite. Ainda existe insumos mistos, que apresentam uma combinação desses tipos de açúcares, o melaço de açúcar é um exemplo disso, possuindo uma maior porcentagem de sacarose em relação a glicose (VASCONCELOS, 2010).

A produção de etanol com esse tipo de biomassa no Brasil não possui tanta relevância quando comparado com a Europa. No século XIX devido a uma guerra marítima entre Inglaterra e França, a qual impediu a importação do açúcar de cana pelo governo francês, o imperador Napoleão Bonaparte financiou a implementação de usinas açucareiras utilizando a beterraba sacarina (*Beta Vulgaris*). Atualmente, ela é considerada como um dos principais produtos agrícolas do país e serve também como matéria-prima para a produção de etanol (FERREIRA, et al.,2017).

Segundo Gardé (1978) a beterraba é uma planta adaptada ao clima temperado, podendo ser considerada um cultivo de inverno. O principal desafio da implementação no Brasil é de que ela não pode ser cultivada constantemente devido ao surgimento de doenças no solo. A solução seria fazer a rotação por cerca de 4 anos com outras culturas, o que não é uma vantagem para os produtores brasileiros, considerando que a lavoura da cana-de-açúcar chega a permitir até seis colheitas consecutivas.

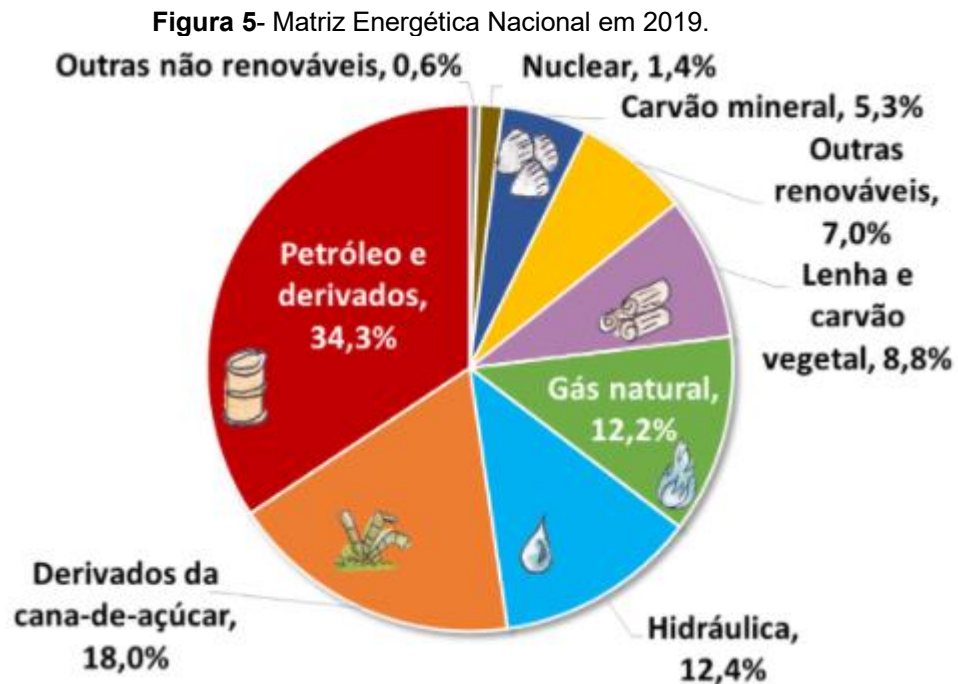
Uma alternativa que vem ganhando novos estudos é o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor L. Moench*), sendo considerada uma planta de cultivo rápido e de boa adaptação a estresses ambientais (temperatura e umidade). Nóbile e Nunes (2014) explicam que o sorgo apresenta um colmo suculento, onde tal como a cana-de-açúcar é o local do armazenamento dos açúcares sendo assim apresenta um bom potencial para a produção do etanol.

No Brasil, as frutas e o mel de abelha são visados principalmente para a produção de vinagres e bebidas alcoólicas, como aguardente (cachaças) e o hidromel, por exemplo. Os resíduos sólidos de indústrias de processamento de frutas— cascas, sementes e bagaço— são geralmente destinados à nutrição animal, no entanto, por ainda apresentar em sua composição traços de açúcares, amidos e celulose podem ser aproveitados para o etanol 2G. Essa produção pode ser aplicada em grande escala, ainda mais considerando

que essas indústrias geram toneladas de resíduos agroindustriais, uma vez que na produção do suco de manga, por exemplo, cerca de 70% da fruta é descartada como resíduo (MARTINS, 2019).

3.3 MERCADO DO ETANOL

A matriz energética mundial é em quase sua totalidade composta por fontes fósseis de carbono, tais como petróleo, gás natural e carvão mineral. O mesmo acontece no Brasil, apenas substituindo a última pela hidroeletricidade, como pode ser visto na figura 5. As tentativas de descobrir petróleo em território datam do fim do século XIX, porém somente em 1953 diante das pressões tanto sociais quanto econômicas o presidente Getúlio Vargas criou a empresa PETROBRAS que seria responsável por realizar pesquisas e a extração do composto no território brasileiro.



Fonte: EPE, 2019.

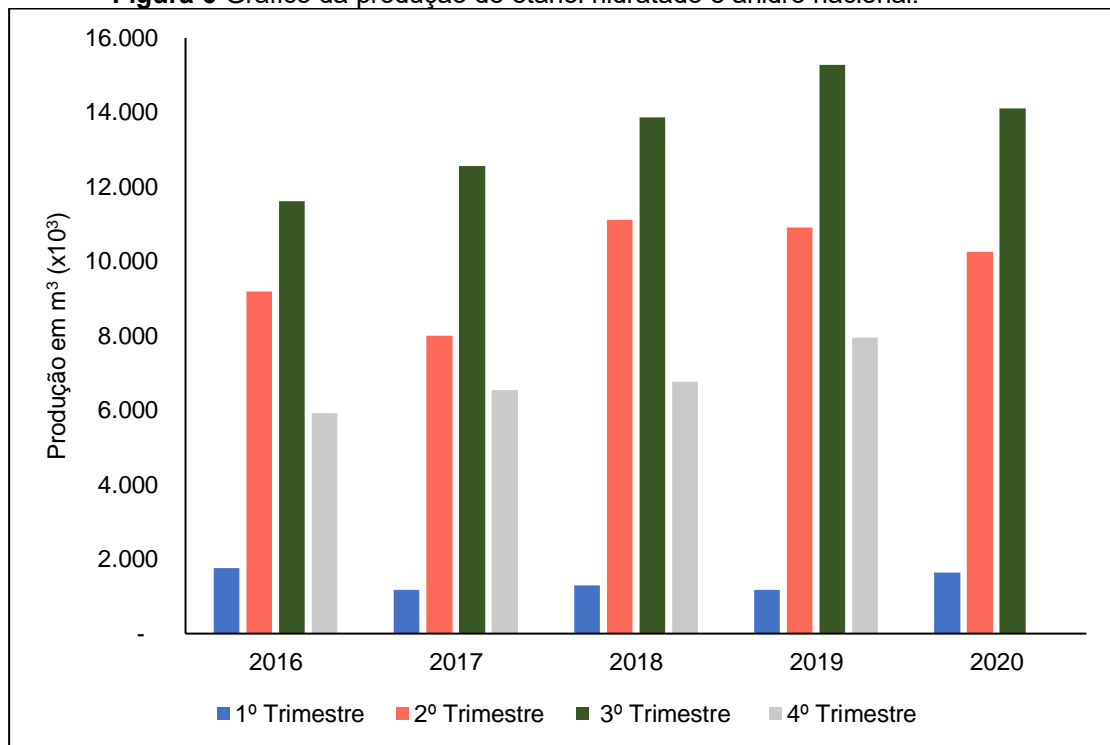
Duas décadas depois, o mercado do petróleo enfrentou uma intensa crise ao tornar conhecido mundialmente que o “ouro negro” se tratava de um recurso não renovável, acarretando severas variações no preço do produto. Assim, em 1975 foi criado o Proálcool- Programa Nacional do Álcool, iniciativa governamental que incentivou a produção de etanol como um substituto da gasolina (BRAGION e SANTOS, 2012).

