

# Diferentes plataformas de biorrefinarias para produção de biocombustíveis e subprodutos

OLIVEIRA, Elaine Cristina Alves Martins  
ROSA, Laina Pires  
FERNANDES, Brenda Rodrigues

## Resumo

Os recursos convencionais, principalmente os combustíveis fósseis, podem se tornar limitados devido ao acelerado aumento da demanda de energia, causando impactos socioambientais. A biomassa é um recurso renovável ecológico, de onde vários produtos químicos e combustíveis úteis podem ser produzidos, utilizando biorrefinarias. As biorrefinarias representam uma rota promissora para atender as atuais necessidades ambientais e econômicas, uma vez que se pode utilizar resíduos como base para produção de diversos produtos, juntamente com a alcoolquímica, obtendo vários produtos de alto valor agregado, com total aproveitamento.

**Palavra-chave:** energias renováveis, biomassa, alcoolquímica.

## Abstract

Conventional resources, especially fossil fuels, can become limited due to the accelerated increase in energy demand, causing socio-environmental impacts. Biomass is an ecological renewable resource from which various useful chemicals and fuels can be produced using biorefineries. Biorefineries represent a promising route to meet the current environmental and economic needs, since it can use waste as a basis for the production of several products, together with alcohol chemistry, obtaining several products of high added value, with full use.

**Key-words:** renewable energies, biomass, alcohol chemistry.

## Resumen

Los recursos convencionales, especialmente los combustibles fósiles, pueden verse limitados por el aumento acelerado de la demanda energética, provocando impactos socioambientales. La biomasa es un recurso renovable ecológico a partir del cual se pueden producir varios productos químicos y combustibles útiles mediante biorrefinerías. Las biorrefinerías representan una vía prometedora para atender las necesidades ambientales y económicas actuales, ya que los residuos pueden ser utilizados como base para la elaboración de diversos productos, junto con la química del alcohol, obteniendo diversos productos de alto valor agregado, con pleno aprovechamiento.

**Palabras clave:** energías renovables, biomasa, química del alcohol.

## INTRODUÇÃO

O cenário energético mundial demonstra certa instabilidade, devido à dependência, o aumento e o custo dos combustíveis fósseis, juntamente com os efeitos poluidores causados por estes. Desta forma, buscam-se alternativas de fontes de energias que consigam suprir as necessidades da sociedade (IEA-World Energy Outlook, 2016).

Para reorganização de uma economia sustentável são necessárias abordagens completamente novas em pesquisa, desenvolvimento e produção, sendo necessários recursos seguros para a produção industrial (MENON e RAO, 2012).

As biorrefinarias combinam as tecnologias necessárias entre matérias-primas biológicas, intermediários industriais e produtos finais, através da combinação da conversão biotecnológica e química de substâncias presente na matéria-prima. O objetivo principal no desenvolvimento de biorrefinarias é a obtenção de diferentes produtos a partir do uso de biomassas, otimizando a utilização de recursos, minimizando os resíduos, maximizando assim os benefícios e a lucratividade (KAMM e KAMM, *et al.*, 2004, O'KEEFFE *et al.*, 2012).

As biorrefinarias representam uma rota promissora para atender as atuais necessidades ambientais e econômicas, devido aos seus conceitos multiproduto e integrador. Dentro desses conceitos, os blocos de construção de recursos da biomassa (madeira, grama, milho, etc.) são convertidos em produtos de valor agregado, como biocombustíveis, energia e produtos químicos.

Com base em diferentes matérias-primas, existem vários tipos de biorrefinarias. Sendo que os sistemas de biorrefinaria de cereais, ou de culturas, biorrefinação verde e biorrefinaria lignocelulósia, são os mais explorados em pesquisa e desenvolvimento (ECKER *et al.*, 2012).

O presente trabalho tem por objetivo fazer uma revisão sobre os conceitos de biorrefinarias, revisar os processos realizados e abordar os produtos passíveis de serem obtidos nas diferentes biorrefinarias.

## 2. BIORREFINARIAS

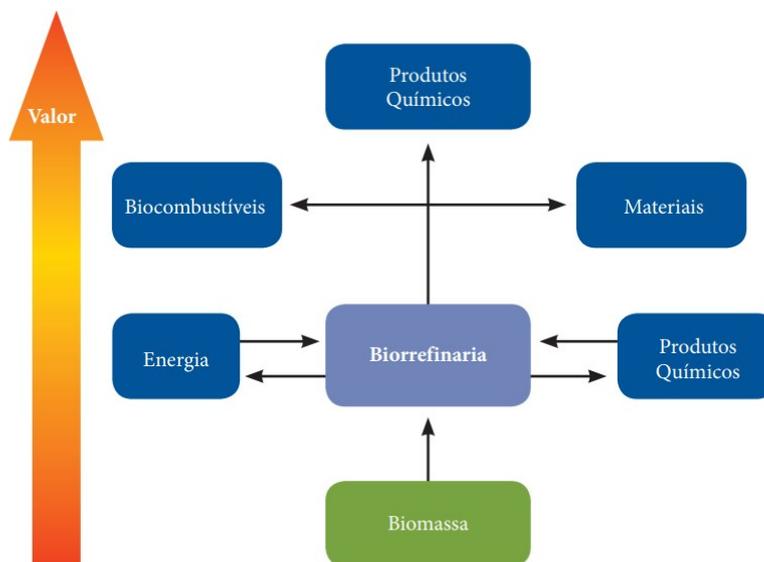
O conceito de biorrefinaria apareceu pela primeira vez na lei agrícola americana em 2002 (Farm Bill), incluindo unidades, equipamentos e processos para converter a biomassa em biocombustíveis, energias e químicos, em vez de simples unidades isoladas que produzem um único produto, mesmo que baseado em matéria-prima renovável (BASTOS, 2012).

