



Campus São Mateus  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



## BIORREFINARIAS: RESUMO COM DEFINIÇÕES, CLASSIFICAÇÕES E PROCESSOS INDUSTRIAIS

*BIOREFINERIES: SUMMARY WITH DEFINITIONS, CLASSIFICATIONS AND INDUSTRIAL PROCESSES*

*BIOREFINERÍAS: RESUMEN CON DEFINICIONES, CLASIFICACIONES Y PROCESOS INDUSTRIALES*

**Victoria Victor Soares<sup>1</sup>, Luiz Eduardo Freitas de Moura<sup>2</sup>, & Katia Moreira de Melo<sup>3\*</sup>**

<sup>123</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

<sup>1</sup>[victoriavictor539@gmail.com](mailto:victoriavictor539@gmail.com) <sup>2</sup>[freitaseduardo265@gmail.com](mailto:freitaseduardo265@gmail.com) <sup>3\*</sup>[katia.melo.016@ufrn.edu.br](mailto:katia.melo.016@ufrn.edu.br)

### ARTIGO INFO.

Recebido: 20.11.2024

Aprovado: 18.12.2024

Disponibilizado: 15.02.2025

**PALAVRAS-CHAVE:** Biorrefinaria; Biocombustíveis; Biomassa; Energias renováveis; Sustentabilidade.

**KEYWORDS:** *Biorefinery; Biofuels; Biomass; Renewable energies; Sustainability.*

**PALABRAS CLAVE:** *Biorrefinería; Biocombustibles; Biomasa; Energías renovables; Sostenibilidad.*

\*Autor Correspondente: Soares, V. V

### RESUMO

A demanda cada vez maior por energia de origem petrolífera, tem causado grandes problemas ao meio ambiente e à saúde das pessoas, com a emissão de gases tóxicos. Nesse cenário, os biocombustíveis se destacam como uma alternativa mais sustentável, que são obtidos por meio do uso de biomassas. Estas matérias-primas são tratadas nas biorrefinarias, se transformando em produtos de grande valor industrial, como no caso dos biocombustíveis. Atualmente, tem ocorrido um crescimento considerável dessas indústrias, o que auxilia no processo de transição energética, mas ainda são necessárias pesquisas que proporcionem o seu melhor desenvolvimento. Diante da importância das biorrefinarias, o presente trabalho teve como objetivo trazer seus fundamentos, e assim, fornecer uma base conceitual para o leitor. A metodologia utilizada no trabalho, foi baseada em consultas a bases de dados disponíveis na internet, como os Periódicos Capes, o Google Acadêmico e o Scielo. Os resultados apresentam as principais definições, classificações e processos industriais que ocorrem nas biorrefinarias, mostrando seu potencial como referência para estudos futuros. Como considerações finais, concluiu-se que embora essas indústrias estejam crescendo, os conceitos são amplos, e como apresentam diversas aplicações industriais, ainda estão em desenvolvimento, não apresentando uma única classificação na literatura.

### ABSTRACT

The increasing demand for energy from petroleum sources has caused major problems for the environment and people's health, with the emission of toxic gases. In this scenario, biofuels stand out as a more sustainable alternative, which are obtained using biomass. These raw

materials are treated in biorefineries, transforming them into products of great industrial value, as in the case of biofuels. Currently, there has been considerable growth in these industries, which helps in the energy transition process, but research is still needed to provide their best development. Given the importance of biorefineries, this work aimed to present their foundations and thus provide a conceptual basis for the reader. The methodology used in the work was based on consultations of databases available on the internet, such as Capes Journals, Google Scholar and Scielo. The results present the main definitions, classifications and industrial processes that occur in biorefineries, showing their potential as a reference for future studies. As final considerations, it was concluded that although these industries are growing, the concepts are broad, and as they have diverse industrial applications, they are still under development, not presenting a single classification in the literature.

### RESUMEN

*La creciente demanda de energía procedente del petróleo ha provocado importantes problemas para el medio ambiente y la salud de las personas, con la emisión de gases tóxicos. En este escenario, los biocombustibles se destacan como una alternativa más sustentable, los cuales se obtienen a través del aprovechamiento de la biomasa. Estas materias primas son tratadas en biorrefinerías, transformándolas en productos de gran valor industrial, como es el caso de los biocombustibles. Actualmente, ha habido un crecimiento considerable en estas industrias, lo que ayuda en el proceso de transición energética, pero aún se necesita investigación para brindar un mejor desarrollo. Dada la importancia de las biorrefinerías, este trabajo tuvo como objetivo presentar sus fundamentos y así proporcionar una base conceptual para el lector. La metodología utilizada en el trabajo se basó en consultas a bases de datos disponibles en internet, como Periódicos Capes, Google Scholar y Scielo. Los resultados presentan las principales definiciones, clasificaciones y procesos industriales que ocurren en las biorrefinerías, mostrando su potencial como referencia para futuros estudios. Como consideraciones finales se concluyó que, si bien estas industrias están en crecimiento, los conceptos son amplos, y como tienen diversas aplicaciones industriales, aún se encuentran en desarrollo, no presentándose una clasificación única en la literatura.*