Desde essa época o etanol se tornou uma importante fonte de energia, aumentando a cada ano gradativamente a sua participação na matriz de combustíveis, como pode ser

observado na figura 6 que representa a produção nacional de etanol hidratado e anidro. Além disso, vale ressaltar que a legislação atual determina que seja adicionado uma porcentagem (cerca de 25%) de etanol anidro na gasolina comum, cujas vantagens são o aumento da octanagem da gasolina e a diminuição da emissão de monóxido de carbono na atmosfera.

Dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP) indicam que, em 2019 o Brasil consumiu cerca de 10% a mais de etanol (anidro e hidratado) em relação ao ano anterior, um dos fatores responsáveis foi o aumento de aproximadamente 48% na participação do etanol na matriz de combustíveis (ANP, 2021).

Figura 6-Gráfico da produção de etanol hidratado e anidro nacional.

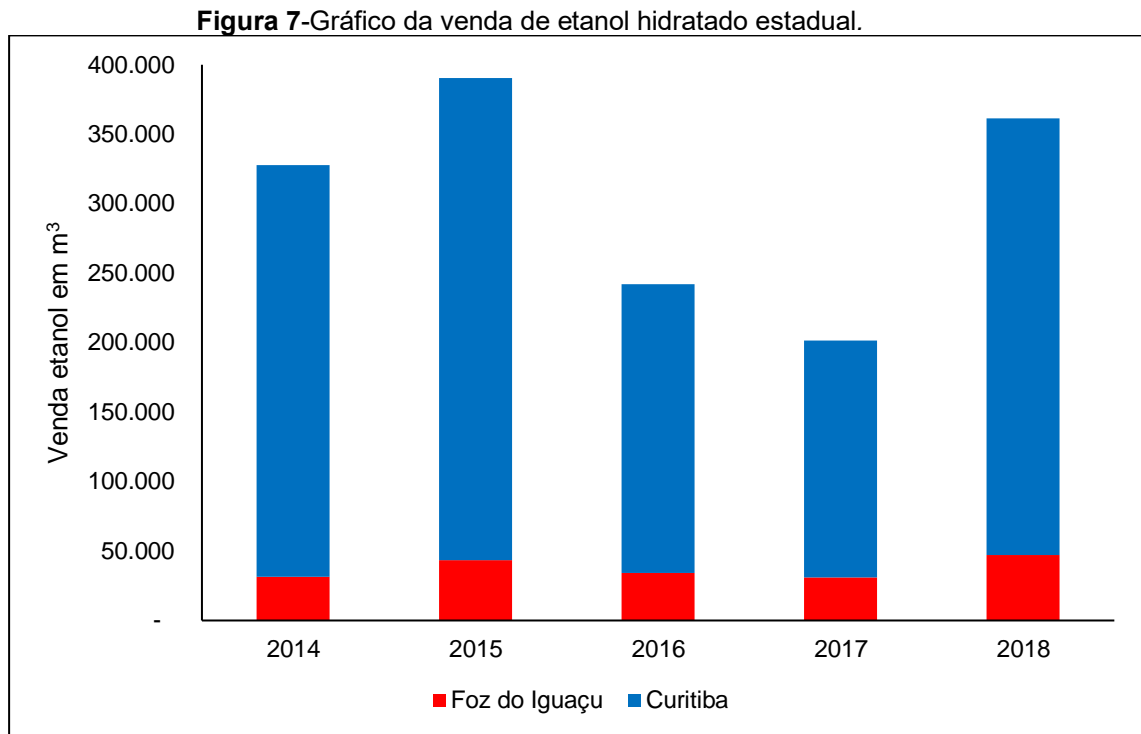


Fonte: ANP, 2021.

A cidade de Foz do Iguaçu, localizada no oeste do Paraná, é uma das nove tríplice fronteiras do país, criando uma conexão Argentina-Brasil-Paraguai. Segundo os resultados da 9ª edição da Pesquisa de Tráfego e Perfil de Turistas na Tríplice Fronteira, realizada por alunos e pesquisadores do Centro Universitário UDC em 2017, a ponte que conecta Brasil e Paraguai (Ponte da Amizade) registrou, diariamente, um fluxo de quase 40 mil veículos. Somando a isso o fluxo da Ponte Tancredo Neves (Argentina-Brasil) a circulação diária na cidade pode alcançar até 100 mil veículos (RADIO CULTURA FOZ, 2018).

A figura 7 apresenta um comparativo entre os dados da venda de etanol hidratado no estado do Paraná entre a capital Curitiba e Foz do Iguaçu. Considerando as diferenças demográficas, econômicas e geográficas, é possível perceber que a tríplice fronteira possui

um grande mercado da venda do biocombustível, chegando a representar quase 20% da venda na grande capital em 2017.



Fonte: ANP, 2021.

Essa situação pode ser justificada pelo grande e constante incentivo dos países vizinhos na aquisição de veículos de combustível duplo, ou popularmente conhecidos como “flex”. Um exemplo é de que em 2018 a marca automotiva General Motors anunciou o lançamento de um veículo cujo motor permite utilizar combustível brasileiro e argentino. Assim, a grande circulação diária dos habitantes estrangeiros em Foz do Iguaçu, motivados tanto pelo turismo quanto pelas oportunidades de emprego, impulsionam o comércio local em diversos segmentos, incluindo os postos de combustíveis no qual alguns permitem ao estrangeiro pagar o produto com sua moeda nacional.

3.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção será realizado um levantamento bibliográfico dos principais estudos realizados sobre o processo de fabricação de etanol utilizando resíduos orgânicos alimentícios.

3.4.1 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido seguindo a metodologia descritiva, através da leitura dos materiais disponíveis em bases de dados digitais durante o período de julho à agosto de

2021. As plataformas digitais utilizadas foram SciELO, *ScienceDirect* e Google acadêmico, para as quais foram selecionados palavras-chave e descritores, além de definido um período de pesquisa de 10 anos (2011-2021), descritos na tabela 2.

Tabela 2-Descritores e palavras-chave utilizados na pesquisa.

Principais descritores e palavras-chave	Base de dados
Etanol resíduos orgânicos	SciELO
Produção etanol 2G resíduo	<i>ScienceDirect</i>
Etanol resíduos orgânicos Etanol frutas tropicais	Google Acadêmico

Fonte: o autor, 2021.