Biorrefinaria é uma instalação que integra processos e equipamentos de conversão de biomassa para a obtenção de diferentes produtos como combustíveis, energia, calor e produtos químicos de valor agregado, provenientes da transformação da biomassa, através da combinação entre a conversão biotecnológica e química de substâncias presente na matéria-prima (CLARK *et al.*, 2012).

Segundo Demirbas (2009), o conceito de biorrefinarias é análogo à refinaria de petróleo, sendo considerado como um termo novo, ainda não difundido, possuindo várias definições, encontrando-se em pleno desenvolvimento (NASCIMENTO *et al.*, 2020). De acordo com a American National Renewable Energy Laboratory, departamento de energia dos Estados Unidos, biorrefinarias são todas as indústrias que convertam a biomassa e que a utilizem para produzir: combustíveis, energia ou produtos químicos (NREL, 2015). Para a Sociedade Ibero-Americana para o desenvolvimento das biorrefinarias (SIADEB) a biorrefinaria é uma instalação industrial que procura a utilização integral da biomassa de forma sustentável, para a produção concomitante de biocombustíveis, energia, materiais e produtos químicos, preferencialmente de valor acrescentado.

Fica evidente que a definição do termo biorrefinarias ainda é diversificado, uma vez que há várias definições de diferentes autores, entretanto, a IEA *Bioenergy Task 42* criou uma definição formal para a biorrefinaria como o processamento sustentável da biomassa para a produção de bioprodutos (alimentos, produtos químicos e/ou materiais) e bioenergia (biocombustíveis, energia e/ou calor). Isso mostra que uma biorrefinaria pode ser um conceito, uma instalação, um processo, uma planta ou mesmo um conjunto de instalações que, obviamente, exige a integração de muitas áreas de conhecimento (ENERGY AGENCY, 2012). A figura 1 destaca o potencial econômico dos produtos de uma biorrefinaria.

Figura 1. Diagrama do conceito de biorrefinaria apresentando o potencial de valor agregado dos produtos



Fonte: Sociedade Ibero-Americana para o desenvolvimento das biorrefinarias, 2011.

O setor energético, por meio da produção de biocombustíveis e da geração de energia elétrica, é o que melhor poderá aproveitar as possibilidades técnicas e econômicas das biorrefinarias, juntamente com o setor químico devido à obtenção de produtos com alto valor agregado (VAZ, 2011).

A biorrefinaria extrai produtos químicos e polímeros valiosos da biomassa. As principais tecnologias para esse fim são: (a) refino ou pré-tratamento de biomassa, (b) conversão termoquímica (gaseificação, pirólise, melhoramento hidrotérmico), (c) fermentação e bioconversão e (d) separação e atualização de produtos (DERMIBAS, 2009).

As biorrefinarias podem envolver um amplo conjunto de possíveis tecnologias, não havendo (ainda) uma rota dominante, com muitas oportunidades de inovação. Muitas tecnologias em desenvolvimento empregam conhecimento científico altamente sofisticado proveniente de diversas áreas, notadamente biotecnologia moderna (BASTOS, 2012). Atualmente, três sistemas de biorrefinaria são favorecidos em pesquisa e desenvolvimento. Sendo o primeiro, a biorrefinaria de cereais, que utiliza matérias-primas como cereais ou milho. Em segundo lugar, a biorrefinaria verde, que utiliza biomassa naturalmente úmida, pastagens, alfafa, algas ou cereais imaturos. Em terceiro lugar, a biorrefinaria de matérias-primas lignocelulósicas, que utiliza matérias-primas naturalmente secas e resíduos contendo celulose (KAMM e KAMM, 2004).

