



Uso da biomassa como fonte energética para produção de biocombustíveis.

Use of biomass as an energy source for the production of biofuels.

DOI: <https://doi.org/10.24979/ambiente.v1i1.947>

Jesyka Macêdo Guedes - Universidade Estadual do Ceará <https://orcid.org/0000-0003-3376-0789>

Anne Gabriella Dias Santos - Universidade Estadual do Rio Grande do Norte

Helcio Silva dos Santos - Universidade Estadual do Ceará <https://orcid.org/0000-0001-5527-164X>

RESUMO: O uso exagerado de combustíveis fósseis para atender à necessidade energética mundial, tem gerado graves danos ao meio ambiente, visto que esses, geram em sua queima uma grande quantidade de gases poluentes. Os biocombustíveis se apresentam como uma das alternativas mais viáveis para suprir a demanda energética mundial e minimizar os danos ao meio ambiente. Diante disso, várias políticas de incentivo à produção de biocombustíveis, foram criadas, com intuito de diminuir a dependência energética de fontes não renováveis e diminuir os impactos ambientais. A biomassa se apresenta como uma das melhores alternativas para produção de biocombustíveis. Nesse contexto, essa revisão teve como objetivo relatar sobre as quatro gerações de biocombustíveis, incluindo o tipo de matéria-prima e as tecnologias de conversão envolvidas nos biocombustíveis mais comercializados atualmente, como bioetanol e biodiesel.

Palavras-chave: Meio Ambiente. Biomassa. Gerações de Biocombustíveis. Tecnologias de conversão.

ABSTRACT: The exaggerated use of fossil fuels to meet the global energy need, has caused serious damage to the environment, since these generate a large amount of polluting gases when burning. Biofuels are presented as one of the most viable alternatives to supply the global energy demand and minimize damage to the environment. In view of this, several policies to encourage the production of biofuels have been created, with the aim of reducing energy dependence on non-renewable sources and reducing environmental impacts. Biomass presents itself as one of the best alternatives for the production of biofuels. In this context, this review aimed to report on the four generations of biofuels, including the type of raw material and the conversion technologies involved in the most commercialized biofuels today, such as bioethanol and biodiesel.

Keywords: Environment. Biomass. Generations of Biofuels. Conversion technologies.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da economia global e os vários impactos ambientais ocasionados pelo uso exagerado de combustíveis fósseis, vem estimulando cada vez mais a procura por novas fontes energéticas, que sejam sustentáveis e ecologicamente corretos (Singh e Mahapatra, 2019; Mohiddinet *al.*, 2021). Nos últimos anos a busca por energias renováveis na matriz global teve um crescimento significativo, visto que vários países têm enfatizado e incentivado o uso de combustíveis alternativos, com o propósito de diminuir a dependência energética dos combustíveis fósseis e consequentemente minimizar os danos causados ao meio ambiente pela queima desses combustíveis. Nesse sentido, os biocombustíveis se apresentam como uma das alternativas mais viáveis, que permite assegurar uma redução na emissão de gases poluentes (Caoet *al.*, 2019). Os biocombustíveis são geralmente classificados em diferentes categorias, conhecidas como biocombustíveis de primeira, segunda e terceira geração, dependendo da matéria-prima e tecnologia utilizada para conversão (Saladiniet *al.*, 2016).

Do ponto de vista energético, a biomassa se apresenta como a melhor alternativa para produção de biocombustíveis, pois, possui vantagens quando compara a outras fontes, como: o resultado do processo de conversão que pode gerar combustíveis similares a combustíveis fósseis (combustíveis, sólidos, líquidos ou gasosos), além de flexibilidade de adaptação a diferentes tecnológicas de acordo com sua fonte e necessidade (Ferreira *et al.*, 2018). A biomassa é considerada uma fonte sustentável, devido ao baixo nível de emissões de CO₂ na atmosfera, além de contribuir para a geração de empregos, influencia na redução do êxodo rural, apresentando-se como uma excelente opção de fonte complementar à matriz energética atual. Nesse contexto, a agricultura brasileira desempenha um papel importante como fornecedora de matéria-

prima à base de biomassa (Bassegio, 2016).