No portal *ScienceDirect* foi aplicado o ordenamento da pesquisa por relevância, ademais dentre os 200 primeiros resultados foram avaliados apenas os artigos que eram livres (*open access*), dentre esses foram selecionadas as pesquisas que sejam específicas analisando a produção de etanol. A pesquisa utilizando o Google acadêmico gerou um número muito alto de resultados, assim para a triagem foi utilizado novamente a classificação por relevância e avaliando os trabalhos que se baseavam na produção de etanol e não apenas uma revisão teórica sobre o tema. Já a plataforma SciELO apresentou um número menor de resultados, porém para a triagem os mesmos critérios anteriores foram considerados.

Os artigos e trabalhos selecionados para análise estão dispostos na tabela 3.

Tabela 3-Relação dos trabalhos selecionados.

Código	Autores/ Ano	Matéria-Prima	Base de dados
1	TAVARES et al. (2016)	Girassol (<i>Helianthus annuus</i>)	SciELO
2	SOUZA et al. (2012)	Banana (<i>Musa cavendishii</i>)	
3	SOARES et al. (2016)	Coco (<i>Cocos nucifera L</i>)	ScienceDirect
4	MARTINEZ, Daiana Gotardo (2016)	Mandioca (<i>Manihot esculenta crantz</i>)	Google Acadêmico
5	SILVA, Carlos Eduardo de Farias. (2014)	Resíduos de laranja, maracujá e graviola.	

Fonte: o autor, 2021.

Dentre os trabalhos selecionados, apenas o de código 5 apresentou uma mistura de matérias-primas, mistura heterogênea que se assemelha à proposta do trabalho. No entanto, para qualquer tipo de insumo os processos principais são os mesmos, o que varia é são os parâmetros do processo, como quantidade dos reagentes, tempo de reação, por exemplo.

3.4.2 Análise dos trabalhos selecionados

Selecionados os trabalhos, os dados e informações do processo de produção do etanol descritos nestes foram compilados através de uma rápida leitura inicial. Nessa etapa inicial a busca ocorreu nas seções do resumo e da metodologia dos trabalhos, objetivando verificar o procedimento adotado pelos autores, partindo da caracterização da matéria-prima até a detecção do etanol obtido, essas relações se encontram dispostas na tabela 4.

Tabela 4-Procedimentos adotados nos trabalhos selecionados

Código	Pré- tratamento	Hidrólise/ Sacarificação	Fermentação	Determinação do etanol
1	Trituração e secagem	Ácida com H ₂ SO ₄ , detoxicação (ajuste do pH) e adsorção por carvão vegetal	<i>Scheffersomyces stipitis</i>	Cromatografia líquida
2	Liquidificação	Ácida com H ₂ SO ₄	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Cromatografia gasosa
3	Trituração e secagem	Adição de hidróxido de sódio (NaOH _{aq}) e hidrólise enzimática	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Cromatografia HPLC
4	Secagem	Liquefação com α-amilase seguida por sacarificação por amiloglicosidase	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Espectroscopia de infravermelho e destilação simples.
5	Trituração, moagem, ácido, alcalino e hidrotérmico	Hidrólise enzimática	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Titulação com dicromato

Fonte: o autor, 2021.

O pré-tratamento adotado variou conforme o tipo da matéria-prima, porém ambos tiveram como propósito reduzir o tamanho da amostra e retirar o excesso de água que se formou após esse processo. O trabalho de Silva (2014) tinha como objetivo principal avaliar qual o pré-tratamento (ácido, alcalino e hidrotérmico) foi o mais adequado para obter o etanol, assim foi o único que empregou esses recursos na etapa.

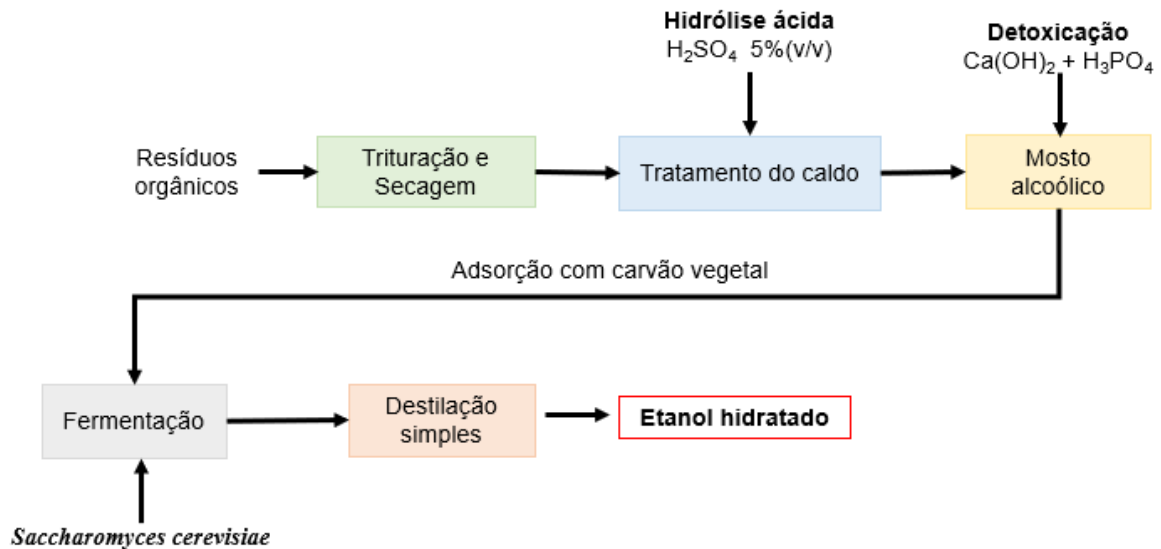
A sacarificação foi a etapa que mais apresentou técnicas diferentes. Tavares (2016), por exemplo iniciou a hidrólise aplicando um ácido diluído sob condições de temperatura e pressão controladas (autoclave) seguida pelo ajuste do pH primeiro em 7,0 utilizando hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e em 5,5 com ácido fosfórico (H_3PO_4) e por fim realizou uma adsorção. A justificativa dessa metodologia é descrita por Camargo e Sene (2014) uma vez que esse tratamento resultou em uma baixa concentração de hemicelulose na biomassa residual, o que comprovou a eficiente solubilização da mesma. Já Soares (2016) utilizou uma solução de NaOH seguida pela hidrólise enzimática, optando por não realizar a detoxicação a fim de preservar os açúcares solubilizados nas etapas anteriores.

Na fermentação, todos os trabalhos utilizaram as leveduras do mesmo gênero, o trabalho de Tavares (2014) foi o único que não detectou a presença dos inibidores fermentativos hidroximetilfurfural (HMF) e furfural, fato que se deve principalmente pela detoxicação aplicada no método. Assim, os demais precisaram quantificar esses inibidores para prosseguirem com a análise de produção do etanol.

A determinação que o produto obtido era de fato etanol englobou tanto técnicas cromatográficas quanto espectrofotométricas, no entanto Silva (2014) utilizou um método determinado pela *Association Official Analytical Chemistry* (AOAC) que consiste em realizar uma titulação com dicromato de potássio onde verifica-se a oxidação das hidroxilas secundárias pela ação do ácido crômico resultando em uma mudança de coloração na solução. O processo de destilação somente foi aplicado por Martinez (2016) que analisou somente as amostras que apresentaram picos elevados na espectroscopia.