## 2. 1 Biorrefinarias de Cereais

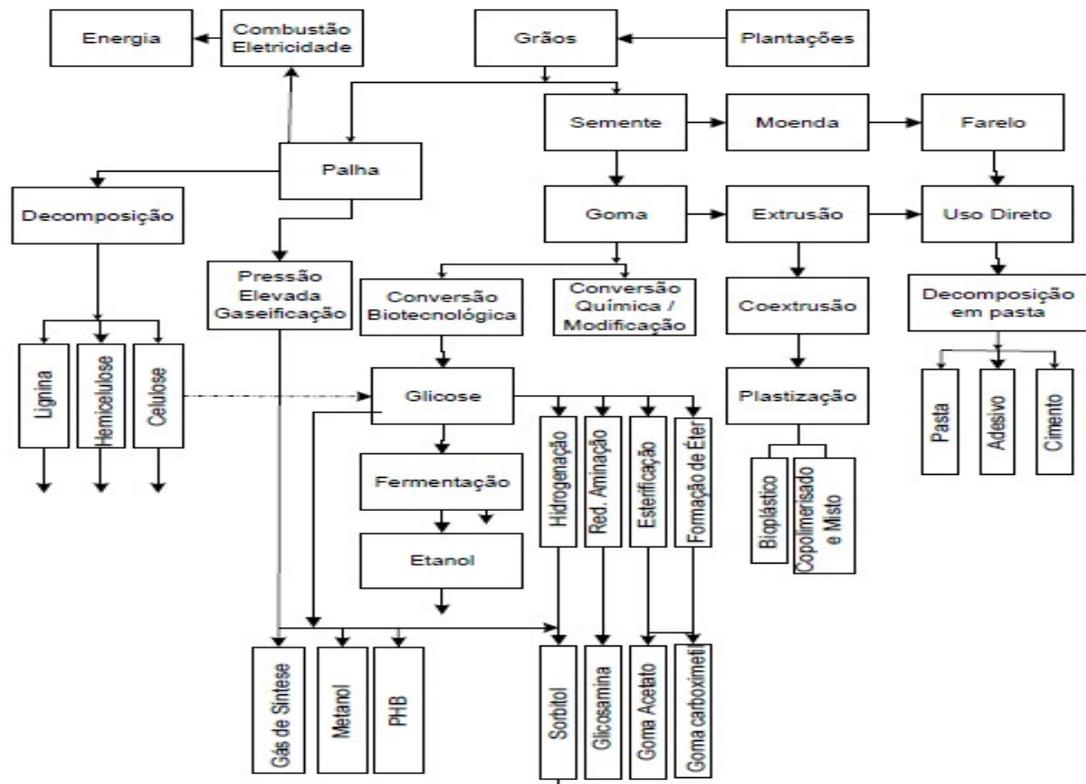
O conceito de biorrefinarias de cereais está ligado à utilização de culturas agrícolas, como centeio, trigo, soja e milho como matérias-primas. Os cereais pertencem a um dos grupos mais ricos quimicamente em energia e estão entre as culturas mais desenvolvidas, tendo sido progressivamente melhorada ao longo dos últimos 10000 anos. Eles foram otimizados continuamente em termos de rendimento, alcançando produções superiores a 10 toneladas por hectares (KOUTINAS *et al.*, 2006).

As biorrefinarias baseadas em cereais têm como objetivo explorar a vasta complexidade dos grãos de cereais, extraindo componentes macro e micro valiosos, a partir do biorrefino de cereais por separação mecânica em uma fração de grãos e palha, onde a porção de grão é aproximadamente 20% em peso e a porção de palha é de 80% em peso, convertendo a fração de amido em produtos da plataforma química como plásticos biodegradáveis e biocombustíveis, através de bioconversões por microrganismo. Esta abordagem visa a redução do desperdício e de custos e a criação de mais mercados (KOUTINAS *et al.*, 2006; KAMM e KAMM, 2004; REE, ANNEVELINK, 2007; GAETE *et al.*, 2020).

O termo macrocomponente incorpora qualquer composto de alto peso molecular (por exemplo, amido, proteína, celulose, hemicelulose, óleo, gomas), enquanto os microcomponentes são definidos como moléculas de peso molecular relativamente baixo (por exemplo, lipídios, vitaminas, minerais). Os processos atuais de fracionamento de cereais (do inglês *current cereal fractionation processes* - CFP) pode ser classificado em operações de moagem a seco e a úmido. A moagem a seco envolve o uso de sucessivas etapas de moagem e peneiração, visando à separação econômica máxima do farelo do endosperma. As operações de moagem a seco são relativamente baratas e resultam na separação incompleta de macrocomponentes. A CFP úmida pode ser geralmente categorizada em processos úmido-aquoso e úmido-não aquoso, resultando na separação seletiva de um ou mais componentes dos cereais (KOUTINAS *et al.*, 2006).

A palha representa uma fração lignocelulósica que pode ser processada separadamente. Espera-se que a biomassa rica em lignocelulose se torne a fonte de biomassa mais importante do futuro, porque se tornará amplamente disponível a custos moderados, onde seu cultivo e uso competem menos com alimentos (REE *et al.*, 2007). A figura 2 representa um esquema geral de uma biorrefinaria onde há o aproveitamento total da cultura.

Figura 2. Esquema de obtenção de produtos a partir de Biorrefinaria de Cereais



Fonte: adaptado de Kamm e Kamm, 2004.

## 2.2 Biorrefinaria Verde

As biorrefinarias verdes (do inglês *Green Biorefineries* - GBR's) são sistemas complexos de tecnologias sustentáveis, amigáveis ao meio ambiente e aos recursos, para um uso abrangente de materiais e energia ou recuperação de matérias-primas renováveis na forma de biomassa verde e de resíduos, tendo como alvo o uso sustentável da terra (KAMM et al., 2016; DIGMAN, et al., 2013), conforme apresentado na figura 3.