Para aumentar a eficiência dos processos e reduzir os impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão de diferentes fontes de biomassa (Caoet *al.*, 2019). Diante disso, esse artigo de revisão faz um breve relato sobre as políticas de incentivo à produção de biocombustíveis dos países que apresentam maior representatividade mundial na produção de biocombustíveis, com o objetivo de abranger as quatro gerações de biocombustíveis, incluindo o tipo de matéria-prima e as tecnologias de conversão envolvidas nos biocombustíveis mais comercializados atualmente, como bioetanol e biodiesel.

Para a presente revisão, foi realizada uma ampla busca de artigos científicos no período de 2001 à 2021, sobre as políticas de incentivos à produção de biocombustíveis no cenário mundial dos países que possuem maior índice de produção de biocombustíveis e sobre as quatro gerações de biocombustíveis. Os bancos de dados utilizados foram: Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>) e Google Scholar (<https://scholar.google.com>). Não houve critérios de exclusão. Para essa revisão foi realizada uma ampla busca de periódicos, nacionais e internacionais, utilizando as palavras: biomassa, geração de biocombustíveis, principais produtores mundiais de biocombustíveis e tecnologias de conversão de biocombustíveis como termos de busca, com o propósito de melhor definir os pontos da pesquisa, após a leitura do resumo de todos os artigos consultados, foram escolhidos 40 artigos que apresentavam informações mais relacionadas com os assuntos abordados na revisão.

POLÍTICAS DE BAIXO CARBONO

Nos últimos anos vários estudos apontam, as emissões de carbono como o principal motivo da procura por energia limpa, como os biocombustíveis (Subramaniam e Masron,

2021). Vários países têm estabelecido Políticas de Baixo Carbono (LCP), com o intuito de promover a produção de biocombustíveis, permitindo assegurar uma redução na emissão de CO₂. Na Europa, a Diretiva de Energia Renovável (RED) (União Europeia, 2018), estipula que até 2030 a participação das energias renováveis no consumo final de energia da União Europeia seja de pelo menos 32% (Li e Leung, 2021). De acordo com a RenewableFuel Standard (RFS), a política mais recente dos Estados Unidos, estabelece um aumento de consumo doméstico de biocombustíveis para 36 bilhões de galões (bgals) anual até 2022, se aplicando a diferentes categorias de combustível (Burkhardt, 2019).

O mais novo programa mundial instituído pela Lei 13.576 / 2017 de Fomento aos Biocombustíveis no Brasil, que cria a Política Nacional de Biocombustíveis, conhecida como Programa RenovaBio (Brasil, 2020) – busca incentivar o desenvolvimento de biocombustíveis e a aplicação de novas tecnologias. Foi estabelecido pelas autoridades brasileiras uma meta de redução na emissão de carbono da matriz nacional de combustíveis de 11% a ser atingida até 2029, por meio da comercialização de Créditos de Descarbonização (CBIO). Para isso, as distribuidoras precisarão adquirir títulos equivalente a créditos de carbono na bolsa de valores, cada CBIO corresponde a uma tonelada de CO₂ que deixa de ser emitida e é gerada a partir de biocombustíveis.

Para cada produtor definir a intensidade de carbono de seu biocombustível o programa desenvolveu uma calculadora ambiental, denominada RenovaCalc, baseada em Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), onde as emissões dos gases do efeito estufa ao longo de todo o ciclo de vida do biocombustível são contabilizadas e compiladas na pegada de carbono. Essa ação estimula os produtores a serem mais eficientes, promovendo o desenvolvimento e a implementação de novas

tecnologias para aumentar a produtividade agrícola, a eficiência das máquinas e a substituição de fertilizantes, etc. (Grassi e Pereira, 2018). No programa RenovaBio, os ICs desses biocombustíveis são obtidos pela comparação com os ICs do combustível fóssil de referência. Dessa forma, o CBIO se apresenta como uma espécie de moeda e a valorização dessa moeda aumentará o valor do biocombustível, calculado a partir da soma do produto físico mais esse produto financeiro, incentivando os produtores a produzir maiores volumes de biocombustíveis (Grassi e Pereira, 2019).

GERAÇÕES DE BIOCOMBUSTÍVEIS E SUAS TECNOLOGIAS DE PROCESSAMENTO

Os biocombustíveis são classificados em diferentes categorias, a depender das matérias-primas e da tecnologia de conversão utilizada para sua produção, essas diferentes categorias são conhecidas como biocombustíveis de primeira, segunda, terceira e quarta geração. Atualmente os dois principais tipos de biocombustíveis comercializados são o biodiesel e o etanol, representando uma produção de cerca de 50 bilhões de litros produzidos anualmente (Alalwanet *al.*, 2019), produzidos por tecnologias já bem estabelecidas no mercado. Dessa abordado no texto sobre os dois principais biocombustíveis comercializados mundialmente.