O objetivo principal do trabalho é estudar a viabilidade da produção de etanol por resíduos orgânicos em Foz do Iguaçu, assim foi proposta uma metodologia para esse processo com base nos resultados obtidos nos trabalhos selecionados. Na figura 8 é apresentado um fluxograma da metodologia para a produção do etanol a partir dos resíduos orgânicos, desde o pré-tratamento da matéria-prima até a detecção do álcool produzido.

Figura 8-Fluxograma da metodologia proposta.



Fonte: o autor 2021.

No pré-tratamento deverá ocorrer as etapas de trituração e secagem, uma vez que a matéria-prima será constituída de uma combinação de vários insumos, cada qual com suas características tais como dureza, umidade e dimensão, por exemplo. Como a planta irá operar em grande escala, poderá ser interessante complementar a etapa com um tratamento químico, Silva (2014) verificou que as maiores sacarificações da biomassa ocorreram em amostras submetidas a tratamento ácido, assim empregar uma solução de H₂SO₄ em concentrações baixas irá aumentar a eficiência da produção.

Em todas as etapas fermentativas, os autores verificaram que os inibidores gerados na hidrólise (HMF e furfural) influenciaram a redução da cinética da reação enzimática bem como aceleraram a degradação dos açúcares, assim a metodologia implementada por Tavares (2016) deve ser considerada para a proposta. Diante disso, a melhor metodologia para o processo é realizar a sacarificação de forma ácida seguida pelo ajuste do pH e adsorção. Assim, o mosto alcoólico poderá seguir para a fermentação com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* que apresentou um desempenho ótimo para a produção.

O etanol que será produzido em Foz do Iguaçu será destinado estritamente para a

utilização como combustível, assim não cabe à metodologia implementar técnicas de identificação do mesmo no produto final, apenas a destilação simples. O etanol combustível deverá atender às especificações determinadas pela ANP através do Regulamento Técnico ANP nº3/2011, onde o controle de qualidade verificará características como massa específica, teor alcoólico e condutividade elétrica, por exemplo. Essas análises se enquadram no conceito de produto acabado, assim não são pertinentes para esse trabalho.

4 DESENVOLVIMENTO

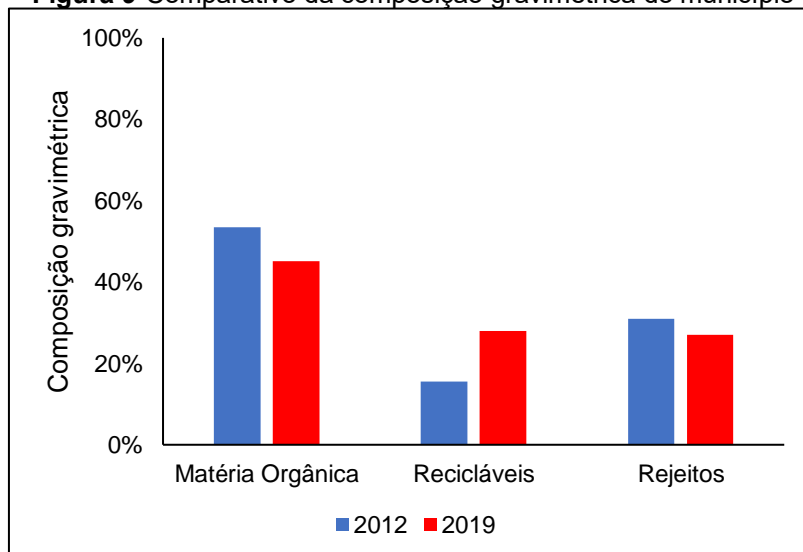
4.1 COMPILAÇÃO DE DADOS

A cidade de Foz do Iguaçu possui cerca de 260 mil habitantes representando mais de 80 nacionalidades, evidenciando sua diversidade cultural. Possui unidade territorial de aproximadamente 620 mil km², resultando em uma das densidades demográficas mais elevadas do estado, segundo dados do IBGE (2021). Assim, é de se esperar que exista uma grande quantidade de resíduos gerados diariamente pela população local.

Esses resíduos podem distinguir-se em resíduos sólidos urbanos (RSU) e resíduos especiais. Conforme especificado na Lei Federal 12.305/2010, a primeira classe engloba os resíduos domiciliares e os oriundos da limpeza urbana enquanto os especiais compreendem os de origem industriais, agrossilvopastoris e até de grandes geradores, como os shopping centers e o aeroporto internacional, por exemplo.

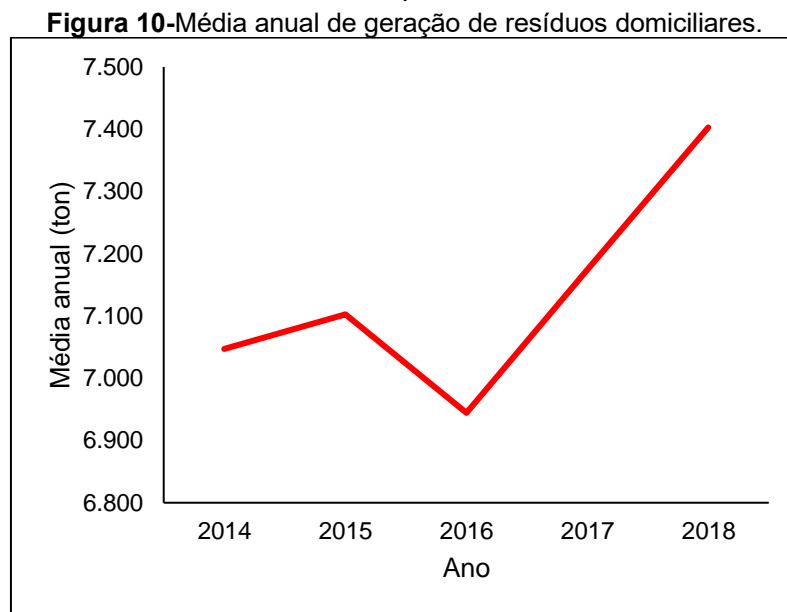
O município elaborou em 2012 a primeira versão do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) onde apresentou um diagnóstico sobre o sistema de limpeza e manejo dos resíduos sólidos, ocorrendo uma atualização das diretrizes em 2019. Ao analisar os dois programas foi possível verificar uma queda no percentual de matéria orgânica e rejeitos na composição gravimétrica e um aumento nos recicláveis, como pode ser verificado na figura 9. Isso significa que nesse período de 7 anos houve uma maior conscientização da população sobre a separação do lixo destinado a coleta seletiva, fato esse extremamente importante para a manutenção e preservação do meio ambiente da cidade, que é reconhecida mundialmente pela sua beleza natural.

Figura 9-Comparativo da composição gravimétrica do município



Fonte: PMSB, 2012 e 2019.

A gestão dos resíduos domiciliares em Foz do Iguaçu é atualmente coordenada pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente sendo a prestação dos serviços realizada pela empresa Vital Engenharia Ambiental S.A. No plano de 2019 foi possível verificar que em todos os anos, os meses de dezembro a janeiro apresentaram as maiores quantidades de resíduo gerado, o que se justifica pelo grande turismo nesse período na região. Além disso, desde o ano de 2016 a quantidade média apresentou comportamento ascendente, como pode ser visualizado na figura 10 (PMSB, 2019).