**Figura 3. Sistema de biorrefinaria verde para fabricação de alimentos e produtos não alimentares**



Fonte: adaptado de KAMM et al., 2016.

As GBR's submetem a biomassa à pressurização, resultando em uma torta prensada rica em fibras, e um caldo extraído rico em nutrientes. O conceito de GBR difere dos demais pelo processamento da biomassa fresca. Assim a implementação deste tipo de biorrefinarias exige que alguns pontos específicos sejam levados em conta como, por exemplo, um rápido processamento primário ou métodos de preservação para prevenir a degradação dos materiais colhidos (BORGES e TRIERWEILER, 2009).

Os resíduos gerados após o processamento das principais correntes da biorrefinaria verde também são aproveitados para a produção de biogás. Assim, os produtos de valor agregado podem ser produzidos de forma sustentável a partir de uma matéria-prima simples e ampla, que está se tornando cada vez mais um recurso excedente na reestruturação na agricultura (O'KEEFFE et al., 2012).

A principal vantagem da biorrefinaria verde é a utilização de pastagens como matéria-prima, pois estima-se que em todo o mundo 4,9 bilhões de hectares são utilizados para fins

agrícolas, dos quais dois terços são cobertos por biomassa verde, ou seja, aproximadamente 3,3 bilhões de hectares com rendimentos diferentes (FAOSTAT, 2012), tornando-se uma opção viável para a implementação de biorrefinarias em diversas partes do mundo.

A utilização de microalgas como matéria prima da biorrefinaria verde para a produção de biocombustíveis, principalmente biodiesel, tem sido alvo de diversas pesquisas e investimentos.

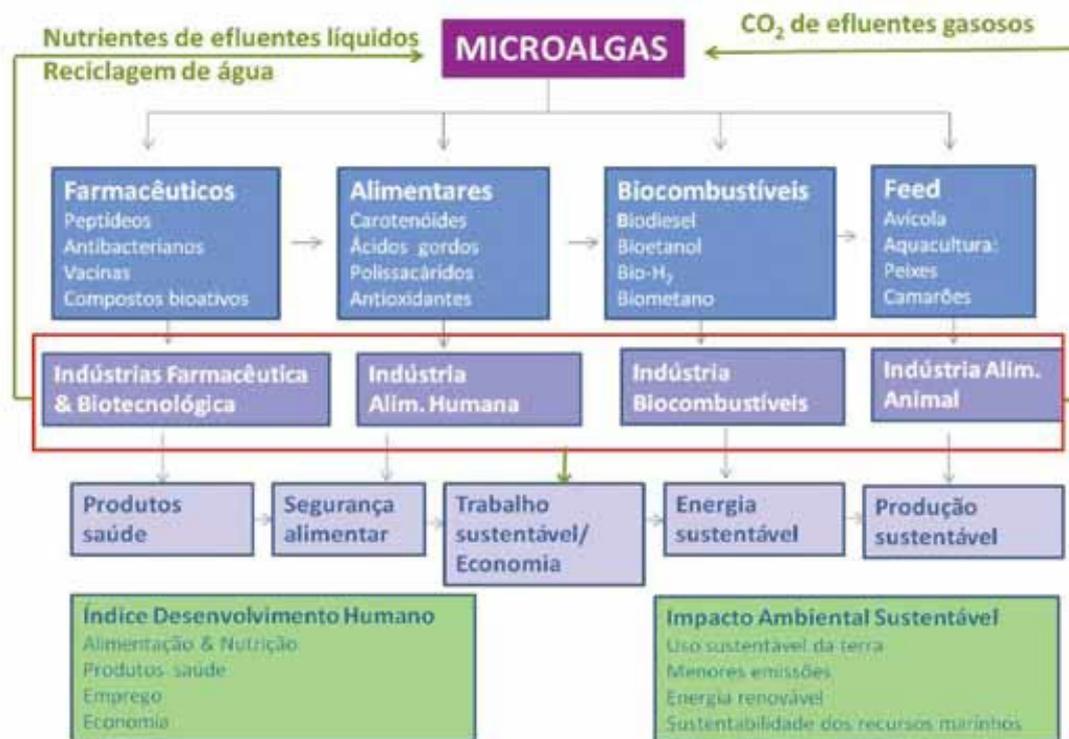
### **2.2.1 Utilização de microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel e subprodutos**

A maioria das microalgas são microrganismos fotossintéticos unicelulares, que possuem uma alta taxa de crescimento celular e de fixação de CO<sub>2</sub>, cerca de 10-50 vezes maior do que as plantas terrestres. A produtividade destes microrganismos fotossintéticos para converter dióxido de carbono em lipídios, matéria prima do biodiesel, excede em muito o de oleaginosas agrícolas (YEN et al., 2013; SUGANYA et al., 2016).

As microalgas são cultivadas em grandes volumes de água, desta forma não há competição por terra arável, minimizando o uso da terra em comparação com os biocombustíveis produzidos a partir de plantas terrestres. Elas também podem ser cultivadas em águas residuais, desta forma sendo usadas para o processo de biorremediação, pois são muito eficientes na remoção de nutrientes da água (HANNON, et al., 2010).

