



UEPB

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INDUSTRIAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA INDUSTRIAL**

DANIEL BEZERRA FERNANDES

**PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS DE
ALGAROBA (*Prosopis Juliflora*), ORIUNDOS DA PODA DE ÁRVORE DA CIDADE
DE CAMPINA GRANDE – PARAÍBA.**

**CAMPINA GRANDE- PB
2022**

DANIEL BEZERRA FERNANDES

**PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS DE
ALGAROBA (*Prosopis Juliflora*), ORIUNDOS DA PODA DE ÁRVORE DA CIDADE
DE CAMPINA GRANDE – PARAÍBA.**

Trabalho de conclusão de curso- apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Graduado em Química Industrial.

Orientador (a): Prof. Dr. Carlos Christiano Lima dos Santos

**CAMPINA GRANDE- PB
2022**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F363p Femandes, Daniel Bezerra.

Produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos de algaroba (*Prosopis Juliflora*), oriundos da poda da árvore da cidade de Campina Grande - Paraíba [manuscrito] / Daniel Bezerra Femandes. - 2022.

33 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Carlos Christiano Lima dos Santos, Coordenação do Curso de Química Industrial - CCT."

1. Biocombustível. 2. Etanol de segunda geração. 3. Resíduos de poda de árvores. 4. Algaroba. I. Título

21. ed. CDD 662.689 2

DANIEL BEZERRA FERNANDES

PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE RESÍDUOS DE
ALGAROBA (Prosopis Juliflora), ORIUNDOS DA PODA DE ÁRVORE DA CIDADE DE
CAMPINA GRANDE – PARAÍBA.

Trabalho de conclusão de curso- apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Graduado em Química Industrial.

Aprovado em: 15 / 12 / 2022 .

BANCA EXAMINADORA



Prof^o. Dr. Carlos Christiano Lima dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof^a. Dr. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof^a Dr. Pablícia Oliveira Galdino
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as bênçãos que providência em minha vida, nesta graduação, com os dons da ciência, sabedoria e fortaleza, que me permitiram seguir diante das adversidades.

Toda essa trajetória é um trabalho conjunto. Agradeço a toda minha família por todo amor, apoio e incentivo. Em especial, meus pais, Josivanio Marinho Fernandes e Áurea Telma Bezerra Fernandes.

Agradeço também pelo companheirismo e paciência, ao reverendíssimo Pe. Tobias Glêriston Diniz, que por grande tempo foi confidente das preocupações da graduação e da vida.

Agradeço a todos os meus amigos, pela amizade e compreensão. Em especial, Leiryston Ivyrson Farias Almeida e Gabriel Monteiro da Silva, pelo acolhimento, pela imensa disponibilidade em ajudar, pelas preocupações pessoais e acadêmicas. Vocês são incríveis.

Tão importantes na minha formação, agradeço a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos comigo durante a graduação. Em especial, o Prof. Dr. Carlos Christiano Lima dos Santos, o qual me orientou na elaboração deste trabalho, e as professoras Dr. Pablícia Oliveira Galdino, Dr. Vera Lúcia Meira de Moraes Silva, por comporem a avaliação deste trabalho.

Aos funcionários da UEPB, pela presteza e atendimento quando foi necessário. Em especial, as “tias” do restaurante universitário que pelo alimento fortaleciam o corpo e aos técnicos do complexo de laboratórios de tão grande ajuda nas pesquisas.

Agradeço os colegas de classe pelos momentos vividos. E, a todos que participaram diretamente e indiretamente da minha formação, meu muito obrigado.

RESUMO

O presente estudo consiste no aprimoramento de tecnologias alternativas, viáveis para a obtenção de biocombustível, etanol de segunda geração (E2G), como uma proposta de atendimento à demanda energética, em níveis local, regional e nacional, abrangendo também as necessidades de redução de impactos ambientais, constantemente promovidos pela utilização de matrizes fósseis. Os rejeitos da poda de árvore *Prosopis Juliflora* podem ser utilizados como biomassa para produção do bioetanol, entretanto, para a utilização desse substrato é necessário tratamento inicial de ataque hidrotérmico, para a remoção da hemicelulose e lignina, expondo a celulose que é o substrato consumido pelo microrganismo na fermentação. A utilização de um segundo tratamento, ataque hidrólise ácida, viabiliza em maior quantidade a exposição de celulose. Assim, esse trabalho teve como objetivo estudar a produção de bioetanol pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* a partir de poda da árvore algaroba utilizada como substrato. Para isso, tempo de aquecimento no tratamento hidrotérmico foi de 30 minutos, utilizando ataque hidrólise ácida solução de ácido sulfúrico 2%. Também se avaliou o efeito de um mosto apenas com o tratamento hidrotérmico. Os resultados indicam produção de etanol após a fermentação de 36 horas, apresentando o melhor resultado o mosto hidrolisado, 6,27 gramas/litro de etanol e 4,70 gramas/litro no mosto feito apenas ataque hidrotérmico. Portanto, essa pesquisa fornece dados para utilização como uma alternativa sustentável e viável de biocombustível, álcool de segunda geração, a partir de fonte lignocelulósica da árvore da algaroba, *Prosopis Juliflora*, da cidade de Campina Grande.

Palavras-Chave: biocombustível; etanol de segunda geração; resíduos de poda de arvores; algaroba;

ABSTRACT

The present study consists of the improvement of alternative technologies, viable for obtaining biofuel, second generation ethanol (E2G), as a proposal to meet the energy demand, at local, regional and national levels, also covering the needs to reduce impacts environmental issues, constantly promoted by the use of fossil matrices. The residues from the pruning of the *Prosopis Juliflora* tree can be used as biomass for the production of bioethanol, however, for the use of this substrate it is necessary an initial treatment of hydrothermal attack, for the removal of the hemicellulose and lignin, exposing the cellulose that is the substrate consumed by the microorganism in fermentation. The use of a second treatment, acid hydrolysis attack, makes possible the exposure of cellulose in greater quantity. Thus, this work aimed to study the production of bioethanol by the yeast *Saccharomyces cerevisiae* from pruning the mesquite tree used as substrate. For this, heating time in the hydrothermal treatment was 30 minutes, using acid hydrolysis attack 2% sulfuric acid solution. The effect of a wort with only the hydrothermal treatment was also evaluated. The results indicate ethanol production after 36 hours of fermentation, with the best result being the hydrolyzed must, 6,27 grams/liter of ethanol and 4,70 grams/liter in the must made only by hydrothermal attack. Therefore, this research provides data for use as a sustainable and viable biofuel alternative, second generation alcohol, from a lignocellulosic source of the mesquite tree, *Prosopis Juliflora*, from the city of Campina Grande.