Fonte: PMSB, 2019.

O estudo ainda mostrou que desde 2014 a taxa de geração de resíduo *per capita* foi aumentando cada ano e mesmo com a variação negativa de quase 5 mil habitantes em 2018 o valor chegou ao seu máximo de 0,94 kg/hab.dia. Além de quantificar, é importante conhecer a composição desses resíduos, para isso a equipe responsável pelo PMSB realizou em quatro dias um estudo de caracterização desses, apontando qual a origem, composição gravimétrica e classificação conforme a legislação federal.

A coleta desses resíduos seguiu os roteiros da coleta convencional que são divididos em sete setores (28 rotas) ao final do período de coleta os organizadores contabilizaram 169.900,00 kg, onde 0,3% desse valor foi utilizado para a amostragem. A tabela 5 apresenta um resumo da composição dos resíduos da amostragem classificados entre rejeito, recicláveis e orgânicos, esse que se apresentou como a maioria em todos os setores.

Tabela 5-Composição da amostragem

Classificação	Médias por setor (%)						
	1	2	3	4	5	6	7
Reciclável	31,54	29,58	32,44	31,28	33,40	18,19	32,70
Rejeito	26,35	24,06	33,18	29,64	27,94	30,45	21,84
Orgânico	42,10	46,36	34,38	39,08	38,66	51,36	45,46

Fonte: PMSB, 2019.

O estudo pode determinar, através da gravimetria, que em março de 2018 foram destinados ao Aterro Sanitário a quantidade de 3.365,19, 2.181,64 e 2.006,93 toneladas de orgânicos, recicláveis e rejeitos, respectivamente. Vale ressaltar que a rota de coleta percorre apenas o perímetro urbano do município, que corresponde apenas a 20% da área territorial do município.

O município conta com uma variada produção agrícola, tendo como principais produtos a soja, milho e mandioca. Segundo dados da Pesquisa Agrícola Municipal do IBGE (PERS/PR), em 2017 houve a geração de 63.917,07 toneladas de resíduos, valor esse que deve ser levado em conta para esse trabalho, pois como verificamos na revisão bibliográfica eles possuem um grande potencial para a geração de etanol. Assim, dividindo esse valor mensalmente e somando com o valor destinado ao aterro, temos uma média de aproximadamente 9 mil toneladas de resíduos mensais em Foz do Iguaçu.

Como existe no município um programa de compostagem no próprio Aterro Sanitário e o projeto social chamado “Revolução dos Baldinhos”, reservaremos um terço desse montante para a produção de etanol. O restante irá se dividir entre o descarte usual e os programas, apesar do processo de compostagem levar de 2 a 3 meses para que o material final seja gerado, é importante manter essas atividades para o desenvolvimento social e humanitário da sociedade. Assim, podemos supor que esteja disponível mensalmente cerca de 3000 toneladas de resíduos para a produção de etanol.

4.2 SIMULAÇÃO DO PROCESSO

Essa etapa da análise ocorreu apenas de maneira teórica visto que os principais softwares gratuitos de simulação de processos, tais como COCO-COFE e DWSIM, por exemplo, não possuem em suas bibliotecas componentes que possam se assemelhar a composição de uma biomassa, o que desvirtuaria o propósito do trabalho. Assim, buscou-

se nas plataformas digitais materiais que apresentassem uma simulação da produção de etanol com matérias-primas semelhantes e que descrevessem informações e condições do processo proposto.

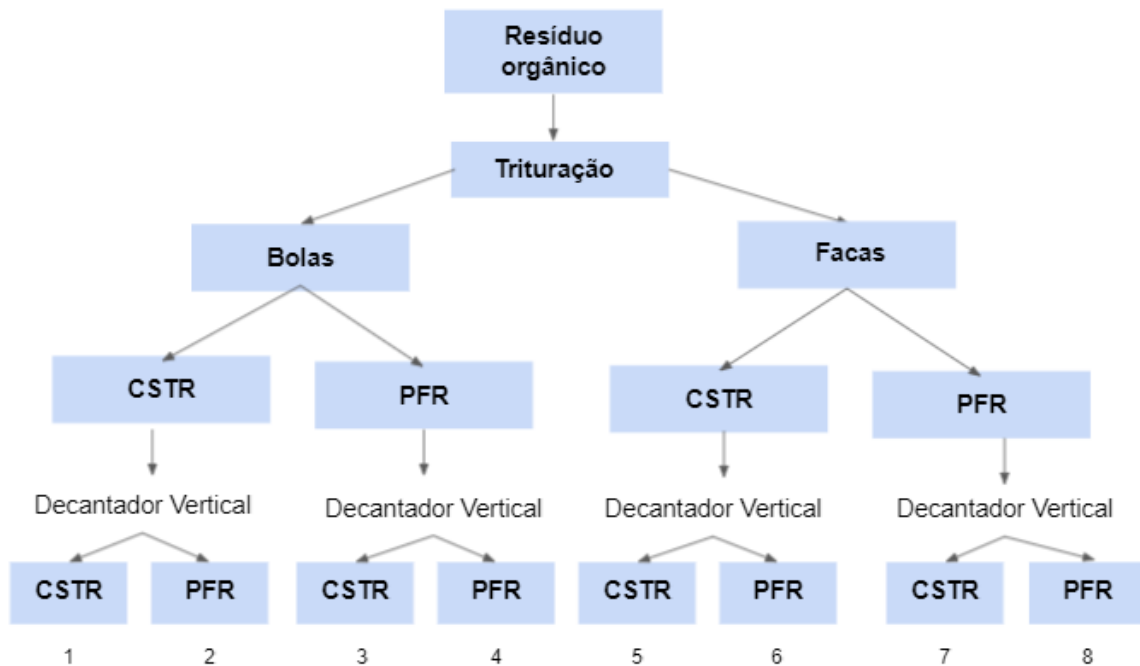
Avaliando as informações fornecidas por Dias (2008) e Ferreira (2003) foi possível verificar que a quantidade de matéria-prima disponível em Foz do Iguaçu é bem abaixo do utilizado pelas autoras, logo os valores propostos para a planta de produção tiveram que ser consideravelmente reduzidos. Assim, o projeto irá contar com um fator de operação de 3000 horas/ano, considerando apenas 200 horas/mês de operação da planta (20 dias com carga de 10 horas/dia divididos em dois turnos), as horas mensais restantes servirão para a manutenção e limpeza dos equipamentos e o preparo da matéria-prima. Essas condições serão suficientes para suprir uma vazão de alimentação de 15 ton/h de resíduo na planta.

4.2.1. Equipamentos

A metodologia proposta (figura 8) apresenta inicialmente as operações unitárias de secagem e trituração, como a região possui alta incidência solar durante todo o ano, segundo dados da Companhia Paranaense de Energia (2021) é viável a secagem da matéria-prima em temperatura ambiente e com constante homogeneização. Para as próximas etapas os principais equipamentos necessários são: moinho, tanque agitado, decantadores, reatores e um destilador.