Um estudo feito por Stephens et al., 2010 mostrou que o custo de produção de biocombustíveis por microalgas é relativamente próximo de ser economicamente viável. Esse custo de produção pode ser ainda mais viável ao adotar biomassa de microalgas como matéria-prima para biorrefinaria verde, uma vez que ela pode ser convertida em uma variedade de bioprodutos, como pigmentos, cosméticos, produtos farmacêuticos, alimentos nutritivos e alimentos para animais (OLGUÍN, 2012). A figura 4 apresenta um sistema de biorrefinaria verde com o uso de microalgas.

Figura 4. Sistema de biorrefinaria verde para utilização de microalgas como matéria-prima



Fonte: REIS e GOUVEIA, 2013.

### 2.3 Biorrefinarias Lignocelulósicas

As matérias-primas lignocelulósicas são as fontes mais abundantes de biomassa, que podem ser agrupados em diferentes categorias, como resíduos de madeira, resíduos da indústria de alimentos e resíduos agrícolas (palha, espigas, talos, sementes, bagaço). (KATTYAR, 2015). Em geral, são constituídas em 40-50% de celulose, 25-30% de hemicelulose e 15-20% de lignina e outros componentes extraíveis (MENON e RAO, 2012). As biorrefinarias de lignocelulose são baseadas no fracionamento da biomassa rica em materiais lignocelulósicos, através de pré-tratamentos, como fonte para a produção de correntes intermediárias de celulose, hemicelulose e lignina (BORGES e TRIERWEILER, 2009).

Após os pré-tratamento da biomassa lignocelulósicas, que objetiva a separação da celulose, hemicelulose e lignina, são aplicadas técnicas para a obtenção de produtos com alto valor agregado. A hemicelulose, obtida através da hidrólise da celulose, é utilizada para a produção de xilose, matéria-prima usada para a obtenção de furfural, xilitol, gomas vegetais, ácidos orgânicos, dentre vários outros produtos ((MORAIS et al., 2010).

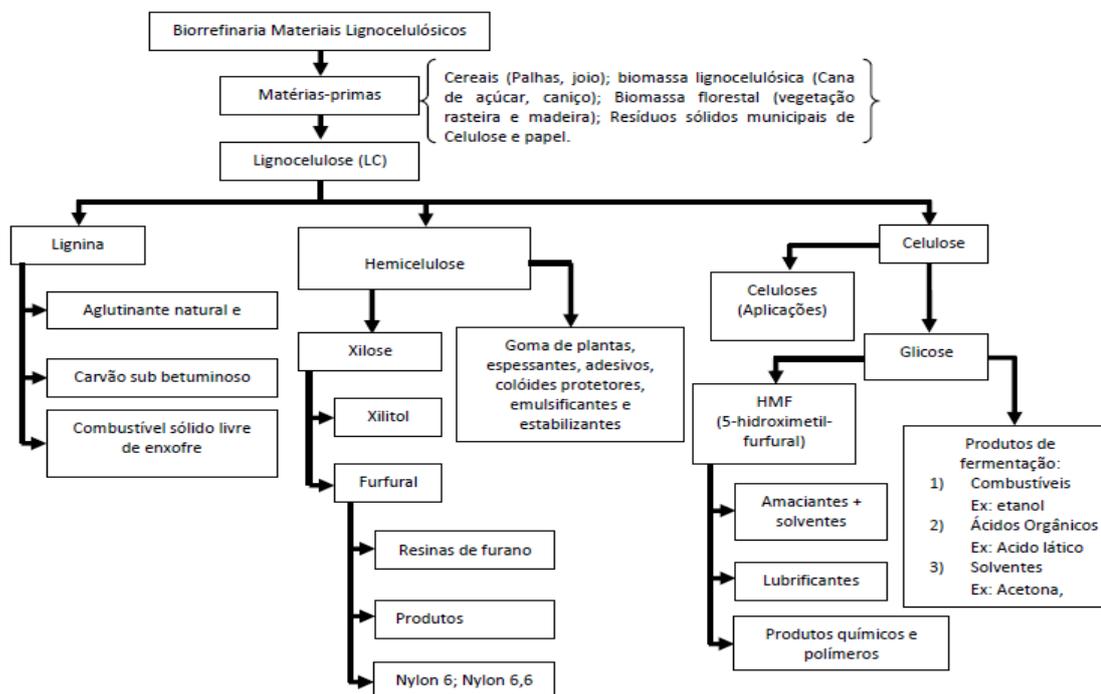
A indústria começou a utilizar a lignina primeiramente em banhos de tanagem para produção de couros em banhos de tintura. Desde então, a lignina vem sendo usada como matéria prima para diversos produtos da indústria, como emulsificantes e vanilina para aplicação em alimentos, em produtos farmacêuticos e perfumaria. Agentes dispersantes em tintas, pesticidas, inseticidas, aditivos para tintas e vernizes (OGATA, 2013).

A maior aplicação desse tipo de biorrefinaria é na produção de etanol celulósico. A vantagem da utilização das biorrefinarias para a produção de etanol celulósico está relacionado também a produção de etanol de segunda e terceira geração.