Primeira Geração

Se tratando dos biocombustíveis de primeira geração, esses são produzidos a partir do cultivo de culturas bioenergéticas, ou seja, de matéria-prima que estão inseridas no mercado alimentício, produzidos principalmente de açúcares, amido e óleo vegetal. No entanto, surgiu a preocupação sobre os impactos causados pelo uso dessas culturas comestíveis como matéria-prima na área de cultivo, biodiversidade e

abastecimento de alimentos (Alalwanet *al.*, 2019). Para garantir um bom desempenho desses bicompostíveis, alguns pontos devem ser considerados, são eles: a composição química da biomassa, balanço de energia, disponibilidade de terras e a contribuição para biodiversidade do local, competição com o mercado de alimentos, emissão de gases poluentes, uso de pesticidas, custo da biomassa e seu transporte e armazenamento, contaminação do solo e dos recursos hídricos, criação ou manutenção de empregos e disponibilidade de recursos (Singh *et al.*, 2013).

Bioetanol: o bioetanol é derivado de matérias-primas como açúcar ou do amido por fermentação. Esse pode ser usado como combustível de transporte em sua forma pura ou em misturas com a gasolina nos chamados veículos flexi-fuel. Sendo mais comum, a mistura com gasolina, com uma porcentagem de 10% de bioetanol, conhecido por E10. Esse biocombustível também pode ser usado como matéria-prima para o éter etil-butil-terciário (ETBE), que é misturado facilmente com a gasolina para aumentar seu teor de oxigênio no controle da emissão de gases poluentes (Norkobilovet *al.*, 2017).

Processos de conversão do etanol: No Brasil, em termo de biomassa comestível, a cultura mais utilizada na produção de bioetanol é a cana-de-açúcar, essa requer uma menor quantidade de água no seu processo de cultivo quando comparada ao milho (Rulliet *al.*, 2016). Além da cana-de-açúcar, outras safras contendo carboidratos podem ser utilizadas como matéria-prima para produzir bioetanol, essas são classificadas em duas categorias principais: culturas que contêm açúcar e culturas contendo amido (Naiket *al.*, 2010; Alalwanet *al.*, 2019). A técnica de produção de bioetanol pode variar de acordo com a matéria-prima utilizada, partindo de matérias-primas que contêm açúcar, os processos são: moagem, fermentação e destilação. Se tratando de fontes a base de

amido, após a moagem são realizados mais dois processos, que são gelatinização e hidrólise, só então passam pelo processo de fermentação e destilação (Szambelanet *al.*, 2018).

Partindo de matérias-primas como a cana-de-açúcar, é realizado o processo de fermentação para produzir bioetanol, esse é um processo metabólico no qual o substrato orgânico sofre alterações químicas provocadas por enzimas secretadas por microrganismos. Existem dois tipos básicos de fermentação, aeróbica e anaeróbica, dependendo da necessidade de presença ou ausência de oxigênio no processo. Para esse processo existem milhares de microrganismos na natureza capazes de promover essas alterações químicas, e esses são classificados em três categorias: levedura (espécies *saccharomyces*), bactérias (espécies *zymomonas*) e mofo (micélio) (Naiket *al.*, 2010). Por outro lado, a conversão direta do amido em bioetanol não pode ser realizada pelo processo convencional de fermentação, devido à estrutura do polímero de cadeia longa da glicose, esse processo se inicia com a quebra das moléculas de glicose, formando uma pasta contendo cerca de 15-20% de amido. Posteriormente ocorre a moagem do amido, a mistura com água e o cozimento no ponto de ebulição ou acima dele. A ação da primeira enzima, amilase, é produzir moléculas de cadeias curtas e libera dextrina e oligossacarídeos, após isso, utiliza-se enzimas como pululanase e glucoamilase, que promove a hidrólise desses componentes, através de um processo conhecido como sacarificação. O último passo é o resfriamento a 30 °C para ocorrer o processo de fermentação (Lee *et al.*, 2007).