Keywords: biofuel; second generation ethanol; tree pruning waste; mesquite;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação das usinas distribuídas no território brasileiro. (Safrá 2019/2021)	10
Figura 2 - Estrutura e composição da parede celular vegetal.....	11
Figura 3 - Composição da parede celular vegetal.....	12
Figura 4 - Fluxograma etapas de produção do E2G	13
Figura 5 - Reação da fermentação no interior da célula	15
Figura 6 - Vegetação de algaroba no campo	16
Figura 7 - Fluxograma do processo de obtenção do etanol de segunda geração.....	18
Figura 8 - folíolos e ráquis da folha de Prosopis	19
Figura 9 - Folha secas de Prosopis	19
Figura 10 - Sistema de aquecimento.....	20
Figura 11 - Leitura de pH no peagâmetro	21
Figura 12 - Reatores montados para fermentação	22
Figura 13 - Três camadas observadas na fermentação.....	22
Figura 14 - Liberação de CO ₂	23
Figura 15 - Filtração do mosto em malha de organza.....	23
Figura 16 - Líquidos filtrados.....	24
Figura 17 - Resíduos sólidos resultantes da filtração	24
Figura 18 - Ebulioscópio.....	25
Figura 19 - Régua de escala teor alcoólico	25
Figura 20 - pH da fermentação	27
Figura 21 - Temperatura ambiente e do mosto fermentando	28
Figura 22 - Temperaturas de ebulição	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 Etanol de segunda geração no mundo	9
2.2 Etanol de segunda geração no brasil.....	9
2.4 Viabilidade de resíduos urbanos para obtenção do e2g (podas de árvores)	13
2.5 Escolha da biomassa prosopis juliflora para a pesquisa	15
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 Realização dos experimentos	18
3.2 Matéria-prima.....	18
3.3 Preparo da matéria-prima.....	18
3.4 Tratamento hidrotérmico	19
3.5 Correção da acidez do meio	20
3.6 Fermentação	21
3.7 Filtração do mosto	23
3.8 Leitura quantitativa de teor alcoólico etanol	24
3.9 Cálculos de teor alcoólico	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Processo fermentativo.....	27
4.1.1 Potencial hidrogênio do mosto	27
4.1.2 Temperaturas	27
4.1.3 Graduação alcoólica decimal	28
5.0 CONCLUSÃO.....	30
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

O bioetanol é visto ultimamente por pesquisadores, empresas e governo, como alternativa de energia renovável em decorrência da perspectiva do esgotamento de fontes fósseis não renováveis e que agridem em maior grau o meio ambiente. Nesse contexto, vários autores usam dos resíduos gerados por indústrias sucroalcooleiras, bem como resíduos de poda, corte, vargem e casca de frutos de árvores, avaliando e mostrando viabilidade do uso para produção de etanol de segunda geração (SILVA, 2018; SANTOS, 2019; FILHO, 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

O biocombustível será obtido a partir de fermentação com leveduras, desse modo esses materiais que são ricos em biomassa lignocelulósicas podem ser aproveitados, porém, diferente do tradicional, devem passar por etapas de processamento anteriores a fermentação para que haja a separação dos açúcares da fibra da planta. A fermentação, produção de etanol e gás carbônicos por leveduras, ocorre a partir de variáveis operações controladas para desenvolvimento do microrganismo, como a temperatura, pH do meio e °Brix disponível (NOGUEIRA, 2021).

Na cidade de Campina Grande na Paraíba, as quatro árvores mais abundantes na cidade compreenderam três de origem exótica, a *Senna Siamea* (Cássia-Amarela), *Prosopis Juliflora* DC (Algaroba), e *Terminalia Catappa Linn* (Castanhola); e uma de origem nativa a *Cliptoria Fairchildiana Howard* (Sombreiro), sendo espécies de portes médio e grande (MARTINS, 2020. DANTAS et al., 2004). Dentre estas classes de árvores apresentadas, o estudo quantitativo de biomassa lignocelulósica (Podas de folhas das arbóreas), com potencial para produção de etanol de segunda geração, foi focado na segunda espécie mais abundante que é a *Prosopis Juliflora* (Algaroba). A escolha foi motivada devido a abundância da espécie no nordeste brasileiro; consequência de obter a matéria-prima por todo o território, espécie que ganhou popularidade para o plantio devido características de adaptação da árvore na região nordestina amplamente árida e semi-áridas.

Como resultados esperados, pretende-se a partir da pesquisa, obter produção de bioetanol pela levedura *Saccharomyces cerevisiae* se utilizando de poda da árvore algaroba como substrato na fermentação, envolvendo a folha da planta, e comparando-se a eficiência desta rota produtiva com as de outras biomassas, conforme expostos na literatura (SILVA, 2018; SANTOS, 2019; FILHO, 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Etanol de segunda geração no mundo

É primordial que as nações do mundo invistam em matrizes energéticas verdes, a exemplo dos biocombustíveis, reduzindo o uso de matrizes fósseis, reduzindo os impactos ambientais no planeta (CUTZ et al., 2020; ADEBAMI et al., 2021).

O Brasil e estados unidos são os países com maior produção e comercialização de biocobustiveis, chegando juntos a contribuição de 84% (REN21, 2021). Essa produção de bioetanol no Brasil vem da matéria prima a partir da cana de açúcar, enquanto que nos EUA a matéria prima principal é o milho. Outras regiões que se destacam e ficando abaixo no ranking, países no continente europeu usam em principal o trigo e beterraba sacarina, na Argentina usando soja, Malásia e Indonésia o óleo de palma, dentre outros alimentos que possam ser usados para obtenção do bioetanol (JESWANI et al., 2020).

Embora o Brasil esteja entre os maiores produtores e comercialização do etanol combustível, essa produção é quase toda proveniente de biocombustível líquido classificado em etanol de primeira geração, não sendo estimulado pelas autoridades a produção desses combustíveis por rotas de segunda geração (GARCIA et al., 2021).

O etanol de segunda geração é obtido a partir da matéria prima não alimentar, podendo ser produzidos por diferentes rotas, contínuas ou descontínuas, a partir de resíduos lignocelulósico como resíduos florestais, resíduos orgânicos de coleta urbana, como exemplo oriundo de podas de árvores (JESWANI et al., 2020).