As biorrefinarias de lignocelulose, quando utilizam biomassa em frações de açúcares, também se classificam como biorrefinarias de dupla-plataforma, ou plataforma de açúcar, ou sucroquímicas, devido à produção de açúcar, para portfólio de potenciais bioprodutos, ao passo que a fração de lignina e os resíduos do processo bioquímico serão termoquimicamente convertidos a gás de síntese através da chamada Plataforma de Gás de Síntese, também conhecida como Termoquímica, produzindo uma gama de produtos originados de biomassas, incluindo calor e energia para satisfazer as demandas internas do processo (KAMM et al., 2016).

Apesar da maior produção de etanol ser destinado ao setor de combustíveis, o uso do etanol não se restringe somente como combustível, mas incorpora o etanol grau químico, a partir da alcoolquímica, convertendo o álcool etílico para a produção de diferentes produtos químicos, que são fontes de matérias-primas (químicas) utilizadas em diversos setores da indústria, desta forma, diversificando aplicação do etanol no mercado (DE PAUL et al., 2012). A figura 5 descreve produtos e coprodutos das biorrefinarias de materiais lignocelulósicos.

Figura 5. Produtos e coprodutos das biorrefinarias de materiais lignocelulósicos



Fonte: DEMIRBAS, 2009.

### 2.3.1 Alcoolquímica

A alcoolquímica é o segmento da indústria química que utiliza de etanol/álcool etílico como matéria-prima para fabricação de diversos produtos químicos, surgindo como alternativa à petroquímica e também à gasoquímica (KAMM et al., 2016).

Boa parte dos produtos químicos derivados do petróleo (petroquímica), pode ser obtida também do etanol/álcool etílico, em particular o eteno, matéria-prima para resinas, além dos acetatos e do éter etílico, diminuindo o impacto gerado por fontes não renováveis e poluentes ao meio ambiente (RODRIGUES et al., 2017).

A alcoolquímica se manteve forte por muitas décadas, mas devido aos baixos preços do petróleo e consolidação da petroquímica, a alcoolquímica acabou perdendo espaço no mercado. Entretanto, as constantes flutuações do preço do petróleo e a preocupação com a poluição e o aquecimento global, aumentam a procura por processos industriais mais eficientes e menos impactantes, incentivando a indústria química a diversificar as suas fontes de matérias primas (SZWARC, 2011).

Dessa forma, alcoolquímica voltou a ser implementada, devido à grande valorização dos produtos químicos produzidos a partir de recursos renováveis. Mesmo que, em nível mundial, 90% das sínteses de moléculas orgânicas ainda sejam à base de petróleo, a alcoolquímica poderá exercer o mesmo papel como fonte de matéria-prima para a indústria química através do etanol (CGEE, 2010).

Na tabela 1 é apresentado um resumo dos compostos químicos obtidos a partir do etanol como matéria-prima.

**Tabela 1 – Principais compostos químicos obtidos por alcoolquímica utilizando etanol**

Composto	Descrição	Uso
<b>Eteno ou etileno</b>	Gás incolor, odor etéreo, levemente adocicado que liquefaz a -103°C e solidifica a -169°C.	Plástico verde e anestésico. Derivados obtidos a partir dele: Cloreto de etileno, epóxido de etileno, etileno glicol.
<b>Acetato de metila</b>	Líquido claro e inflamável, com solubilidade de 25% em água.	Vernizes, colas, adesivos, tintas e esmaltes.
<b>Acetato de etila</b>	Éster simples, incolor e inflamável, que possui alta aplicação industrial, por ser um ótimo solvente e relativamente pouco volátil.	Tintas, vernizes, adesivos, explosivos, produtos farmacêuticos.
<b>Acetaldeído</b>	Líquido incolor, que ferve na temperatura ambiente, possui odor frutífero.	Corantes de anilina, aromatizantes de alimentos, plásticos, borracha sintética, desinfetantes, medicamentos, explosivos, vernizes, resinas fenólicas e de ureias.

Fonte: BARROS, 2017.

### 3. IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O EIA (*Energy Information Administration*) estima que a produção de biocombustíveis possa variar de 3,5 a 6,2 milhões de barris dia<sup>-1</sup> em 2035. A biorrefinaria surge a partir deste ponto. Somente a sinergia entre a produção de bioprodutos e biocombustíveis poderá garantir a viabilidade para alcançar estes números (COUTINHO 2011). Especialistas acreditam que as biorrefinarias irão constituir uma indústria-chave do século XXI, responsável até mesmo por uma nova revolução industrial, em virtude da importância das tecnologias que empregam e dos efeitos sobre o paradigma industrial para produções integradas (BORGES e TRIERWEILER, 2009).

A combinação de uma abordagem interdisciplinar para valorização de resíduos com novas tecnologias tem potencial para provocar um impacto global sobre a gestão de resíduos e indústrias de biotecnologia, alimentos e química (CLARK, et al., 2012). A instalação de biorrefinarias traz vantagens econômicas, pois o aproveitamento total da matéria-prima e a

diversificação de produtos, pode gerar uma diminuição nos custos de produção e conseqüentemente o aumento dos lucros (ALVIM *et al*, 2014).