A produção de bioetanol a partir do milho pode ser classificada por processo de moagem úmida e seca (Crutzen *et al.*, 2016). Os moinhos utilizados para moagem a seco, geralmente, possuem um tamanho menor (menor capacidade) e são construídos para produzir

principalmente etanol, além de produzir grãos secos e solúveis de destilaria, que é utilizado como ração para gado. O processo de moagem úmida, geralmente tem a capacidade de produção maior e produz também óleo de milho e dois tipos de ração animal (Naiket *al.*, 2010).

Biodiesel: O biodiesel é derivado de óleos vegetais, óleos e gorduras residuais, é um biocombustível alternativo que pode ser utilizado como substituto ou diluente do diesel fóssil, que minimiza os danos ao meio ambiente. Esse biocombustível pode ser produzido a partir de fontes biológicas renováveis, como óleos vegetais e gorduras animais, pelo método de transesterificação na presença de um catalisador homogêneo ou heterogêneo (Ghazaliet *al.*, 2015).

Processo de conversão do biodiesel por transesterificação: O método consiste em reagir um lipídeo (conhecidos como triacilglicerídeos ou triglicerídeos) com um mono-álcool de cadeia curta (metílico ou etílico), na presença de um catalisador (base ou ácido) presente na reação na fase do meio reacional (catalisador homogêneo) ou catalisador heterogêneo (catalisador heterogêneo, o uso de catalisador sólido é recomendado para óleo com alto teor de ácidos graxos livres), resultando na produção de uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos (denominado de biodiesel) e glicerol (SANTOS, 2015). No decorrer do processo de transesterificação diversas variáveis podem afetar o resultado final, como temperatura de reação, tempo e pressão, concentração e tipo de catalisador, bem como as razões molares de álcool para óleo, intensidade de mistura e tipo de matéria-prima utilizada (Musa, 2016). A Figura 1 ilustra a reação de transesterificação dos triglicerídeos.

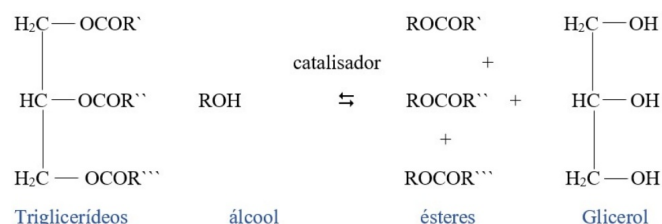


Figura 1: Reação de transesterificação.

Segunda Geração

Os biocombustíveis de segunda geração são produzidos a partir de produtos de base biológica proveniente de matéria-prima não alimentar, ou seja, biomassa lignocelulósica, oriundo de produtos agrícolas e florestais, baratos e abundantes disponíveis nas plantas (Zabaniotouet *al.*, 2008). Além disso, o biocombustível de segunda geração é considerado neutro ou menos negativo ao meio ambiente em relação a emissão de CO₂ na atmosfera (Trabelsiet *al.*, 2018). O uso da biomassa para produção vem se tornando cada vez mais promissor, isso é possível devido principalmente a algumas particularidades apresentadas por essa fonte e relação a outras matérias-primas: o produto da conversão da biomassa pode gerar combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e possui certa flexibilidade de adaptação tecnológica de acordo com a necessidade (Westenseet *al.*, 2018). A composição da "Biomassa vegetal" é constituída principalmente por paredes de células vegetais, sendo normalmente 75 % composta por polissacarídeos (Westenseet *al.*, 2018). Esses polissacarídeos possuem um alto teor de açúcar, o que permite a produção de biocombustíveis. Os materiais lignocelulósicos, são oriundos da lignina, celulose e hemicelulose.

Bioetanol: o bioetanol de segunda geração pode ser produzido a partir de biomassa lignocelulósica, não alimentar, utilizando como matéria-prima o bagaço (utilizado principalmente como combustível em caldeiras no processo de produção de bioetanol de primeira geração) e a palha da

cana-de-açúcar (Hemansiet *al.*, 2019). A produção em larga escala do bioetanol de segunda geração ainda está sendo questionada, muito se tem estudado a respeito de sua viabilidade econômica (Donato *et al.*, 2019). Uma das principais restrições no processo de produção é a etapa de pré-tratamento, que representa cerca de 18% do custo de produção, além disso, o custo de capital da planta, matéria-prima, enzima e energia utilizada influenciam na viabilidade de produção desse biocombustível (Rajendranet *al.*, 2018).