As opções mais utilizadas industrialmente para a trituração e hidrólise/fermentação são os moinhos de bolas ou facas e reatores CSTR ou PFR, respectivamente. O decantador e o destilador não apresentam mais do que uma opção viável para o processo de produção de etanol, assim será utilizado um decantador vertical para se beneficiar da ação da gravidade e um destilador simples, já que não é o objetivo do trabalho produzir um etanol anidro. Assim, é possível verificar na figura 11 a árvore de estados da metodologia proposta.

Figura 11–Árvore de estados da metodologia.



Fonte: o autor, 2021.

Em relação a trituração, o primeiro é um equipamento disposto horizontalmente, o que já dificulta a alimentação dos resíduos. Já o de facas existe em opções verticais assim a carga pode ser manual, dispensando a utilização de um bombeamento. Além disso, um estudo realizado por Mazzinghy, Schneider e Galéry (2013) apontou que os moinhos verticais apresentaram uma redução de até 30% no consumo de energia em relação ao de bolas, assim o moinho de facas configura-se como a melhor opção para a operação.

As etapas seguintes do tratamento do caldo, detoxicação do mosto e fermentação devem ser realizadas em reatores, onde seja possível realizar um controle de temperatura, visto que a reação de hidrólise apresenta entalpia negativa (Rodrigues, 2007) havendo assim liberação de calor como na etapa de fermentação a temperatura do meio não pode ser muito elevada uma vez que pode prejudicar o processo biológico. Segundo Andrietta (1994) utilizar reatores tubulares não é a opção mais adequada para a fermentação, no processo ocorre a liberação de CO₂, que pode atrapalhar o processo de mistura, além disso, esse tipo de reator possui considerável variação de temperatura ao longo do equipamento, o que pode prejudicar as etapas químicas do tratamento.

Ainda, o autor explica que como nesse processo a levedura é inibida pelo produto formado, realizar uma associação de três a cinco CSTR em série configura-se como uma ótima estratégia, forçando que essa inibição ocorra somente nos estágios finais do

processo. Assim, a melhor configuração para o processo simulado é realizar a trituração com moinho de facas, hidrólise em CSTR, decantação vertical e associação de reatores CSTR (fluxograma 5).

4.2.2 Estimativa de custos

Para iniciar a estimativa de custos devemos identificar a quantidade de equipamentos e as suas capacidades também. Para fins de cálculos iremos supor que a densidade da biomassa gerada seja de 1500 kg/m^3 , logo teremos, somente para matéria, um fluxo de 10 m^3 por hora. Desse modo, é possível verificar na tabela 6 as especificações dos equipamentos, levando em consideração a inclusão dos fluxos de água e outros reagentes.

Tabela 6-Relação dos principais equipamentos da planta

Equipamento	Quantidade	Capacidade
CSTR	4	5 m^3
Decantador vertical	2	10 m^3
Moinho de facas	3	4000 kg/h

Fonte: o autor 2021.

Os preços dos equipamentos foram considerados como uma média entre os valores encontrados nas plataformas Matche (2014), Alibaba (2021) e Made-in-China (2021) cotados em dólares americanos. Para o reator, decantador e o moinho o preço médio foi de \$10.480,00, \$10.333,33 e \$10.000,00, respectivamente. Assumindo a cotação média do dólar comercial como R\$5,25 temos que o valor total de compra dos equipamentos da tabela 6 é de R\$ 431.060,00.

Os demais insumos que serão considerados para o processo são água, H_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, H_3PO_4 , levedura e o consumo médio de energia elétrica no processo. A quantidade de cada item foi estipulada segundo os parâmetros utilizados por Albarelli (2013) e estão dispostos na tabela 7, tendo o custo obtido pelo trabalho de Dias et al. (2011).

Tabela 7-Custos de matéria-prima e insumos do processo.

Item	Quantidade	Total (mês)	Preço unitário (R\$)
Água	24 m ³ /ton.	72000 m ³	25,25
H ₂ SO ₄	0,01 kg/ton.	30 kg	65,79
H ₃ PO ₄	0,44 kg/ton.	132 kg	61,14
Ca(OH) ₂	0,21 kg/ton.	636 kg	189,24
Levedura	20% ton.	600000 kg	118,84
Energia elétrica	20kWh/ton.	60000 kWh	0,53

Fonte: Albarelli (2013) e Dias et al. (2008).

4.3 ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR

A avaliação econômica preliminar, também conhecida como *Venture Profit* é um estudo que permite determinar um lucro relativo estimado pela vantagem de se investir em um determinado projeto industrial em detrimento de outro que oferece risco zero. A metodologia e os parâmetros utilizados nessa etapa estão descritos em Perlingeiro (2005) que se divide em estimativas, a de custo total, investimento total e lucro total.

4.3.1 Estimativa de custo total

O custo total (C_{tot}) compreende a soma entre os custos de produção e os custos gerais (com relação à receita do projeto), o primeiro se divide em custos diretos e fixos, os diretos correspondem aos gastos com matéria-prima, suprimentos, utilidades, entre outros. Já os fixos estão relacionados às taxas de importações, assessoramento jurídico, seguro e aluguel. Para o presente trabalho o custo direto será condensado englobando apenas o custo de matéria-prima (C_{mp}) e utilidades (C_{util}), que podem ser calculados através de uma equação que relaciona o consumo horário de um item, o seu preço e o fator mensal de operação da planta, um resumo do processo dessa etapa encontra-se descrito na figura 12.

Figura 12-Detalhamento dos cálculos do custo total.

$$\begin{aligned}
 C_{\text{tot}} &= C_{\text{produção}} + C_{\text{gerais}} \\
 C_{\text{gerais}} &= 0,025 \cdot R \\
 C_{\text{produção}} &= C_{\text{diretos}} + C_{\text{fixos}} \\
 C_{\text{diretos}} &= (C_{\text{mp}} + C_{\text{util}}) + C_{\text{manutenção}} + C_{\text{suprimentos}} + C_{\text{mão-obra}} + C_{\text{administrativo}} + C_{\text{laboratório}} + C_{\text{royalties}} \\
 C_{\text{fixos}} &= C_{\text{impostos}} + C_{\text{seguro}} + C_{\text{aluguel}} + C_{\text{jurídico}} \\
 C_{\text{produção}} &= (C_{\text{mp}} + C_{\text{util}}) = \sum (\text{preço}_{\text{unitário}} \cdot \text{consumo}) \cdot f_{\text{operação}}
 \end{aligned}$$

Fonte: adaptado de Perlingeiro, 2005.

Segundo SILVA (2014) a conversão teórica do pré-tratamento ácido na biomassa alcançou valores na faixa de 67 a 115L de etanol por tonelada de resíduo, assim considerando o menor valor calculado temos que por mês a planta proposta será capaz de gerar 345.000 litros de etanol e com a venda do produto por um preço de R\$3,20 temos uma receita mensal de R\$ 643.200,00. Com os dados da tabela 7 , realizando os cálculos (Apêndice A) obtemos que $C_{\text{produção}}$ é igual a R\$ 137.125,70, assim o valor do C_{tot} é igual a R\$ 153. 205,70

4.3.2 Estimativa de investimento total

O investimento total de um projeto deve incluir os investimentos de natureza fixa, os relacionados ao capital de giro, indiretos e diretos. Esse último envolve dois parâmetros muito importantes para a análise, o *Inside Battery Limits* (ISBL) e o *Outside Battery Limits* (OSBL), que remete aos equipamentos que participam diretamente do processo e as instalações periféricas, respectivamente (DIMIAN et al., 2014).