## INTRODUÇÃO

A demanda cada vez maior por energia obtida a partir do petróleo gera diversos impactos ambientais, em especial pela liberação de gases que intensificam o efeito estufa (GEE), decorrente da combustão desses combustíveis. Atualmente, de acordo com a IEA (2019), 79% da energia fornecida mundialmente ainda é derivada de combustíveis fósseis. Diante disso, torna-se imprescindível a diversificação e investimento em novas fontes energéticas alternativas que sejam consideradas mais sustentáveis (Souza et al., 2022).

Nesse cenário, os biocombustíveis aparecem como alternativas sustentáveis obtidas a partir de biomassa. Esta, pode ser definida como uma matéria orgânica qualquer que apresente capacidade química para ser convertida em energia. Dependendo da matéria-prima que será utilizada como biomassa, os produtos podem ser gerados através das biorrefinarias (Nali et al., 2016).

As biorrefinarias são instalações industriais voltadas para o processamento de biomassa, similar a uma refinaria petroquímica que utiliza o petróleo (Kamm, 2006; Nali, 2016). Esse conceito, quando empregado nas usinas de produção dos biocombustíveis pode ocasionar redução de custos de produção, conseqüente aumento dos lucros, e independência, pois as indústrias não seriam mais dependentes das variações constantes nos preços de produtos. Agregando, assim, valor e criação de novos produtos originados de matéria renovável, como também, resíduos antes considerados lixos (Alvim et al., 2014).

O sucesso das biorrefinarias está relacionado diretamente com aspectos de logística envolvendo disponibilidade e características da biomassa utilizada, como também mercado consumidor e sustentabilidade (Favaro, 2013). Diante disso, este artigo visa coletar e sistematizar informações relacionadas aos conceitos de biorrefinarias, sua classificação quanto aos diversos tipos e fases, além dos seus principais processos. Visando, assim, contribuir de forma abrangente para futuras pesquisas de desenvolvimento energético.

## METODOLOGIA

Consistiu em uma pesquisa em bases de dados da literatura, como Periódicos Capes, Google Acadêmico e Scielo. Para a busca foram inseridas palavras-chave que se relacionavam com o tema, como: biomassa; biorrefinarias; energias renováveis; e biocombustíveis. A seleção dos artigos foi baseada em uma análise de sua contextualização e das ideias apresentadas, priorizando aqueles que demonstraram melhor desenvolvimento e clareza na escrita.

## Biorrefinaria

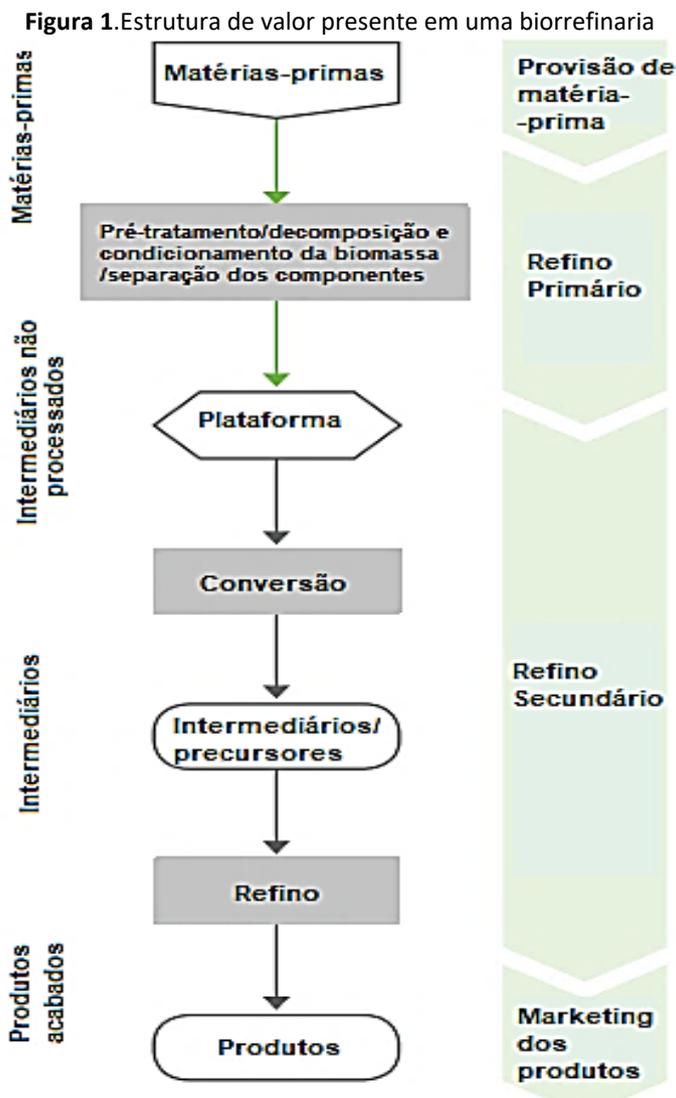
“Biorrefinaria é uma instalação que integra processos de conversão de biomassa em biocombustíveis, insumos químicos, materiais, alimentos, rações e energia” (Emprapa, 2012). Esse conceito possui amplitude de significados, e isso se justifica pela definição se apresentar de maneira abrangente em seu potencial de aplicação industrial e econômica (Vaz Junior, 2012). Uma de suas propostas demonstra que a biorrefinaria é uma indústria que faz similaridade às refinarias, sendo que ao invés de fazer uso de matérias-primas não renováveis fazem uso de matérias-primas renováveis, permitindo reduzir os impactos gerados pelo efeito estufa (Campanhola & Araújo, 2012) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Principais diferenças entre as biorrefinarias e as refinarias