O etanol de segunda geração (E2G) é opção para alavancar em mais produção de biocombustível com o etanol de primeira geração (E1G), e em conjunto contribuir para minimizar impactos ambientais, porém estas ações anexas no Brasil ainda não são prioritárias, sendo um dos fatores a matéria utilizada para produção do combustível 1G, a cana de açúcar abundante no país, diferentemente de outros países, por exemplo, que usam das sementes do milho e soja para a produção do etanol de 1G, o quais alimentos é essencial, sofrem muitas variações de preços, fazendo com que o governo deva buscar opção na produção do E2G e torna-se mais viável o biocombustível (GARCIA et al., 2021).

2.2 Etanol de segunda geração no brasil

No Brasil a produção do etanol de segunda geração começa a ganhar força a partir do ano de 2013. É financiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, R\$ 207,7 milhões através do programa PAISS (Plano BNDES-Finep de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergético e Sucroquímico), para a construção da primeira unidade integrada de etanol de segunda geração a partir da biomassa da cana-de-açúcar. Essa tecnologia integrada a estrutura existente nas unidades produtoras, localizada na época na usina de Costa Pinto, em Piracicaba (SP), de propriedade da empresa Raízen Energia, reduz o custo de instalação e operação, além de que, virá implantação de proibição a queima da palha de cana de açúcar e tendência de jogar os resíduos nas caldeiras, o projeto utilizou as tecnologias para conversão do bagaço e palha da cana-de-açúcar em escala industrial no biocombustível (PACHECO, 2011).

A maioria das usinas distribuídas no território brasileiro estão no sudeste do país (222 usinas), concentradas em sua maioria no estado de São Paulo (173 usinas). Seguidos o ranking das regiões nacionais com maior atividade sucroalcooleira, destacam-se o Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e em menor quantidade o Norte do país (422 usinas total - Figura 1). A escolha da região para a implementação da primeira planta integrada se deu devido a características como: grande volume de bagaço da cana-de-açúcar e palhas da planta coletadas no campo, recurso usado como matéria prima dessa nova tecnologia (NOVACANA, 2022).

Figura 1 - Relação das usinas distribuídas no território brasileiro. (Safrá 2019/2021)



Fonte: NOVACANA (2022)

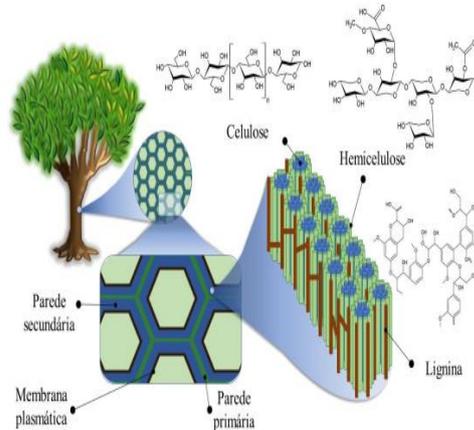
O programa de financiamento à pesquisa e inovação de tecnologias relacionadas ao etanol 2G que mais se destacou no Brasil foi a PAISS, ligado ao BNDES, fez parcerias com usinas em incentivo à produção do E2G, podendo destacar entre elas as empresas da Granbio e

Raízen que detém maior produção estipulada no país para o bioetanol, estando localizadas no sudeste do país (LORENZI et al., 2019).

O biocombustível é obtido pela transformação biotecnológica de fontes biológicas não fósseis. Estes processos fermentativos partem da utilização de microorganismos, como as leveduras. Estas crescem em ambientes aeróbicos e anaeróbicos, presença ou ausência de oxigênio, e promovem reações com açúcares redutores livres, produzindo etanol e dióxido de carbono (CO₂) (FILHO, 2020).

Nas plantas estão contidas a biomassa lignocelulósica tão importante para a produção do E2G, compostas, principalmente, por a celulose, hemicelulose e lignina, representadas na figura 2. Essa composição da lignocelulose é, em grande parte, constituída por carbono disponível da biosfera, produzindo, por exemplo, açúcares de 6 carbonos (a celulose) os quais não estão disponíveis de forma livre para a reação na etapa de fermentação; sendo necessário um pré-tratamento por meio de técnicas de ataques físicos, químicos, físicos-químicos e biológicos para a quebra das cadeias carbônicas e obtendo-se assim açúcares usados como produto na etapa de reação na fermentação (ADEBAMI et al., 2020).

Figura 2 - Estrutura e composição da parede celular vegetal

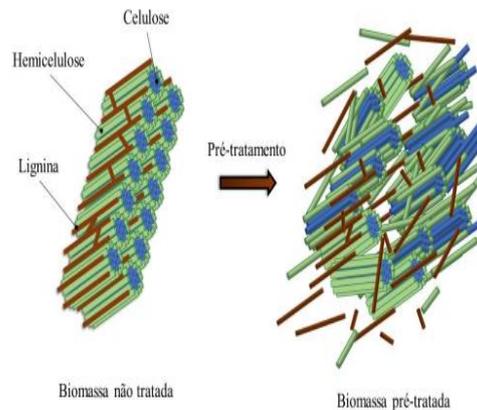


Fonte: NOGUEIRA, 2021.

Segundo FILHO, (2020), obteve o E2G a partir de vagem de Algaroba, pode-se ampliar o pré-tratamento para todo resíduo que se deseja utilizar na obtenção do biocombustível. De forma geral, a marcha analítica pode ser resumida da seguinte forma: a amostra é coletada, em seguida é lavada a fim de eliminar contaminantes para o processo, passa por secagem em estufa, e logo após essa etapa o material é triturado na busca de granulometria adequada para maior reação na etapa de quebra das cadeias carbônicas e consequentemente maior eficiência na fermentação com a levedura.

Do substrato obtido, é necessário concluir o pré-tratamento por meio de hidrólise ácida, base ou enzimática, para a remoção da hemicelulose e lignina, expondo assim a celulose e concluindo o pré-tratamento (SILVA, 2018). Na figura 3 ilustra as quebras carbônicas.