O Brasil tem presença relevante na produção mundial de biomassa – solo, água, sol e natureza compõem a base de um grande potencial para a produção de bioenergia e bioprodutos, que ganham importância nesse cenário. Reconhecido mundialmente pelo pioneirismo na introdução do etanol em sua matriz energética, tornando-se um dos maiores produtores de álcool a partir da biomassa, "...sendo que 48,4% da matriz energética nacional provêm do uso de recursos renováveis" (EPE, 2021). Foi após a criação do Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL) em 1974 pelo Governo Federal, que o etanol passou a receber atenção dos usineiros como mais um produto além do açúcar. O etanol é uma necessidade para a usina já que não é econômico extrair todo o açúcar contido no caldo de cana (RODRIGUES, 2011).

Cada vez mais investimentos e pesquisas em biorrefinarias estão sendo feitos em setores públicos e privados. A Embrapa Agroenergia, com a implantação de projetos nas plataformas temáticas do Plano Nacional de Agroenergia 2006 - 2011 (Cana-de-açúcar e Etanol; Biodiesel; Florestas Energéticas; Coprodutos e Resíduos) promoveu o desenvolvimento sustentável e a competitividade do agronegócio com a visão integrada de processos, para aplicação em biorrefinarias (OLIVEIRA, 2006).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As biorrefinarias vêm abrangendo a utilização de várias fontes de biomassa, com potencial para produção de bicompostíveis e vários produtos de alto valor agregado. Apesar do conceito de biorrefinaria ser relativamente novo, muitos países estão apostando e investindo em pesquisas para melhorar vários sistemas de biorrefinarias, além das políticas governamentais em todo o mundo, que estão evoluindo para orientar e incentivar os produtores para buscar fontes de produções mais sustentáveis e se engajar em processos mais limpos. Alguns sistemas de biorrefinarias já estão bem consolidados, como é o caso de biorrefinarias lignocelulósicas, entretanto outras ainda precisam de mais pesquisa de adaptações, para uma maior produção de aproveitamento das matérias-primas.

## REFERÊNCIAS

- ALVIM, J. C., ALVIM, F. A. L. S., SALES, V. H. G., SALES, P. V. G., OLIVEIRA, E. M., COSTA, A. C. R. Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos. *Journal of Bioenergy and Food Science*, vol.1(3), p.61-77, 2014.
- BARROS, T. D. B. *Alcoolquímica*. AGAITCE. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe333t7wt4.html>. Acesso dia 02 de junho, 2017.
- BASTOS, V. D. Biorrefinarias, biocombustíveis e química renovável: revolução tecnológica e financiamento. *Revista do BNDES*, Rio de Janeiro, n. 38, dezembro 2012.
- BORGES, F. C., TRIERWEILER, J. O. *Revisão de biorrefinarias e proposta de modelo com estrutura descentralizada*. Seminário do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (8.: 2009 out. 20-23: Porto Alegre, RS. Porto Alegre, RS: UFRGS/PPGEQ, 2009.
- CLARK, J. H., LUQUE, R., MATHARU, A. S. Green chemistry, biofuels, and biorefinery. *Annual review of chemical and biomolecular engineering*, vol. 3, p. 183-207, 2012.
- CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Doutores 2010: estudos da demografia da base técnico-científica brasileira - Brasília. Brasília, DF: CGEE, 2010.
- DEMIRBAS, A. Biorefineries: Current activities and future developments. *Energy Conversion and Management*, vol. 50, p. 2782-2801, 2009.
- DE PAUL, N. M., FUCK, M. P., DALCIN, R. B. *Trajetórias Tecnológicas do Etanol: do Proálcool à Alcoolquímica*, 2012. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a12v33n09/12330907.html>. Acesso em 29 de julho de 2017.
- ECKER, J.; SCHAFFENBERGER, M.; KOSCHUH, W.; MANDL, M.; BÖCHZELT, H. G., SCHNITZER, H., STEINMÜLLER, H. Green biorefinery upper Austria–pilot plant operation. *Separation and purification technology*, vol. 96, p. 237-247, 2012.
- ENERGY AGENCY 2012. Task 42 biorefinery. Definition biorefinery. Disponível em: [http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/upload\\_mm/9/2/4/b08adfdb-8a37-47d3-a58eb7606a5200c6\\_NEWSLETTER%20IEA%20Task%2042%20May%202016.pdf](http://www.iea-bioenergy.task42-biorefineries.com/upload_mm/9/2/4/b08adfdb-8a37-47d3-a58eb7606a5200c6_NEWSLETTER%20IEA%20Task%2042%20May%202016.pdf). Acesso em 02 de junho de 2017.
- EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN 2021. Disponível em <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em 05.10.2022.
- FAOSTAT. Farm Structure Survey, 2012. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em 01 de julho de 2017.
- GAETE, A. V; DE SOUZA TEODORO, C. E; MARTINAZZO, A. P. Utilização de resíduos agroindustriais para produção de celulase: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, p. e567985785-e567985785, 2020.
- HANNON, M., GIMPEL, J., TRAN, M., RASALA, B., MAYFIELD, S. Biofuels from algae: challenges and potential. *Biofuels*, vol.1(5), p.763-784, 2010.