Refinaria	Biorrefinaria
Matéria-prima relativamente homogênea	Matéria-prima heterogênea
Maior parte de processos físico-químicos	Combinação de processos de natureza distinta
Geração de muitos intermediários em escala comercial	Geração de poucos intermediários em escala comercial
Processamento primário da matéria-prima gera produtos diferenciados	Processamento primário da matéria-prima gera produtos intermediários que podem ser destinados para produção de um mesmo produto ou produtos distintos

Fonte: Adaptado de Fernando et al. (2006); Bennett & Pearson, (2009); Jong & Jungmeier, (2015).

O principal objetivo das biorrefinarias é realizar a transformação de materiais abundantes no meio ambiente, em materiais mais úteis para a indústria, e para isso faz uso de uma variação de tecnologias e processos (Rodrigues, 2011). Segundo a Agência de Recursos Renováveis (FNR, 2012), a estrutura de valor de uma biorrefinaria (Figura 1) pode ser classificada de acordo com o que ocorre em cada etapa, sendo estas: pré-tratamento/decomposição e condicionamento/separação da matéria-prima; conversão e refino.



Segundo King et al. (2010), as matérias-primas que podem ser transformadas em produtos industriais de grande valor nas biorrefinarias são diversificadas, e os produtos obtidos do processamento dessas, são classificados como de primeira e segunda geração. De acordo com esses autores, os produtos de primeira geração constituem aqueles que fazem uso de matérias-primas comestíveis, ou seja, que competem com o setor alimentício, como plantas ricas em amido e oleaginosas. Enquanto isso, os de segunda geração fazem uso de resíduos que não são provenientes do setor alimentício, sendo esses considerados produtos com um maior potencial para competirem com os combustíveis fósseis (Santos et al., 2007).

Diante dessa discussão, espera-se que com o desenvolvimento dos biocombustíveis de segunda geração haja aperfeiçoamento da biomassa na biorrefinaria, assegurando melhores benefícios ambientais e oferecendo estabilidade ao sistema energético renovável, ocasionados por meio da produção simultânea de energia e produtos industriais de maior valor industrial (Hoffmann, 2006).

### **Classificações das Biorrefinarias**

A definição de biorrefinarias ainda está em processo de desenvolvimento, o que não permite que haja a existência de uma única classificação. As classificações atualmente adotadas, em geral, se baseiam na matéria-prima utilizada, na tecnologia empregada, no nível de desenvolvimento, e nos produtos obtidos durante o processo (Cherubini et al., 2009).

Van Ree e Annevelink (2007) classificam as biorrefinarias em diferentes tipos, conforme as biomassas e tecnologias utilizadas (Tabela 2). Segundo os autores, as biorrefinarias convencionais (CBR) empregam tecnologias tradicionais, tais como fermentação, pirólise e esterificação, que consistem em processos amplamente utilizados para a conversão de biomassa em produtos de valor agregado, a exemplo das usinas de açúcar e etanol. Já as biorrefinarias verdes (GBR) utilizam biomassa fresca em processos que aproveitam tanto o caldo, definido como a fração líquida rica em nutrientes, quanto a torta, que é o resíduo sólido rico em fibras, sendo mais comuns em gramíneas. Enquanto isso, as biorrefinarias de cereais (WCBR) usam cereais, como o milho e o trigo, como matéria-prima. As biorrefinarias de lignocelulose (LCBR), fracionam biomassa rica em lignocelulósicos, gerando como produtos a celulose, a hemicelulose e a lignina. Por outro lado, as biorrefinarias de suas plataformas (TPCBR), processam biomassa em açúcares e lignina, obtendo bioprodutos e energia. As biorrefinarias termoquímicas (TCBR) são as que utilizam de processos térmicos e químicos, como pirólise, produzindo diversos produtos. Por fim, as biorrefinarias aquáticas (MBR), que aproveitam a biomassa obtida por meio de organismos aquáticos, como microalgas e macroalgas.