Figura 3 - Composição da parede celular vegetal

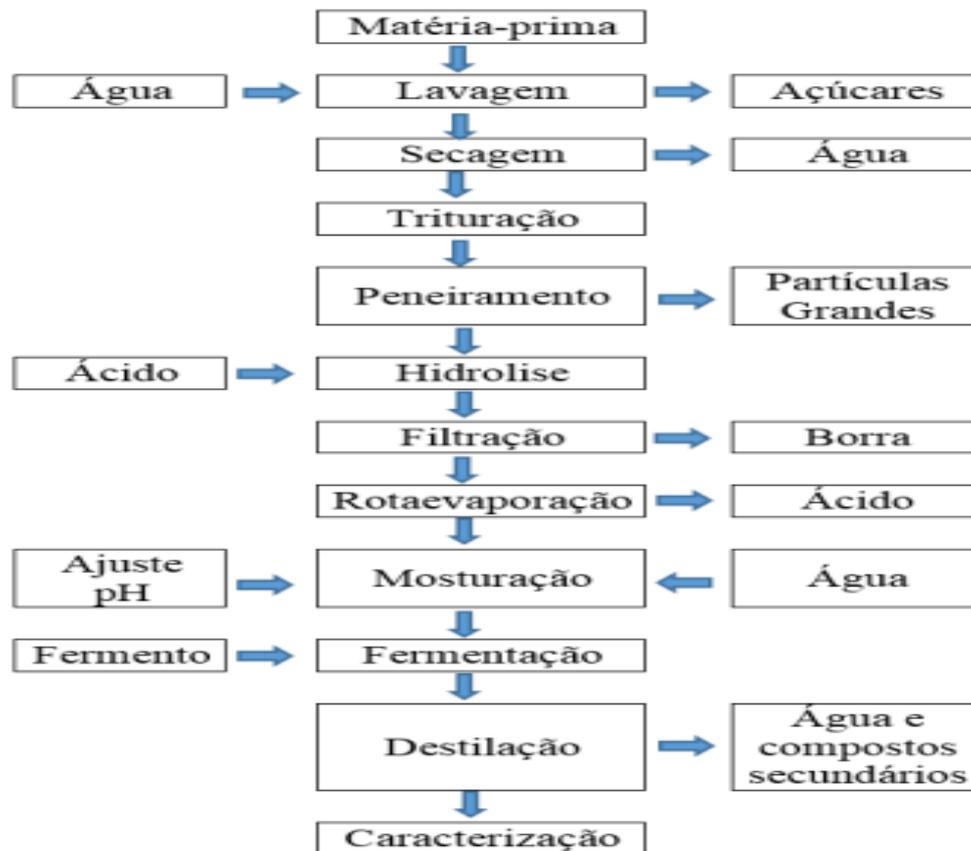


Fonte: NOGUEIRA, 2021.

A *Saccharomyces cerevisiae* é uma espécie de levedura de muitas aplicações industriais, possuindo condições de trabalho aeróbico, é utilizada para produzir principalmente etanol. A maioria das pesquisas do E2G envolvem o uso da espécie nos processos de fermentação de resíduos para a obtenção do etanol (PARAPOULI et al., 2022).

Em condições favoráveis, pH entre a faixa de 4 e 5, açúcares fermentáveis e temperaturas na faixa de 33 a 38°C, a fermentação ocorre, que após encerramento da mesma, o mosto fermentado é filtrado e passa em seguida para a última etapa da produção a destilação, a qual por meio dessa técnica será quantificado o bioetanol, e com o volume obtido, pode-se realizar análises qualitativas, conforme o fluxograma apresentado na figura 4 de Filho, (2020), que segue essas etapas para a produção do bioetanol a partir bagaço seco de vagens de algaroba.

Figura 4 - Fluxograma etapas de produção do E2G



Fonte: FILHO (2020)

2.4 Viabilidade de resíduos urbanos para obtenção do e2g (podas de árvores)

Os resíduos sólidos descartados em lixões ou aterros sanitários, tendem, ao longo dos anos, ser uma questão de interesse global em termo do seu tratamento, ressignificando sua transformação e sua aplicação como novos bioprodutos úteis para a humanidade, favorecendo, dentre outros benefícios, a produção de um combustível sustentável, o aumento da vida útil de aterros sanitários e redução de ambientes proliferadores de vetores de endemias tropicais como Dengue, zica, chicungunha, entre outras. Além disso, esses locais de armazenamento dessas biomossas tornam-se cada vez mais problemático, devido a outros danos ao meio ambiente, comprometendo o solo, o ar e a água; a exemplo de processos de erosões do solo, contaminação de lençóis freáticos e agravamento do efeito estufa devido a liberação de CO₂ desses resíduos (SANTOS, 2019).

Segundo Santos, (2019), avaliando o potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos para geração de energia térmica, pode-se assimilar esse bem feito do reaproveitamento de matéria que iria para lixões ou aterros a partir da produção de etanol de

segunda geração. Com base no exposto, segue as principais árvores da arborização da cidade de Campina Grande na Paraíba, com intuito de levantamento da arborização existente; avaliando o potencial uso dessas massas lignocelulósicas na produção de etanol de segunda geração.

A arborização da cidade de Campina Grande no estado da Paraíba teve início por volta da década de 40, com ausência de uma política planejada para arborização da cidade, acarretando o plantio de espécies não-nativas e de grandes portes (MARTINS, 2020; DANTAS et al., 2004).

Segundo a secretaria de serviços urbanos e meio ambiente de Campina Grande, não foi possível ainda um inventário completo referente aos dados da arborização da cidade, sendo ainda o único inventário vigente e disponível para a população é o levantado por Dantas e Souza (2004). No quadro 01, estão descritos pelo nome vulgar e nome científico, as dez plantas mais abundantes na cidade de Campina segundo o inventário da arborização por Dantas e Souza, em ocasião na tabela também traz a informação da origem das plantas e quantidade existentes no tempo de levantamento do inventário.

Quadro 1 - As 10 plantas mais utilizadas na arborização em Campina Grande –PB.

Nome Vulgar	Nome científico	Origem	Quant.
Cássia-Amarela	<i>Senna Siamea</i>	Exótica - Ásia	4909
Algaroba	<i>Prosopis Juliflora DC</i>	Exótica - Peru	3980
Sombreiro	<i>Cliptoria fairchildiana Howard</i>	Nativa - Brasil	2973
Castanhola	<i>Terminalia catappa Linn</i>	Exótica - Malásia	2386
Mata-fome	<i>Pithecolobium dulcis</i>	Exótica - América central	1564
Cacau-bravo	<i>Pachira aquatica Aubl</i>	Nativa - Brasil	1253
Ipê-amarelo	<i>Tabebuia sp</i>	Nativa - Brasil	1111
Flamboyant	<i>Delonix Regia Raff</i>	Exótica - Madagascar	989
Oitizeiro	<i>Licania tomentosa (Benth) Fritsch.</i>	Nativa - Brasil	915

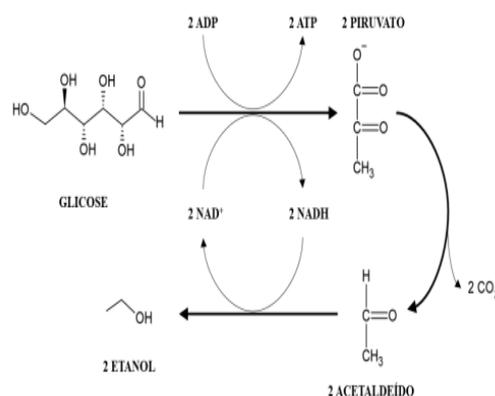
Figo-benjamima	<i>Ficus benjamina L</i>	Exótica - Índia e Malaya	753
----------------	--------------------------	--------------------------	-----

Fonte: DANTAS, 2004

Segundo Petrus, (2020), realizou um inventário quali-quantitativo da arborização de uma avenida de grande extensão e situada no eixo central da zona urbana de Campina Grande, a avenida Marechal Floriano Peixoto, fazendo jus esse em consonância estatística com inventário de 2004 continuando a predominância das árvores citadas, mesmo sendo usados aqui o trabalho de Petrus, (2020), como um inventário estatístico comparado ao de Dantas e Souza, (2004).