Processos de conversão do bioetanol: Para ter acesso aos açúcares fermentáveis dos lignocelulósicos, é necessário que ocorra uma quebra na estrutura rígida da biomassa vegetal, para isso, existem quatro etapas operacionais principais no processo de conversão da matéria-prima em etanol de segunda geração: pré-tratamento, hidrólise, fermentação e separação / destilação do produto (Jösön, Martin, 2016). O pré-tratamento da lignocelulose pode ocorrer por diferentes métodos, como físicos, químicos, físico-químicos e biológicos (Trinhet *al.*, 2019), para que o pré-tratamento seja eficiente a formação de açúcares deve ser aumentada, a degradação de carboidratos deve ser evitada, a formação de subprodutos indesejáveis também deve ser evitada e o processo deve ser viável economicamente (Kanget *al.*, 2019).

A etapa de fermentação é realizada através da atividade de enzimas excretadas por microorganismos. Existem dois principais métodos de fermentação a aeróbica (na presença de oxigênio) e anaeróbica (ausência de oxigênio). Existem vários microrganismos na natureza identificados como agentes fermentativos, e esses são classificados em três grupos, levedura (espécies *saccharomyces*), bactérias (espécies *zymomonas*) e mofo (micélio) (Naiket *al.*, 2010).

Biodiesel: Os biodieseis de segunda geração são produzidos a partir de fontes não comestíveis, como óleos e gorduras vegetais

residuais ou culturas não alimentares, resíduos florestais, fontes de biomassa, entre outros (Bhuiyaet *al.*, 2016). O custo da produção de biodiesel está diretamente relacionado com a fonte de matéria-prima utilizada para produção do biocombustível, espera-se que a utilização de óleos vegetais não comestíveis possibilitem um menor custo de produção, dessa forma se torne mais sustentável quando comparado ao biodiesel de primeira geração que utiliza fontes de matéria-prima que estão inseridas no mercado de alimentos (Azad e Uddin, 2013). A desvantagem que esse tipo de biocombustível apresenta é a queda no rendimento de algumas fontes de oleaginosas não comestíveis, como óleo de *Jatropha*, óleo de *Jojoba* e óleo de laranja (Singh *et al.*, 2020).

Processo de conversão do biodiesel: O processo de transesterificação ainda é o mais usual e econômico para produção de biodiesel comercial obtendo alto rendimento. O rendimento obtido na conversão dos ésteres depende da fonte de matéria-prima e das condições de reação.

Terceira Geração

Os biocombustíveis de terceira geração são oriundos de matérias-primas cultivadas no meio aquático (algas) e micróbios. Existem duas classificações para algas com base em seu tamanho e morfologia: macroalgas e microalgas. Uma das macroalgas marinhas mais utilizadas na produção de biocombustíveis é a alga marinha. Se tratando das microalgas, essas são classificadas como organismos microscópicos autotróficos, heterotróficos e mixotróficos, que podem ser encontrados tanto em água doce como no mar (Zhang *et al.*, 2013).

Bioetanol: O bioetanol de terceira geração oferece mais benefícios quando comparado ao de primeira e segunda geração, isso porque o bioetanol de terceira geração é oriundo de macroalgas, sendo considerado um biocombustível promissor, uma vez que sua

matéria-prima não compete com outras fontes agrícolas (Carriquiry *et al.*, 2011).

Processos de conversão do bioetanol: O bioetanol de terceira geração pode ser produzido a partir de macroalgas através do processo de fermentação por leveduras ou bactérias (Chong *et al.*, 2020). O processo de fermentação para converter o açúcar produzido a partir da macroalga em bioetanol, pode seguir diferentes rotas: hidrólise e fermentação separadas; sacarificação e fermentação simultâneas; sacarificação e co-fermentação simultâneas e bioprocessamento consolidado (Harun *et al.*, 2011).

Biodiesel: O biodiesel oriundo de algas surgiu como uma proposta de aumentar a taxa de produção de biodiesel, apresentando vantagem a outras gerações anteriores, uma vez que esse novo biocombustível não influencia na cadeia alimentar, disponibilidade de áreas cultiváveis, além de apresentar flexibilidade com parâmetros ambientais e ser economicamente viável (Puneet e Sharma, 2016).