**Tabela 2.** Classificação das biorrefinarias segundo Van Ree e Annevelink (2007)

Tipo de biorrefinaria	Característica	Exemplo
Biorrefinarias convencionais (CBR)	Utilizam tecnologias tradicionais para o uso da biomassa, obtendo subprodutos.	Usinas de açúcar e etanol, indústrias de papel e celulose
Biorrefinarias verdes (GBR)	Utilizam biomassa fresca e processos de pressurização da biomassa úmida, aproveitando caldo e torta.	Gramíneas
Biorrefinarias de cereais (WCBR)	Utilizam cereais como matéria-prima, produzindo diversos produtos.	Milho, trigo, centeio
Biorrefinarias de lignocelulose (LCBR)	Fracionam biomassa rica em lignocelulósicos para gerar celulose, hemiceluloses e lignina.	Biomassa lignocelulósica
Biorrefinarias de suas plataformas (TPCBR)	Fracionam biomassa em açúcares e lignina, utilizando plataformas de açúcar e gás de síntese.	Açúcares, lignina
Biorrefinarias termoquímicas (TCBR)	Empregam processos térmicos e químicos, como pirólise e gaseificação, para produzir vários produtos.	Ureia, metanol, amônia, diesel
Biorrefinarias aquáticas (MBR)	Utilizam biomassa de organismos aquáticos como matéria-prima.	Microalgas, macroalgas

Fonte: Van Ree e Annevelink (2007).

Enquanto isso, Kamm et al. (2006) propõem uma divisão das biorrefinarias em três fases, baseando-se na flexibilidade e na complexidade operacional dessas indústrias de transformação de matéria-prima (Tabela 3). Esses autores definem as biorrefinarias de fase I como aquelas que utilizam uma matéria-prima específica e operam de forma mais rígida, como exemplo das instalações que produzem o biodiesel somente a partir da soja. Já as biorrefinarias de fase II são as que processam um tipo de biomassa, mas geram vários produtos, como, por exemplo, as que produzem etanol e ração utilizando milho. Por fim, as biorrefinarias de fase III são as mais avançadas, com capacidade de processar diversas biomassas e fazer uso de diferentes tecnologias, exemplificadas pelas unidades que utilizam biomassa lignocelulósica para produzir uma ampla gama de produtos industrializados.

**Tabela 3.** Classificação segundo Kamm et al. (2006)

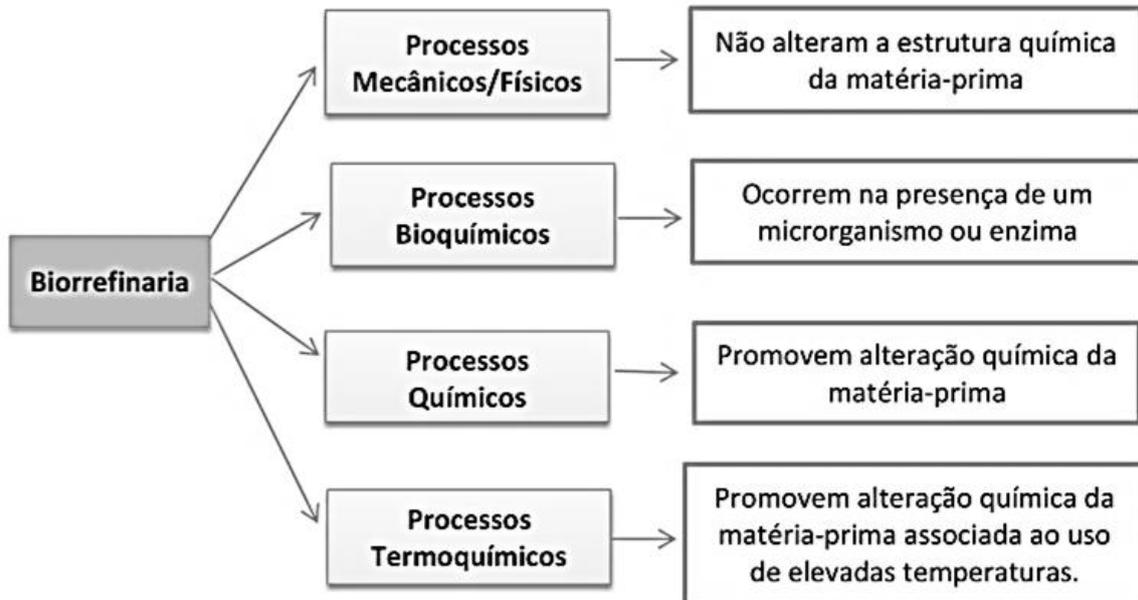
Tipo de biorrefinaria	Características	Exemplo
Biorrefinaria de fase I	Processa uma matéria-prima específica e em quantidades fixas, sem flexibilidade para ajustes no processo.	Instalações que utilizam soja para biodiesel
Biorrefinaria de fase II	Processa um tipo de biomassa, mas permite maior flexibilidade para gerar diversos produtos.	Unidades que utilizam milho para etanol e ração animal
Biorrefinaria de fase III	Processa diferentes tipos de biomassa e integra várias tecnologias de transformação para gerar diversos produtos.	Biorrefinaria de biomassa lignocelulósica