Com esse levantamento, pode-se estudar a vegetação existente e iniciar a pesquisa do potencial entre a espécie mais abundante, destacando-se a espécie *Prosopis Juliflora*, para produção do E2G, avaliando, em termo da biomassa lignocelulósica, a quantidade de celulose disponibilizada, já que é uma das principais fontes para a obtenção de açúcares redutores após o tratamento da celulose, e por meio do metabolismo no interior da célula faz a transformação do açúcar (glicose) em etanol e dióxido de carbono CO₂, tal aparato enzimático está confinado no citoplasma celular, é nessa região da célula que a fermentação alcoólica se processa, sendo fermentados por leveduras para a produção do etanol, conforme figura 05.

Figura 5 - Reação da fermentação no interior da célula



Fonte: NOGUEIRA, 2021.

2.5 Escolha da biomassa prosopis juliflora para a pesquisa

A *Prosopis Juliflora* foi introduzida no nordeste brasileiro por volta da década de quarenta no estado de Pernambuco e conseqüentemente trazida para estados vizinhos. O principal motivo da escolha foi por se tratar de uma leguminosa perene, amplamente utilizada

em regiões áridas e semi-áridas, similares aos climas encontrado nessa da região brasileira. Suas árvores apresentam características como crescimento rápido, alta potencialidade para o fornecimento de lenha e carvão, produção de alimento para animais, utilização em reflorestamento e recuperação de terras desgastadas. Segue ilustração figura 6 (LIMA, 1984; AL-SOQEER et al., 2017).

Figura 6 - Vegetação de algaroba no campo



Fonte: LIMA (2001)

Na Arábia Saudita há várias décadas a *Prosopis* é muito utilizada para plantações em ruas, estradas e arborização de parques, a qual a vegetação se adequa ao clima desértico do país, como alta temperatura, seca severa e salinidade, e também se espalha naturalmente com facilidade por outras regiões. No Brasil pelo nordeste brasileiro, a vegetação também ganhou plantações pelas ruas, estradas e arborização de cidades, porém se deu origem da algaroba plantada vinda da região de Piura localizado no país da América do Sul, o Peru (MIRA, 2001; AL-SOQEER et al., 2017).

Apesar das vantagens da *Juliflora*, o crescimento desordenado em áreas da região do nordeste, a caatinga, a plantação e crescimento da espécie denota-se como invasão biológica e põe em risco a conservação da biodiversidade do bioma da caatinga, isso devido que se apresenta com crescimento acelerado e possui grande porte ocupando hectares de terras tratando-se de mais de uma árvore, desse modo, como consequência pode afetar a estrutura da comunidade ou função de um ecossistema, levando em maiores graves a extinção da biota nativa (LIMA, et al., 2001; SANTOS, et al., 2017).

Uma das utilidades da algaroba é o uso do tronco ou galhos mais grossos da planta para produção de estacas e mourões, ou obtenção na forma energética como carvão e lenha, também utilizando o tronco e galhos. Pode-se observar que resíduos serão gerados dessa extração, assim

como na arborização das cidades que não irá desmatar afim de obter energia ou morões, mas sim, apenas podar a árvore gerando resíduos de folhas e galhos mais finos, desse modo, em ambas as situações, seja no campo ou na cidade, o estudo desse trabalho tens fins de levantar o potencial de produção de E2G a partir desses resíduos. A escolha do gênero *Prosopis*, sendo ela a segunda espécie exótica e predominante na cidade de Campina Grande, é que a mesma é abundante por todo o nordeste brasileiro, podendo essa pesquisa se abranger como fonte de matéria prima por todo o nordeste e se obter assim, mais uma fonte de encerramento de ciclo para a espécie não nativa (SANTOS, et al., 2017).

3. METODOLOGIA

3.1 Realização dos experimentos

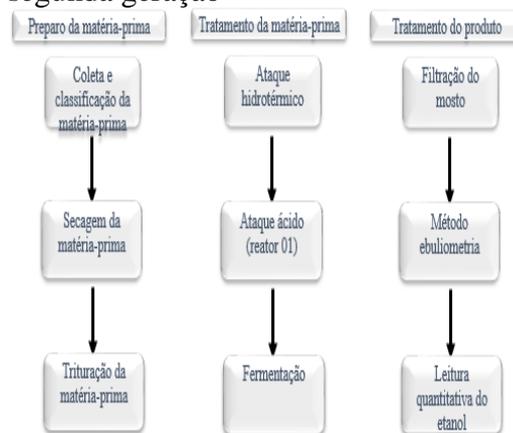
Os experimentos foram realizados no Laboratório de química analítica aplicada no complexo de Laboratórios professor Edvaldo Oliveira Alves (Mará), e no Núcleo de Pesquisa e Extensão em Alimentos, ambos na Universidade Estadual da Paraíba- UEPB, Campus I, Campina Grande – Paraíba.

3.2 Matéria-prima

Para o processo de fermentação, foi utilizado folhas de algarabo (*Prosopis Juliflora*), como biomassa. As folhas foram coletadas em pontos aleatórios de árvores na cidade de Campina Grande – Paraíba (coordenadas geográficas: Latitude: 7° 13' 51" Sul, Longitude: 35° 52' 54" Oeste), no período de setembro a outubro de 2022.

A figura 7 apresenta o fluxograma do processo de obtenção de etanol de segunda geração (E2G).

Figura 7 - Fluxograma do processo de obtenção do etanol de segunda geração



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.3 Preparo da matéria-prima

A folhas de *prosopis* foram coletadas retirando galhos da árvore, desses galhos era retirado as folíolos e a ráquis, ilustrados na figura 8.