Processo de conversão do biodiesel: O processo de produção do biodiesel de terceira geração inicia pela extração do óleo de alga. No processo de conversão os triglicerídeos reagem com um mono-álcool na presença de um catalisador para formar uma mistura de ésteres de ácidos graxos e glicerol. Após o processo é realizada a lavagem do produto da transesterificação (Fariadet *et al.*, 2017).

Quarta Geração

Os biocombustíveis de quarta geração surgiram com o propósito de produzir geneticamente microorganismos, como microalgas, leveduras, fungos e cianobactérias. As técnicas de produção desse grupo de biocombustíveis ainda se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento (Sikarearet *et al.*, 2017; Wood, 2021).

CONCLUSÕES

O uso da biomassa como fonte de matéria-prima para conversão de biocombustíveis apresenta grande potencial energético, e esse depende diretamente da disponibilidade dos insumos que servem como base para produção de energia. Além disso, cada geração de biocombustível apresenta vantagens e limitações. Todas as gerações de biocombustíveis apresentam potencial para substituir os combustíveis de origem fóssil, gerando menos gases poluentes e consequentemente diminuindo os impactos ao meio-ambiente, no entanto, a competição com o mercado de alimentos se apresenta como uma desvantagem para os biocombustíveis de primeira geração. Por outro lado, os biocombustíveis de segunda, terceira e quarta geração se apresentam como escolhas mais sustentáveis no processo de produção de biocombustíveis, uma vez que não estão inseridos no mercado alimentício. De maneira geral, com o incentivo à produção de biocombustíveis, novas tecnologias de produção podem surgir, para tornar esse biocombustível ainda mais eficiente e sustentável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual do Ceará (UECE), Universidade do Estado do Rio Grande do Norte e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

REFERÊNCIAS

- ACHINAS, Spyridon; ACHINAS, Vasileios; EUVERINK, Gerrit Jan Willem. A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. *Engineering*, [s. l.], v. 3, n. 3, p. 299–307, 2017.
- ALALWAN, Hayder A.; ALMINSHID, Alaa H.; ALJAAFARI, Haydar A. S. Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *Renewable Energy Focus*, [s. l.], v. 28, p. 127–139,

2019.

AZAD, A. K.; AMEER UDDIN, S. M. Performance study of a diesel engine by first generation bio-fuel blends with fossil fuel: An experimental study. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 1–13, 2013.

BASSEGIO, Doglaset *al.* Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 66, p. 311–321, 2016.

BHUIYA, M. M.K. *et al.* Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel - Part: 1 selection of feedstocks, oil extraction techniques and conversion technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 55, p. 1109–1128, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resolução ANP nº 802, de 5 de dezembro de 2019. Brasília. 2020.

BURKHARDT, Jesse. The impact of the Renewable Fuel Standard on US oil refineries. *Energy Policy*, [s. l.], v. 130, p. 429–437, 2019.

CAO, Xincheng *et al.* Catalytic conversion of waste cooking oils for the production of liquid hydrocarbon biofuels using in-situ coating metal oxide on SBA-15 as heterogeneous catalyst. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, [s. l.], v. 138, p. 137–144, 2019.

CARRIQUIRY, Miguel A.; DU, Xiaodong; TIMILSINA, Govinda R. Second generation biofuels: Economics and policies. *Energy Policy*, [s. l.], v. 39, n. 7, p. 4222–4234, 2011.

CHONG, Ting Yen *et al.* Techno-economic evaluation of third-generation bioethanol production utilizing the macroalgae waste: A case study in Malaysia. *Energy*, [s. l.], v. 210, p. 1–9, 2020.

DI DONATO, Paola *et al.* The production of second generation bioethanol: The biotechnology potential of thermophilic bacteria. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 233, p. 1410–1417, 2019.

FARIED, M. *et al.* Biodiesel production from microalgae: Processes, technologies and

recent advancements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 79, p. 893–913, 2017.

GHAZALI, W.N.M.W.; MAMAT, R.; MASJUKI, H.H.; NAJAFI, G. Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], vol. 51, p. 585–602. 2015.

GRASSI, M. C.B.; PEREIRA, G. A. G. Energy-cane and RenovaBio: Brazilian vectors to boost the development of Biofuels. *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 129, p. 201–205, 2019.