Fonte: Kamm et al. (2006).

## Processos Utilizados nas Biorrefinarias

A classificação dos processos de uma biorrefinaria foi dividida em quatro categorias conforme Cherubini et al. (2009), sendo estas: processos mecânicos ou físicos; processos bioquímicos; processos químicos; e processos termoquímicos (Figura 2).

Figura 2. Representação dos processos que ocorrem em biorrefinarias



Fonte: Cherubini et al. (2009).

### Processos mecânicos/físicos

Os processos mecânicos e físicos são os processos que preservam a composição química da matéria-prima, limitando-se apenas a reduzir seu tamanho ou separar seus componentes, ou seja, a matéria-prima não perde suas propriedades químicas. Exemplos desse tipo de processo são: pré-tratamento; moagem; e destilação (Assis, 2024). Esses serão definidos nos tópicos a seguir:

#### Pré-tratamento

O pré-tratamento envolve a compactação e expansão da matéria-prima. Seu processo realiza inicialmente a impregnação da biomassa em água, sob pressões de 7 a 50 atm., e temperaturas variando entre 150° a 190° C. Depois disso, a pressão é diminuída, provocando uma explosão que faz com que haja desintegração das ligações estruturais. Esse procedimento, obtém como produtos uma parte sólida, rica em lignocelulose, e outra líquida, composta por xilooligossacarídeos, xilose e ácidos (acético e urônico) (Santos, 2012).

#### Moagem

Na etapa de moagem o material é reduzido de tamanho pela força de impacto, corte ou atrito, facilitando as próximas etapas do processo. O tamanho das partículas também determina o consumo de energia que será gasto pelos equipamentos, portanto é uma etapa bastante importante para a economia da biorrefinaria (Mendes, 2011).

## Destilação

A destilação é um procedimento baseado no ponto de ebulição da substância, sendo explicada por meio da ideia que as diferentes matérias são formadas por muitas partículas que se movimentam e interagem entre si. Esse processo é bastante utilizado para purificação de substâncias, como também, separação (De Figueiredo, 2023).

## Processos bioquímicos

Os processos bioquímicos são processos que ocorrem em condições brandas (baixas temperaturas e pressão), com utilização de microrganismos ou enzimas. Tem como principais exemplos, a digestão anaeróbia, conversões enzimáticas e fermentação (De Oliveira, 2017). Esses exemplos, serão definidos nos tópicos a seguir.

### Digestão anaeróbia

O processo de digestão anaeróbia é caracterizado por promover a decomposição de uma determinada biomassa, através da ação de microrganismos em ausência de oxigênio. Esse processo produz biogás, produto de valor agregado que pode ser utilizado como fonte energética sustentável (Silva et al., 2021).

### Conversão enzimática

A conversão enzimática é aquela que acontece na presença de uma enzima. Esta promove maior seletividade ao processo de transformação, possibilitando a obtenção de produtos de melhor qualidade comercial (Sheng et al., 2021).

### Fermentação

A fermentação consiste em uma reação promovida pela ação de microrganismos na ausência de oxigênio, que transformam a matéria orgânica, geralmente carboidratos, em produtos de valores agregados (Wen et al., 2024).

## Processos químicos

Nos processos químicos ocorre a alteração química do substrato, resultando na formação de novos compostos com propriedades diferentes. Exemplos de reações desse tipo incluem a transesterificação e a esterificação (Yao et al., 2024). Esses exemplos serão definidos nos tópicos a seguir.

### Transesterificação

A transesterificação é uma reação química entre o éster da matéria-prima utilizada, geralmente uma oleaginosa, e um álcool de cadeia curta, como o metanol e o etanol, na presença de um catalisador. Este pode ser um catalisador ácido ou básico, e apresentar características homogêneas ou heterogêneas. Normalmente, essas reações ocorrem com o aumento da temperatura e produzem biodiesel e glicerina (Yusuf et al., 2024).