Figura 8 - folíolos e ráquis da folha de Prosopis



Fonte: GOUVEIA (2019)

Com o propósito de evitar sujidades no material coletado, foi realizada a separação de cada componente da folha (Ráquis e folíolos). Após a classificação, o material foi conduzido ao processo de secagem, utilizando bandejas de inox que foi disposto o material e exposto ao sol durante três dias. A secagem possibilita maior concentração de material lignocelulose na amostra a ser utilizada na fermentação, bem como, após este tratamento cujo o resíduo apresentou coloração marrom (figura 9), facilita a operação de trituração das folhas que foram moídas moinho de facas, em busca de maior superfície de contato, e resulta em um pó que foi armazenado em temperatura ambiente.

Figura 9 - Folha secas de Prosopis



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.4 Tratamento hidrotérmico

O tratamento hidrotérmico foi feito em temperatura de 121°C, durante 30 minutos, no sistema ilustrado na figura 10 utilizando banho maria com glicerina. Após esta etapa, obteve-

se uma concentração final para o material em torno de 100 gramas/litros de folha em solução. Os parâmetros utilizados neste trabalho, otimizando, foram baseados na literatura sobre a obtenção do E2G a partir do resíduo de caule da algaroba por Naseeruddin, et al., (2016), resíduos da indústria de quatro frutas da Amazônia por Oliveira et al. (2020), e resíduo de sabugo de milho por Silva, (2018), cujo ambos utilizaram as mesmas condições de temperatura e concentração de substratos. Em contraste aos processos utilizados na literatura apresentada, foi adotado, no presente trabalho, a adição de quantidade muito inferior de ácidos, deslignificação da biomassa, utilizados apenas para a correção do valor de pH do mosto. Isso representou uma economia de insumos, não interferindo diretamente na produção do álcool.

Figura 10 - Sistema de aquecimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.5 Correção da acidez do meio

A média de acidez da solução após tratamento hidrotérmico apresentou, em escala de potencial hidrogênio (pH), o resultado igual a 5,01 (figura 11). A faixa de valores de pH adequada para fermentação é entre 4 e 5, esse parâmetro favorece as condições de trabalho adequadas para as leveduras fermentarem (LIMA, et al., 2001).

Figura 11 - Leitura de pH no peagômetro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A partir deste resultado de pH foram montados dois reatores: o primeiro com correção do mosto para valor de pH igual a 4,0; e o segundo sem correção do mosto. Silva, (2018), em pesquisa, utilizou os resíduos de sabugo de milho, 100 gramas a cada litro de solução 2,5% de ácido sulfúrico para realizar o tratamento hidrotérmico, corrigindo posteriormente a acidez do meio com base forte hidróxido de sódio, sendo similar o tratamento de Naseeruddin, et al., (2016), que utilizou concentração de 2% ácido sulfúrico, ou seja, ambos usaram quantidades superiores a utilizadas nesse trabalho apenas para corrigir acidez do meio.

3.6 Fermentação

Feita leitura do °Brix e obtendo-se em ambos reatores uma média de 4,0 °Brix, adicionou-se 40 gramas de levedura a cada litro de mosto, tomando como medida de levedura/litro, os experimentos de Silva (2018) e Naseeruddin, et al., (2016).

Após esta etapa iniciou-se o processo de fermentação, onde a levedura utilizada é de panificação e granulada, fabricado por Saf-instant, massa 500 gramas, 17.64 oz, *Saccharomyces cerevisiae*, armazenada a vácuo. A duração da fermentação foi de 36 horas sem agitação, embasado nos experimentos de referência.

A imagem 12 ilustra os sistemas montados para a fermentação, em meio anaeróbico, com o propósito de evitar contaminação do mosto fermentado.

Figura 12 - Reatores montados para fermentação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Durante a fermentação foi observado pelo lado externo do reator a formação na parte de cima uma camada de espuma, decantação de resíduo no fundo e ao meio um líquido de cor esverdeada, como ilustrado na figura 13.

Figura 13 - Três camadas observadas na fermentação



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao longo da fermentação foi observado como produto a liberação de dióxido de carbono do sistema fechado, ilustrado na figura 14. O etanol e o CO_2 resultantes são constituídos de produtos de excreção das leveduras (LIMA, et al., 2001).

Figura 14 - Liberação de CO₂



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.7 Filtração do mosto

Finalizando a fermentação, o sistema fechado em anaerobiose, os mostos foram retirados dos reatores e filtrados separadamente em material filtrante do tipo malha de organza, ilustrado figura 15.

Figura 15 - Filtração do mosto em malha de organza



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O líquido filtrado tem características de cor esverdeado (Figura 16) e odor característico de fermentação.

Figura 16 - Líquidos filtrados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Na filtração foi separado os resíduos sólidos, figura 17, utilizado como material de estudo, neste trabalho, apenas o mosto fermentado filtrado.

Figura 17 - Resíduos sólidos resultantes da filtração



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.8 Leitura quantitativa de teor alcoólico etanol

Para a quantificação do teor alcoólico etanol, foi retirado alíquota do mosto filtrado, e utilizado o instrumento ebulioscópico que inclui uma câmara de cobre, uma caldeira, uma lâmpada a etanol para ferver a amostra, e um termômetro de precisão para fazer a leitura de ebulição da amostra, ilustrado na figura 18.

Figura 18 - Ebulioscópio

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As soluções alcoólicas sempre terão o ponto de ebulição mais baixo que a água, quanto maior o teor alcoólico, menor será o ponto de ebulição, desse modo, é necessário que primeiro se aqueça a amostra de água e anote-se o ponto de ebulição da água naquele instante. Incluso com o instrumento, vem uma régua, figura 19, que é por meio dela que se determinará o teor alcoólico da amostra em volume, deve-se ser ajustada na temperatura do líquido puro e posteriormente, a leitura da temperatura de ebulição da amostra deve ser lida na escala da régua ajustada, a diferença entre as temperaturas, determinará o teor alcoólico da amostra em volume. O volume da amostra utilizada no equipamento é de 50 mililitros.

Figura 19 - Régua de escala teor alcoólico

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Devido as pequenas concentrações alcoólicas encontradas nos mostos, a utilização do método ebulioscópico, método quantitativo, é justificado; a quantidade igual ou inferior a duas

gramas de etanol por litro de mosto torna o processo tradicional de análise por destilação inviável.

3.9 Cálculos de teor alcoólico

Os resultados de teor alcoólicos utilizando o ebulioscópio, são mililitro de etanol a cada 50 mililitro da amostra, o que se faz necessário cálculos para quantificar o teor presente em um litro em busca de leituras mais precisas e comparativas a literatura. Para nível de massa de etanol a cada volume de um litro, a conversão em gramas, temos pela equação um que, densidade é igual a massa sobre volume, sendo a densidade do etanol na literatura 784 gramas/litro, assim:

$$\rho = m/v \rightarrow m = v \rho \text{ (Equação 1)}$$

Dados: ρ = Densidade (g/l), m = massa (g) e v = volume (l)

Para ambos os mostos nos reatores, a única variável na equação um será o volume de teor alcoólico encontrado.