O ISBL é uma relação entre três fatores, o de transferência, relacionado a entrega, taxas de importação e frete dos equipamentos, o de atualização de preço, referente à depreciação e o de Lang, alusivo a itens de natureza física, como tubulações e instalações auxiliares, por exemplo e algumas despesas adicionais, como montagem dos equipamentos. É realizado uma multiplicação entre esses fatores junto com um outro fator financeiro que é uma estimativa relacionada aos equipamentos, conforme equação 1.

$$ISBL = f_T f_A f_L \sum I_E \quad (1)$$

Será desprezado a influência dos fatores f_T e f_A , visto que inicialmente os parâmetros relacionados diretamente com a instalação dos equipamentos são mais importantes para a análise econômica. Como a planta proposta é de processamento de sólidos-fluidos, segundo o trabalho de Seider et al. (2009) o fator de Lang original para esse caso é de 3,63 já o recomendado por Peters, Timmerhaus e West é de 4,28, assim optou-se por utilizar a média desses valores (3,955). Para o cálculo do IE foi utilizado a equação 2, onde a constante Q é referente ao volume de cada reator utilizado (5000L), e as demais são estipuladas pelo método de Guthrie.

$$I_E = I_{EB} \left(\frac{Q}{Q_B} \right)^M \rightarrow I_E = 1000 \left(\frac{5000}{568} \right)^{0,69} \quad (2)$$

Assim, temos que o ISBL é de R\$ 53.217,77 e como o OSBL é 45% desse valor, temos que o I_{direto} é de R\$ 77.165,77. Os demais componentes do investimento total são calculados em função do I_{direto} , essa relação pode ser visualizada na figura 13. Desse modo, o valor final da estimativa de investimento total calculado foi de R\$ 202.427,10, como pode ser visto no Apêndice B.

Figura 13- Procedimento de cálculo do investimento total.

$$\begin{aligned} I_{\text{tot}} &= I_{\text{fixo}} + I_{\text{giro}} + I_{\text{partida}} \\ I_{\text{fixo}} &= I_{\text{direto}} + I_{\text{indireto}} \\ I_{\text{indireto}} &= C_{\text{próprios}} + C_{\text{eventuais}} \\ C_{\text{próprios}} &= 0,05 \cdot I_{\text{direto}} \\ C_{\text{eventuais}} &= 0,20 \cdot I_{\text{direto}} \\ I_{\text{giro}} &= 1,81 \cdot \text{ISBL} \\ I_{\text{partida}} &= 0,1 \cdot I_{\text{fixo}} \end{aligned}$$

Fonte: PERLINGEIRO, 2005.

4.3.3 Lucro do empreendimento

A estimativa é composta pela diferença do lucro líquido após de dedução do imposto de renda, (lucro bruto com descontos de depreciação e tributos) e do retorno do investimento garantido, sem riscos. As componentes para o cálculo do L_E dependem dos valores de C_{tot} , I_{fixo} e I_{tot} , o desmembramento da equação está disposto na figura 14.

Figura 14-Procedimento do cálculo do L_E .

$$\begin{aligned}L_E &= LB - D - IR - RIR \\LB &= R - C_{tot} \\D &= 0,1 \cdot I_{fixo} \\IR &= 0,5 \cdot (LB - D) \\RIR &= 0,1 \cdot I_{tot}\end{aligned}$$

Fonte: PERLINGEIRO, 2005.

Ao final de todos os cálculos (Apêndice C), foi encontrado lucro de R\$ 219.931,58, um valor positivo que permite concluir que esse empreendimento de uma planta de produção de etanol com resíduos orgânicos em Foz do Iguaçu se trata de um investimento vantajoso para a cidade frente a outros tipos de aplicações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do resultado positivo do LE, é possível concluir que a proposta de produção de etanol utilizando resíduos orgânicos produzidos em Foz do Iguaçu é bastante promissora. O município conta com uma grande geração de resíduos e esse valor só tende a aumentar nos próximos anos. Com a gradual flexibilização das restrições impostas pela pandemia do COVID-19, o turismo na cidade irá voltar, aos poucos, à sua normalidade, podendo até aumentar devido ao extenso período de isolamento social acometido pelo mundo inteiro. Tendo mais turistas, a oferta de combustível na região precisará seguir o mesmo fluxo, assim ter disponível na cidade uma fonte complementar de etanol tornará o turismo mais agradável e econômico.

Desde o início do cenário pandêmico a sociedade passou a estar mais conectada à internet, seja para fins de trabalho, estudo ou saber sobre notícias, e dentre elas houve a exposição de intensas queimadas tanto em países como a Austrália quanto no próprio cerrado e pantanal brasileiro. Assim, está cada vez mais forte a consciência de que mais e mais medidas de preservação do meio ambiente devem ser aplicadas no mundo. Dar uma destinação mais adequada para toneladas de resíduos que vão diretamente aos aterros sanitários para decomporem-se liberando uma quantidade considerável de gases tóxicos, como o metano e gás carbônico já é um grande passo para conservar a natureza.

Assim, como sugestão para trabalhos futuros é interessante avaliar o impacto ambiental que essa alternativa irá causar ao ecossistema, analisando a redução da emissão de gases tóxicos à atmosfera e da liberação de substâncias tóxicas no solo dos aterros. Ainda, recomenda-se aprofundar na análise econômica do projeto, incluindo alguns outros custos, como administrativos, jurídicos, logísticos, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ALBARELLI, Juliana Queiroz -**Produção de Açúcar e Etanol de Primeira e Segunda Geração: Simulação, Integração Energética e Análise Econômica**- (Tese de Doutorado) pág. 244– Campinas, 2013.

ALIBABA. Disponível em:< <https://www.alibaba.com/>> Acesso em: 24 set. 21

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 19, de 15 abril de 2015**. Disponível em:< <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/abril&item=ranp-19-2015>. Acesso em: 04 set. 2021.

BRAGION, N.; SANTOS, A. C. dos. Variáveis que sustentam o período atual de produção de bioetanol. **INMR - Innovation & Management Review**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 126-140, 2012. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rai/article/view/79253>. Acesso em: 4 set. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Legislativo, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/Leis.htm>>. Acesso em: 16 set. 2021.

CARDONA, C. A.; SÁNCHEZ, Ó. J. Fuel ethanol production: process design trends and integration opportunities. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 12, p. 2414-2457, 2007.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B.. **Tecnologia e fabricação do álcool**: Rede e-Tec Brasil. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

COLBERT, J.T., EVERT, R.F. Leaf vasculature in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Planta** **156**, 136–151 (1982).

DIAS M.O.S, MACIEL FILHO R., MACIEL M.R.W., ROSSEL C.E.V., 2008, Evaluation of energy demand during bioethanol production from sugarcane and sugarcane bagasse – computer based scenario approach, **18th European Symposium on Computer Aided Process Engineering**, Elsevier, Lyon-France, 2008.

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção do etanol a partir do açúcar e do**

bagaço, visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química/UNICAMP) Campinas, 2008.