### Esterificação

A reação de esterificação é similar ao processo de transesterificação, o que muda é a matéria-prima utilizada, neste caso um ácido graxo. Além disso, obtém além do biodiesel, água como subproduto (Rovere et al., 2020).

## Processos termoquímicos

Os processos termoquímicos se caracterizam por passar a matéria-prima por condições extremas (alta temperatura e/ou pressão, com ou sem um meio catalítico). São exemplos, pirólise, gaseificação e combustão (Köves et al., 2024). Estes exemplos, serão definidos nos tópicos a seguir.

### Pirólise

A pirólise é definida como uma técnica que promove degradação térmica de materiais orgânicos, em um ambiente ausente parcialmente ou total de oxigênio. Esse processo ocorre geralmente a uma temperatura variando de 400° C até o sistema alcançar a gaseificação (Peng et al., 2024). É capaz de gerar combustíveis líquidos (bio-óleos) com altos rendimentos, como também produtos sólidos e gasosos, que podem se transformar em combustíveis, ou ainda, servirem para outros usos industriais (Ashfaq et al., 2024).

Segundo Chiaramonti et al. (2007), os óleos pirolitos ou bio-óleos, são hidrocarbonetos que possuem alto valor energético, em razão disso, podem ser utilizados nas câmaras de combustão, motores a diesel, turbinas, dentre outros.

### Gaseificação

O processo de gaseificação é caracterizado por ser oxidativo, transformando a biomassa rica em carbono em um biocombustível gaseificado. Este produto, conhecido como gás de síntese, consiste em uma mistura de hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono, sendo utilizado para obter energia, biocombustíveis ou produtos químicos (Kabeyi & Olanrewaju, 2022).

Para a gaseificação, são utilizados elementos como ar, oxigênio e vapor aquoso, em medidas estequiométricas pré-determinadas para a combustão (Lora et al., 2012). Durante esse processo também ocorre a produção de menores quantidades de carvão, alcatrão e cinzas (Leal et al., 2024).

### Combustão

O processo de combustão é uma reação química entre um combustível e um reagente oxidante, como o oxigênio, que resulta na destruição das moléculas dos reagentes e na formação de novos produtos. Essa reação é exotérmica, liberando calor e, muitas vezes, luz. Os principais produtos da combustão completa são dióxido de carbono e água, com estruturas moleculares distintas das dos reagentes (Rendeiro, 2008).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou as principais ideias de uma biorrefinaria, desde suas definições, classificações e processos desenvolvidos em suas unidades, servindo como base para futuros trabalhos e obtenção de conhecimento para o leitor. Com os resultados do trabalho, concluiu-se que o conceito de biorrefinaria é abrangente e por possuir uma amplitude de aplicações industriais, ainda se encontra em desenvolvimento, logo não há uma única classificação na literatura.

## REFERÊNCIAS

Alvim, J. C., Alvim, F. A. L. S., Sales, V. H. G., Sales, P. V. G., Oliveira, E. D., & Costa, A. C. R. (2014). Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias

primas e produtos. *Journal of bioenergy and food science*, 1(3), 61-77. Recuperado de <https://www.researchgate.net/profile/Victor-Hugo->

[Sales/publication/270571972\\_Biorrefinarias\\_Conceitos-classificacao-materias-primas-e-produtos/links/575d7c0408aec91374aed9e0/Biorrefinarias-Conceitos-classificacao-materias-primas-e-produtos.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974421/1/doc14FINAL.pdf)

Ashfaq, M. M., Tüzemen, G. B., & Noor, A. (2024). Exploiting agricultural biomass via thermochemical processes for sustainable hydrogen and bioenergy: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 84, 1068-1084. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.295>

Assis, A. H. C. (2024). *Processo de produção de celulose e de papel*. Editora Intersaberes.

Bennett, S. J. & Pearson, P. J. (2009). From petrochemical complexes to biorefineries? The past and prospective co-evolution of liquid fuels and chemicals production in the UK. *Chemical Engineering Research and Design*, 87(9), 1120-1139. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.02.008>

Campanhola, C. & Araújo, C. (2012). As biorrefinarias como estratégia de inovação e adensamento produtivo. *Agroenergia em revista*. Ano III. nº4. Recuperado de [https://issuu.com/embrapa/docs/revista\\_ed\\_4](https://issuu.com/embrapa/docs/revista_ed_4)

Cherubini, F., Jungmeier, G., Wellisch, M., Willke, T., Skiadas, I., Van Ree, R., & de Jong, E. (2009). Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(5), 534-546. <https://doi.org/10.1002/bbb.172>

Chiaromonti, D., Oasmaa, A., & Solantausta, Y. (2007). Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11(6), 1056-1086. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.07.008>

De Figueiredo, A. T. & Barrado, C. M. (2023). *Processos da Indústria Química*. Editora Intersaberes.