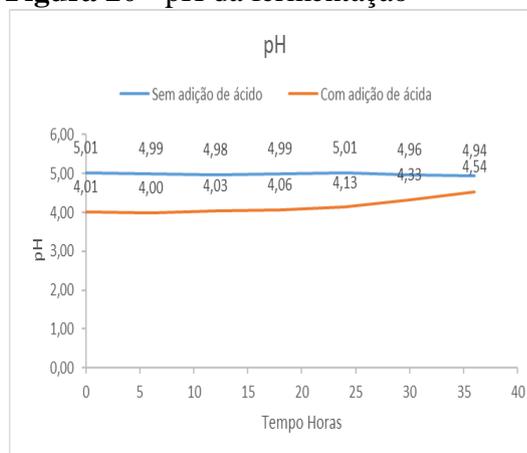
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processo fermentativo

4.1.1 Potencial hidrogênio do mosto

O pH se manteve praticamente constante em ambos os casos, mosto hidrolisado e não hidrolisado, observando-se pela curva no gráfico que houve maior variação de pH no meio hidrolisado, figura 20. O mosto hidrolisado permite maior liberação da celulose, conseqüentemente maior cinética de reação, com relação ao mosto não hidrolisado. Semelhante as faixas de pH, Silva (2018), em pesquisa, utilizou os resíduos de sabugo de milho, com tratamento hidrotermico solução 2,5% de ácido sulfúrico, corrigindo posteriormente a acidez do meio com base forte hidróxido de sódio para adequar o potencial hidrogênico para 4, sendo similar o tratamento de Naseeruddin, et al., (2016), que utilizou reagentes para correção de pH do meio, para que essas ações favoreça a fermentação.

Figura 20 - pH da fermentação



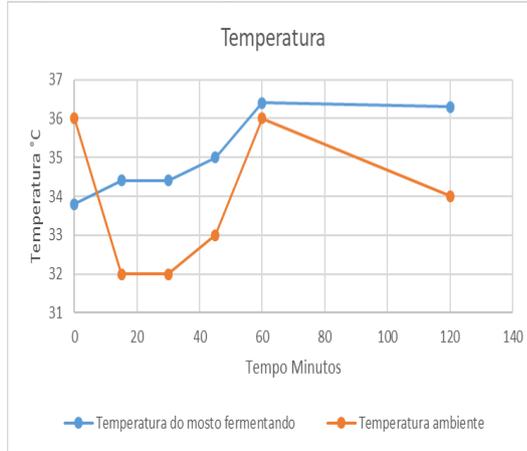
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.1.2 Temperaturas

O gráfico apresentado na figura 21, traz o comportamento de temperatura do mosto que ocorreu a fermentação sem hidrolise, com a temperatura do ambiente em que a fermentação ocorreu, apresentando uma tendência da curva azul no gráfico, uma estabilidade da temperatura ideal de trabalho das leveduras, que se situem na faixa de 30 a 35° C, indicando uma eficiência

em seu processo fermentativo. Pelo gráfico apresentado, a aparente estabilidade da temperatura ambiente, fora do reator, corroborou nesse processo fermentativo.

Figura 21 - Temperatura ambiente e do mosto fermentando



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

4.1.3 Graduação alcoólica decimal

A temperatura obtida para ebulição da água no laboratório que se realizou a análise foi de 98,2 °C, isso se explica devido o laboratório está localizado na cidade de Campina Grande que possui altitude acima do nível do mar. As temperaturas para o mosto que se realizou a correção de pH foi de 97,8°C, e para o mosto que não foi realizada a correção de pH foi de 97,9°C, como mostra a figura 22. Seguindo as descrições de cálculos do item 3.9, a massa de etanol obtidas foi de 6,27 gramas/litro de etanol para o mosto que se realizou a correção de pH, e para o mosto que não foi realizada a correção, resultado de 4,70 gramas/litro de etanol.

Figura 22 - Temperaturas de ebulição

Mosto - correção de pH		Mosto sem correção de pH	
Temperatura	Massa etanol	Temperatura	Massa etanol
97,8 °C	6,27 gramas/litro	97,9 °C	4,70 gramas/litro

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2018), onde foi produzido etanol de segunda geração, a partir de sabugo de milho, fermentando durante 18 horas, sem agitação, com mosto hidrolisado e em pré-tratamento hidrotérmico em solução 2,5% de ácido sulfúrico; e após encerramento da fermentação, análises de cromatografia gasosa mostraram que a concentração do etanol foi de 1,58 gramas/litro. Em comparação aos resultados desse trabalho, sem o uso de ácido sulfúrico ao mosto, foi obtido o dobro de etanol, o que barateia o mesmo processo. Ainda em comparação com o processo de obtenção do mosto, utilizando o ácido para correção de pH, foi obtido o triplo de etanol em concentração bem menores que a de Silva (2018).

Oliveira et al. (2020) em produção de etanol de segunda geração a partir de quatro resíduos da indústria frutífera da Amazônia, utilizando pré-tratamento em solução de 1% de ácido sulfúrico, variando em 30-90 minutos, relação sólido/líquido entre 5 e 15%, após encerramento da fermentação, concluindo por análise de Cromatografia líquida de alta eficiência – HPLC, que a obtenção de etanol foi de entre 3,5 a 4,6 gramas/litro. Em comparação aos resultados desse trabalho, sem o uso de ácido sulfúrico ao mosto, foi obtido aproximado a quantidade de etanol ao máximo obtido por Oliveira et al. (2020), o que não usar ácido barateia o mesmo processo. Ainda em comparação com o mosto utilizando o ácido para correção de pH, foi obtido cerca de 30% a mais de etanol em concentração bem menores.

5.0 CONCLUSÃO

Constatou-se a viabilidade da utilização da poda de árvore de algaroba (*Prosopis Juliflora*), da cidade de Campina Grande – Paraíba, para a produção de bioetanol de segunda geração.

O pré-tratamento térmico sem acidificação do meio mostrou-se mais simples e mais viável quanto à produção de etanol de segunda geração.

Pesquisas com outras espécies de árvores existente na referida cidade torna-se necessárias, avaliando-se de forma mais abrangente o potencial produtivo de diferentes massas lignocelulósicas para a produção de etanol de segunda geração.