DIMIAN A. C., BILDEA C. S., KISS A. A. **Integrated Design and Simulation of Chemical Processes** (Chapter 19 – Economic Evaluation of Projects). Amsterdam, Elsevier Science Publ., 2014, pp. 717-755.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética. Balanços Energéticos Nacionais.** Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energeticonacional-ben> >. Acesso em: 11 set. 21

FERREIRA, J. C.; MARTINS, J. M.; FINZER, J. R.D.; BEGNINI, M.L.; Produção de etanol a partir da sacarose extraída da beterraba sacarina. In: **ANAIS DO XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA.** São Paulo: Blucher, 2017.

GARDÉ, Alberto H. **Beterraba sacarina.** 5. ed. Santelmo: Agricultura Moderna, 1978.

GÓES-FAVONI, S. P.; MONTEIRO, A. C. C.; DORTA, C.; CRIPPA, M. G.; SHIGEMATSU, E. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.4, p.285-296, 2018. (colocar et al.,)

HAMELINCK, C. N. et al. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short, middle and long term. **Biomass and Bioenergy** 28 (2005), 384-410

HE, M.; LI, Y.; BAI, F.; FENG, H.; ZHANG, Y. Ethanol production by mixed cultures of *Paenibacillus* sp. and *Zymomonas mobilis* using the raw starchy material from sweet potato. **Annals of Microbiology**, v. 59, n. 4, p.749-754, 2009.

LEHNINGER, A.L.; NELSON, D.L.; COX, M.M. **Princípios da Bioquímica.** 2.Ed. Simões AA, Lodi WRN. São Paulo: Savier, p. 570-585, 1995.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.. **Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos.** São Paulo: Blucher, 2001.

MADE-IN-CHINA. Disponível em: <<https://www.made-in-china.com/>>. Acesso em: 24 set. 21.

MAPA SOLAR. **Companhia Paranaense de Energia (COPEL)**. Disponível em: <<https://solar.copel.com/solar/>>. Acesso em: 21 set. 21.

MARTINEZ, Daiana Gotardo. **Ethanol production from cassava processing waste**. 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2016.

MARTINS, Quesia Santos Amorin et al. Resíduos da Indústria Processadora de Polpas de Frutas: Capacidade Antioxidante e Fatores Antinutricionais. 78 Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Vol. 1 – N. 8 **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá – Paraná, Brasil, v. 12, n. 2, p. 591-608, 2019.

MATCHES. Disponível em:< <https://www.matche.com/equipcost/Default.html>>. Acesso em: 24 set. 21.

MAZZINGHY, D. B.; SCHNEIDER, C. L.; GALÉRY, R. **Moinho vertical de carga agitada: uma revisão**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. (Série Tecnologia Mineral, 90).

MOSIER, N. et al. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresourse Technology**. USA. p. 673-686. 2005.

NÓBILE, F. O. D.; NUNES, H. D. Avaliação da Produção de Etanol e Cogeração de Energia Pela Cultura do Sorgo Sacarino. **Revista Brasileira Multidisciplinar, [S. l.]**, v. 17, n. 1, p. 89-98, 2014. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2014.v17i1.9. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/9>. Acesso em: 5 ago. 2021.

PERLINGEIRO, C. A. G. Engenharia de processos, análise, simulação, otimização e síntese de processos químicos, **Blusher**, Rio de Janeiro, pp 77-90, 2011.

RADIO CULTURA FOZ. **Diariamente, cerca de 40 mil veículos passam pela Ponte da Amizade**. Disponível em:< <https://www.radioculturafoz.com.br/2017/09/12/diariamente-cerca-de-40-mil-veiculos-passam-pela-ponte-da-amizade/>>. Acesso em: 5 set. 2021.

ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da; GARCIA, Jorge Luiz Faria. **O etanol de segunda**

geração: limites e oportunidades. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, n.32, p. 117-156, dez. 2009.

RUIZ-MARIN, Alejandro et al . Production of ethanol by *Saccharomyces cerevisiae* and *Zymomonas mobilis* Coimmobilized: proposal for the use of organic waste. **Agrociencia**, México, v. 50, n. 5, p. 551-563, agosto 2016. Disponível em <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000500551&lng=es&nrm=iso>. Acesso em 12 agosto 2021.

SANTOS, F. A. et al. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p. 1004–1010, 2012.

SEIDER, W.D., SEADER, J.D., LEWIN, D.R., WIDAGO, S. **Product and Process Design Principles**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.

SILVA, Carlos Eduardo de Farias. **Avaliação do potencial de uso de resíduos do processamento de frutas na produção de etanol 2G**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal Alagoas, Maceió, 2014.

SILVA, N, L. C. **Produção de Bioetanol de Segunda Geração a partir de Biomassa Residual da Indústria de Celulose**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SOARES, Jimmy et al. Green coconut mesocarp pretreated by an alkaline process as raw material for bioethanol production. **Bioresour Technol**. 2016 v. 216. Available from:< <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.105>> Acessado em: 12 agosto 2021.

SOUZA, O. et al. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2012, v. 16, n. 8, pp. 915-921. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800015>>. Acessado em: 12 agosto 2021.

TAVARES, B. SENE, L.; CHRIST, D. Valorization of sunflower meal through the production of ethanol from the hemicellulosic fraction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**

Ambiental [online]. 2016, v. 20, n. 11, pp. 1036-1042. Available from: <<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p1036-1042>>. Acessado em: 12 agosto 2021.

VASCONCELOS, J. N. de. Fermentação Etanólica. In; SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. 22. Ed. Viçosa: UFV, p. 401-437, 2010.

VAZ JUNIOR, S. **Biomassa para química verde**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2013.

VENTURINI FILHO, W. G.. **Bebidas alcoólicas: Ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010.

WALTER, A.; GALDOS, M. V.; SCARPARE, F. V.; LEAL, M. R. L.V.; SEABRA, J. E. A.; DA CUNHA, M.P.; PICOLI, M. C. A.; DE OLIVEIRA, C. O. F. Brazilian sugarcane ethanol: developments so far and challenges for the future. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**, 3(1), 70–92. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A- PLANILHA DE CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE CUSTO TOTAL

C_{tot}	(C_{mp} + C_{util})	C_{gerais}	
R\$ 153.205,70	R\$ 137.125,70	R\$ 16.080,00	
	Preço	Taxa de consumo	Multiplicação
Água	25,25	24	606
Ácido Sulfúrico	197	0,01	1,97
Ácido Fosfórico	61,14	0,44	26,9016
Hidróxido de Cálcio	189,24	0,212	40,11888
Levedura	0,64	0,2	0,128
Energia Elétrica	0,5255	20	10,51
		Somatório	685,62848
		x Fator de produção	R\$ 137.125,70
Taxa de geração (L/ton)	Resíduo (ton)	Preço de venda (R\$/L)	Receita
67	3000	3,20	R\$ 643.200,00

APÊNDICE B- PLANILHA DE ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO TOTAL.

I_{tot}	I_{giro}	I_{fixo}	I_{partida}
R\$ 202.427,10	R\$ 96.324,17	R\$ 96.457,21	R\$ 9.645,72
I _{direto}			
R\$ 77.165,77			
ISBL	f _T	f _A	f _L
R\$ 53.217,77	1	1	3,955
OSBL			Somatório
23947,9977			13455,82115
			I _E
			13455,82115
I _{indireto}	C _{próprio}	C _{eventuais}	
19291,44259	3858,288518	15433,15407	
I _{giro}			
96324,16851			
I _{partida}			
9645,721294			