De Jong, E. & Jungmeier, G. (2015). Biorefinery concepts in comparison to petrochemical refineries. In *Industrial biorefineries & white biotechnology* (pp. 3-33). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63453-5.00001-X>

De Oliveira, J. C. G. (2017). *Processos de valorização dos resíduos do coco (Dissertação de mestrado)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Recuperado de <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/processos-de-valorizacao-dos-residuos-do-coco.pdf>

EMBRAPA. (2012). *Biorrefinarias*. <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/908142/1/biorrefinariamodificadoweb.pdf>

Favaro, S. P. & Miranda, C. H. B. (2013). Aproveitamento de espécies nativas e seus coprodutos no contexto de biorrefinaria. Recuperado

de:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/974421/1/doc14FINAL.pdf>

Fernando, S., Adhikari, S., Chandrapal, C., & Murali, N. (2006). Biorefineries: current status, challenges, and future direction. *Energy & Fuels*, 20(4), 1727-1737. <http://dx.doi.org/10.1021/ef060097w>

FNR – Agency for Renewable Resources e. V. (2012). *Biorefinery roadmap*. Druckerei Schlesener. Recuperado de [https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/FS/30759\\_Biorefineries\\_Roadmap\\_en.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/FS/30759_Biorefineries_Roadmap_en.pdf?__blob=publicationFile&v=3)

IEA. International Energy Agency. (2021). Recuperado de <https://www.iea.org/reports/transport-biofuels>

Newsletter. S/I: Abtpc, 240. Recuperado de [https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29\\_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf](https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf)

Hoffmann, R. (2006). Segurança alimentar e produção de etanol no Brasil. *Segurança alimentar e nutricional*, 13(2), 1-5. Recuperado de <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/1827>

Kabeyi, M. J. B. & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas production and applications in the sustainable energy transition. *Journal of Energy*, 2022(1), 8750221. <https://doi.org/10.1155/2022/8750221>

Kamm, B., Gruber, P. R., & Kamm, M. (Eds.). (2006). *Biorefineries-industrial processes and products* (Vol. 2). Weinheim: Wiley-VCH. Recuperado de [https://fora.aa.ufl.edu/docs/47/16Feb16/16Feb\\_AB\\_E4XXX\\_6XXX\\_Adv\\_Bio\\_Based\\_Products.pdf](https://fora.aa.ufl.edu/docs/47/16Feb16/16Feb_AB_E4XXX_6XXX_Adv_Bio_Based_Products.pdf)

Kamm, B., Gruber, P. R., & Kamm, M. (Eds.). (2006). *Biorefineries-industrial processes and products* (Vol. 2). Weinheim: Wiley-VCH. Recuperado de: [https://fora.aa.ufl.edu/docs/47/16Feb16/16Feb\\_AB\\_E4XXX\\_6XXX\\_Adv\\_Bio\\_Based\\_Products.pdf](https://fora.aa.ufl.edu/docs/47/16Feb16/16Feb_AB_E4XXX_6XXX_Adv_Bio_Based_Products.pdf)

King, D. (2010). *The future of industrial biorefineries*. World Economic Forum. Recuperado de [https://energiatagud.ee/sites/default/files/images/sala/f/fa/World\\_Economic\\_Forum\\_The\\_Future\\_of\\_Industrial\\_Biorefineries\\_2010.pdf](https://energiatagud.ee/sites/default/files/images/sala/f/fa/World_Economic_Forum_The_Future_of_Industrial_Biorefineries_2010.pdf)

Köves, M., Madár, V., Ringer, M., & Kocsis, T. (2024). Overview of Traditional and Contemporary Industrial Production Technologies for Biochar along with Quality Standardization Methods. *Land*, 13(9), 1388. <https://doi.org/10.3390/land13091388>

Leal, T. W., da Silva Júnior, A. H., de Oliveira, P. V., Müller, J. D. O. M., & de Oliveira, C. R. S. (2024). Gaseificação de biomassa lignocelulósica: uma comparação de processos para produção de hidrogênio verde. *International Journal of Agrarian Sciences-PDVAGRO*, 4(1), 50-70. <https://doi.org/10.31692/2764-3425.v4i1.477>