HARUN, Razif; DANQUAH, Michael K. Enzymatic hydrolysis of microalgal biomass for bioethanol production. *Chemical Engineering Journal*, [s. l.], v. 168, n. 3, p. 1079–1084, 2011.

HEMANSI; CHAKRABORTY, Subhojit; YADAV, Garima; SAINI, Jitendra Kumar; KUHAD, Ramesh Chander. Comparative Study of Cellulase Production Using Submerged and Solid-State Fermentation. *New and Future Developments In Microbial Biotechnology And Bioengineering*, [s. l.], p. 99–113, 2019.

JÖNSSON, Leif J.; MARTÍN, Carlos. Pretreatment of lignocellulose: Formation of inhibitory by-products and strategies for minimizing their effects. *Bioresource Technology*, [s. l.], v. 199, p. 103–112, 2016.

KANG, KyeongEop *et al.* Development and economic analysis of bioethanol production facilities using lignocellulosic biomass. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, [s. l.], v. 128, n. 4, p. 475–479, 2019.

LI, Raymond; LEUNG, Guy C.K. The relationship between energy prices, economic growth and renewable energy consumption: Evidence from Europe. *Energy Reports*, [s. l.], v. 7, p. 1712–1719, 2021.

MOHIDDIN, MohdNurfirdaus Bin *et al.* Evaluation on feedstock, technologies, catalyst and reactor for sustainable biodiesel production: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, [s. l.], v. 98, p. 60–81,

2021.

MUSA, Idris Atadashi. The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 21–31, 2016.

NAIK, S. N. *et al.* Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 14, n. 2, p. 578–597, 2010.

NORKOBILOV, Adham; GORRI, Daniel; ORTIZ, Inmaculada. Process flowsheet analysis of pervaporation-based hybrid processes in the production of ethyl tert-butyl ether. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, [s. l.], v. 92, n. 6, p. 1167–1177, 2017.

RULLI, Maria Cristina *et al.* The water-land-food nexus of first-generation biofuels. *Scientific Reports*, [s. l.], v. 6, p. 1–10, 2016.

SALADINI, Fabrizio *et al.* Guidelines for energy evaluation of first, second and third generation biofuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 66, p. 221–227, 2016.

SARAVANAN, Azhaham Perumal *et al.* Biofuel policy in India: A review of policy barriers in sustainable marketing of biofuel. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 193, p. 734–747, 2018.

SINGH, Digambar *et al.* A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel*, [s. l.], v. 262, p. 116553, 2020.

SINGH, Digambar *et al.* Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels: A review. *Fuel*, [s. l.], v. 253, p. 60–71, 2019.

SUBRAMANIAM, Yogeeswari; MASRON, TajulAriffin. The impact of economic globalization on biofuel in developing countries. *Energy Conversion and Management: X*, [s. l.], v. 10, p. 1–12, 2020.

SZAMBELAN, Katarzyna *et al.* Separate hydrolysis and fermentation and

simultaneous saccharification and fermentation methods in bioethanol production and formation of volatile by-products from selected corn cultivars. *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 118, p. 355–361, 2018.

TRINH, Ly Thi Phi *et al.* Aqueous acidified ionic liquid pretreatment for bioethanol production and concentration of produced ethanol by pervaporation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, [s. l.], v. 69, p. 57–65, 2019.

VERMA, Puneet; SHARMA, M. P.; DWIVEDI, Gaurav. Impact of alcohol on biodiesel production and properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 56, p. 319–333, 2016.

WESTENSEE, Dirk Karl *et al.* The availability of second generation feedstocks for the treatment of acid mine drainage and to improve South Africa's bio-based economy. *Science of the Total Environment*, [s. l.], v. 637–638, p. 132–136, 2018.

WOOD, David A. Microalgae to biodiesel - Review of recent progress. *Bioresource Technology Reports*, [s. l.], v. 14, n. July 2020, p. 1–13, 2021.

ZABANIOTOU, A.; IOANNIDOU, O.; SKOULOU, V. Rapeseed residues utilization for energy and 2nd generation biofuels. *Fuel*, [s. l.], v. 87, n. 8–9, p. 1492–1502, 2008.

ZHANG, Xinrue *et al.* Influence of cell properties on rheological characterization of microalgae suspensions. *Bioresource Technology*, [s. l.], v. 139, p. 209–213, 2013.