REFERÊNCIAS

- ADEBAMI, G. E.; KUILA, A.; AJUNWA, O. M.; FASIKU, S. A.; ASEMLOYES, M. D. Genética e engenharia metabólica de linhagens de leveduras para produção eficiente de etanol. **Wiley**, Hoboken, Estados Unidos, p. 6, jun. 2021.
- AL-SOQEER, A. A; ALSUBAIE, Q. D; MOTAWEI, M. I; MOUSA, H. M; ABDEL-SALAM, A. M; Isolamento e identificação de alérgenos e amins biogênicas de genótipos de *Prosopis Juliflora*. **Revista eletrônica de biotecnologia**, volume 30, Novembro de 2017, página 24-32.
- BRASIL. EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 12, p. 1-87, jul. 2021.
- BNDES FINANCIARÁ 1º UNIDADE INTEGRADA DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO DO MUNDO. **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)**, 2013. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/20130912_raizen> Acesso em: 07 de Julho de 2022.
- CUTZ, L.; TOMEI, J.; NOGUEIRA, LHA. Entendendo as falhas no desenvolvimento dos mercados domésticos de etanol: desvendando o paradoxo do etanol na Guatemala. **Elsevier Ltd**, Amsterdã, Holanda, v. 145, p. 2, jul. 2020.
- DANTAS, Ivan Coelho; SOUZA, Cinthia Maria Carlos. Arborização urbana na cidade de Campina Grande - PB: Inventário e suas espécies. **Revista de biologia e ciência da terra**, Sergipe, Brasil, V.4 - Número 2 - 2º Semestre 2004.
- FILHO, Manoel Tolentino Leite. **Produção de etanol combustível primeira e segunda geração a partir da vagem de algaroba**. 2020. Dissertação (Doutorado em engenharia de processo) – Faculdade de engenharia de processo, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2020.
- GARCIA, T. C.; DURAND-MORAD, A.; YANG, W.; POP, M.; SCHREKHISE, W. Disposição dos consumidores a pagar pelo etanol de segunda geração no Brasil. **Elsevier Ltd**, Amsterdã, Holanda, v. 161, p. 2, nov. 2021.
- GOUVEIA, Clovis; Algarobeira. Laboratório de análises e pesquisas de bebidas alcoólicas, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Jul. 2019.
- JESWANI, H. K.; CHILVERS, A.; AZAPAGIC, A. Sustentabilidade ambiental dos biocombustíveis: Uma revisão. **The Royal Society Publishing**, Londres – Reino Unido, p. 2-3, out. 2020.
- JUNIOR, Raul J. S. Michel; **Obtenção do álcool etílico hidratado, com graduação alcoólica para uso automotivo: validação de um processo em batelada**. **Santa Maria, Rio Grande do Sul**, 2010. Dissertação mestrado, Universidade Federal Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

LIMA, Paulo Cesar F; Algaroba uma das alternativas para o nordeste. EMBRAPA/CPATSA, Pernambuco, 1984.

LIMA, Paulo C. F; Manejo de espécies ameaçadas de extinção e de espécies invasoras, visando à conservação da diversidade biológica brasileira. **EMBRAPA**, Petrolina – Pernambuco, 2001.

LIMA, Urgel de Almeida; AQUARONE, Eugênio; BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willibaldo; Biotecnologia industrial, processos fermentativos e enzimáticos. Vol. III, **Editora Blucher**, 1º edição 2001, reimpressão 2007.

LORENZI, B.R.; ANDRADE, T. H. N. O etanol de segunda geração no Brasil, políticas e redes sociotécnicas. **Revista brasileira de ciências sociais** - VOL. 34 N° 100, Brasil, p. 6, mar. 2019.

MARTINS, Petrus Santana. **Inventário quali-quantitativo de um trecho da arborização urbana da avenida Marechal Floriano Peixoto, Campina Grande, Paraíba.** 2020. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) – Centro de ciências agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2020.

MATEO, Soledad; ROBERTO, I. Conceição; SÁNCHEZ, Sebastián; MOYA, A. J; Desintoxicação de hidrolisado hemicelulósicos de resíduos de poda de oliveira, **Elsevier Ltd**, Brasil, São Paulo, Culturas e produtos industriais, p. 196-203, Abr. 2013.

MIRA, Elciane O; **A utilização da algaroba como alternativa de desenvolvimento socioeconômico do semi-árido baiano.** Salvador-Bahia, 2001.

NASEERUDDIN, Shaik; DESAI, Suseelendra; RAO, L. venkateswar; Produção de etanol a partir de substrato lignocelulósico *Prosopis Juliflora*. **Elsevier Ltd**, Índia, Energia renovável 103, p. 701-707, Out. 2016.

NOVACANA: As usinas de açúcar e etanol do Brasil. NOVACANA, 2022. Disponível em: <As usinas de Açúcar e Etanol do Brasil | NovaCana> Acesso em: 07 de Julho de 2022.

NOGUEIRA, Cleitiane da Costa. **Produção de etanol celulósico sob elevadas concentrações de polímeros a base de óxido de etileno.** 2021. Dissertação (Doutorado em engenharia química) – Faculdade de engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2021.

OLIVEIRA, Johnatt Allan Rocha; MARTINS, Luiza Helena da Silva; PASSOS, Marcele Fonseca; CONCEIÇÃO, Adriene Carvalho; MOREIRA, Débora Kono Taketa; KOMESU, Andrea. Avaliação do potencial tecnológico de quatro resíduos da indústria frutífera da Amazônia na produção de glicose e etanol. **Revista Jhon Wiley & Sons**, Nova Jersey, EUA. 2020.

PACHECO, Thályta Fraga; Produção de Etanol: primeira ou segunda geração?. **EMBRAPA**. Brasília, 2011.

PARAPOULI, M.; VASILEIADIS, A.; AFENDRA, A.; HATZILOUKAS, E.; *Saccharomyces cerevisiae* e suas aplicações industriais. **Revista National Library of Medicine** - VOL. 6(1), EUA. 2020.

REN21. (2021). Renewables 2021 - Global Status Report. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**, Paris. Acesso em 30 de Maio de 2022, disponível em <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

SILVA, Mariane Daniella. **Produção de etanol de segunda geração por *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 26602 a partir da hidrólise ácida de sabugo de milho**. 2018. Dissertação (Mestrado em engenharia e ciência dos alimentos) – Faculdade de Biociências, Letras e Ciências, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2018.

SANTOS, JOÃO P. S; DIODATO, Marcos A; Histórico da implantação da algaroba no Rio Grande do Norte. **Revista brasileira de pesquisa florestal**, Junho de 2017.

SANTOS, Mayer Andrade. **Avaliação do potencial de utilização dos resíduos da poda e corte de arbóreos e gramíneas (massa verde) na geração de energia térmica**. 2019. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia de biocombustível) - Pós graduação em biocombustíveis, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.