- Lora, E. E. S., Andrade, R. V., Ángel, J. D. M., Leite, M. A. H., Rocha, M. H., Sales, C. A. V. B., ... & Coral, D. D. S. O. (2012). Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. *Biocombustíveis. Interciência*, 1, 411-498. Recuperado de [https://d1wgtxts1xzle7.cloudfront.net/51557288/BiocombustiveisCap06-libre.pdf?1485801562=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGaseificacao\\_e\\_PiROLise\\_PaRa\\_a\\_coNVerSao.pdf&Expires=1731867123&Signature=IWxyR89YphOemMyTDDw~oUSoFYBNI1uoVe-4v6](https://d1wgtxts1xzle7.cloudfront.net/51557288/BiocombustiveisCap06-libre.pdf?1485801562=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGaseificacao_e_PiROLise_PaRa_a_coNVerSao.pdf&Expires=1731867123&Signature=IWxyR89YphOemMyTDDw~oUSoFYBNI1uoVe-4v6)
- Mendes, F. L. (2011). Estudo de pirólise catalítica de biomassa em escala piloto para melhoramento da qualidade do bio-óleo (Dissertação de mestrado, Universidade do Estado do Rio de Janeiro). Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Recuperado de <https://www.bdtd.uerj.br:8443/handle/1/11993>
- Nali, E. C., Ribeiro, L. B. N. M., & Hora, A. B. D. (2016). Biorrefinaria integrada à indústria de celulose no Brasil: oportunidade ou necessidade? Recuperado de <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9578/2/BS%2043%20Biorrefinaria%20integrada%20%c3%a0%20ind%c3%bastr%C3%a0%20de%20celulose%20no%20Brasil.%20 P BD.pdf>
- Rendeiro, G. (2008). Combustão e gasificação de biomassa sólida. Ministério de Minas e Energia (MME).
- Rodrigues, J. A. R. (2011). Do engenho à biorrefinaria: a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química nova*, 34, 1242-1254. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000700024>
- Rovere, B. O., Rodrigues, J. H., & Teleken, J. G. (2020). Redução do índice de acidez através da neutralização e esterificação para produção de biodiesel. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 24678-24686. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-064>
- Santos, C. V. M., Ruzene, D. S., & Silva, D. P. (2017). Aspectos para implantação de uma biorrefinaria como alternativa para melhorar a matriz energética. Anais do IX SIMPROD. Recuperado de <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7602/2/BiorrefinariaMatrizEnergetica.pdf>
- Santos, F. A., Queiróz, J. H. de, Colodette, J. L., et al. (2012). Potencial da palha de cana de açúcar para produção de etanol. *Química Nova*, 35(5), 1004-1010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000500025>
- Sheng, Y., Lam, S. S., Wu, Y., Ge, S., Wu, J., Cai, L., ... & Xia, C. (2021). Enzymatic conversion of pretreated lignocellulosic biomass: A review on influence of structural changes of lignin. *Bioresource technology*, 324, 124631. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124631>
- Silva, L. M. A., Paes, J. L., de Oliveira Cruz, F. A., Vargas, B. C., Pereira, V. R., & de Oliveira Merlo, M. A. (2021). Produção integrada de aquaponia e digestão anaeróbica para geração de biogás em meio urbano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12(3), 440-457. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0036>
- Souza, A. E. C., Cerqueira, D. A., & Cardoso, C. R. (2022). Biorrefinaria para os frutos de *Elaeis guineensis*: uma revisão sobre produção de ecodiesel e gaseificação para tratamento de resíduos. *Research, Society and Development*, 11(11). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33027>
- Van Ree, R. & Annevelink, E. (2007). Status report biorefinery 2007 (No. 847). Agrotechnology & Food Sciences Group. Recuperado de <https://edepot.wur.nl/42141>
- Vaz Junior, S. (2012). As biorrefinarias como oportunidade de agregar valor à biomassa. Recuperado de: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/927542/1/RevistaAgroenergia4SilvioVaz.pdf>
- Wang, F., Peng, W., Zeng, X., Sun, D., Cui, G., Han, Z., ... & Xu, G. (2024). Insight into staged gasification of biomass waste: Essential fundamentals and applications. *Science of The Total Environment*, 175954. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175954>
- Wen, L., Yang, L., Chen, C., Li, J., Fu, J., Liu, G., ... & Cao, Y. (2024). Aplicações de técnicas multiômicas para desvendar o processo de fermentação e o mecanismo de formação de sabor em alimentos fermentados. *Críticas em ciência e nutrição de alimentos*, 64(23), 8367-8383. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2199425>
- Yao, X., Wang, Z., Qian, M., Deng, Q., & Sun, P. (2024). Aspectos cinéticos da esterificação e transesterificação em reatores microestruturados. *Molecules*, 29(15), 3651. <https://doi.org/10.3390/molecules29153651>
- Yusuf, B. O., Oladepo, S. A., & Ganiyu, S. A. (2024). Efficient and Sustainable Biodiesel Production via Transesterification: Catalysts and Operating Conditions. *Catalysts*, 14(9), 581. <https://doi.org/10.3390/catal14090581>