Bioenergia em revista: diálogos. ano/vol. 12, n. 2, jul./dez. 2022. P. 65-81

*Diferentes plataformas de biorrefinarias para produção de biocombustíveis e subprodutos*

OLIVEIRA, Elaine Cristina Alves Martins; ROSA, Laina Pires; FERNANDES, Brenda Rodrigues

IEA – World Energy Outlook 2016. Disponível em:

<https://www.iea.org/media/publications/weo/WEO2016Chapter1.pdf>. Acesso em: 29 de junho de 2017.

KAMM, B.; KAMM, M. Principles of biorefineries. *Applied microbiology and biotechnology*, vol. 64.2, p.137-145, 2004.

KAMM, B., SCHOENICKE, P., HILLE, C. Green biorefinery–Industrial implementation. *Food chemistry*, vol. 197, p. 1341-1345, 2016.

KATTIYAR, P. Modified fractionation process via organic solvents for wheat straw and groundnut shells. *J Fundam Renewable Energy and Appl*, vol. 5(5), p.1-6, 2015.

KOUTINAS, A. A., WANG, R., CAMPBELL, G. M., WEBB, C. A Whole Crop Biorefinery System: A Closed System for the Manufacture of Non-food Products from Cereals. *Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions*, p. 165-191, 2006.

MENON, V., RAO, M. Trends in bioconversion of lignocellulose: biofuels, platform chemicals & biorefinery concept. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38.4, p. 522-550, 2012.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Procedimentos para análise lignocelulósica. Campina Grande: *Embrapa Algodão*, p. 54, 2010.

NASCIMENTO, K. S. do et al. Análise exegética de biorrefinaria de cana-de-açúcar em paralelo a usina sucroalcooleira tradicional. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 70293-70310, 2020.

NREL. NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. *What is biorefinery?* 2015. Disponível em: <http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>. Acesso em 29 de Junho de 2017.

O'KEEFFE, S., SCHULTE, R. P. O., SANDERS, J. P. M., STRUIK, P. C. II Economic assessment for first generation green biorefinery (GBR): Scenarios for an Irish GBR blueprint. *Biomass and bioenergy*, vol. 41, p.1-13, 2012.

OGATA, B. H. *Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em biorrefinarias*. 2013. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”, 2013.

OLGUÍN, E. J. Dual purpose microalgae–bacteria-based systems that treat wastewater and produce biodiesel and chemical products within a Biorefinery. *Biotechnology advances*, vol. 30.5, p. 1031-1046, 2012.

OLIVEIRA, A.J. de; RAMALHO, J. *Plano Nacional de Agroenergia: 2006-2011*. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

REE, R. V; ANNEVELINK, B. Status report biorefinery 2007. *Agrotechnology & Food Sciences Group*, No. 847, 2007.

REIS, A., GOUVEIA, L. Biorrefinarias de microalgas. *Boletim de Biotecnologia*, vol. 3, p.28-29, 2013.

Bioenergia em revista: diálogos. ano/vol. 12, n. 2, jul./dez. 2022. P. 65-81

*Diferentes plataformas de biorrefinarias para produção de biocombustíveis e subprodutos*

OLIVEIRA, Elaine Cristina Alves Martins; ROSA, Laina Pires; FERNANDES, Brenda Rodrigues

RODRIGUES, J. A. R. Do engenho à biorrefinaria. A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Química Nova*, Vol. 34, No. 7, 1242-1254, 2011.

RODRIGUES, M. G.; DA COSTA, F. JOSÉ P. A Alcoolquímica no Contexto da Terceira Revolução Industrial e Tecnológica. *Ciência Atual—Revista Científica Multidisciplinar das Faculdades São José*, vol. 9.1, 2017.

SOCIEDADE IBERO-AMERICANA PARA O DESENVOLVIMENTO DAS BIORREFINARIAS. SIADEB. Disponível em: <http://www.siadeb.org/pt/BrochuraSIADEB-PT.pdf>. Acesso em 29 de junho de 2017.

SUGANYA, T., VARMAN, M., MASJUKI, H. H., RENGANATHAN, S. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: a biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55, p. 909-941, 2016.

STEPHENS E., ROSS I. L., KING Z., MUSSGNUM, J.H., KRUSE, O. POSTEN, C. BOROWITZKA, M. A., HANKAMER, B. An economic and technical evaluation of microalgal biofuels. *Biotechnol Bioeng.*, vol. 8, p. 666 – 672, 2010.

SZWARC A. *Alcoolquímica no cenário futuro da cana-de-açúcar*. Relatório de Qualidade Ambiental 2011 – Governo do Estado de São Paulo, p. 224-228, 2011. Disponível em: [arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/2013/01/cpla-RQA\\_20111.pdf](http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/portalnovomedia/2013/01/cpla-RQA_20111.pdf). Acesso em 03 julho de 2017.

VAZ JR, S. *Biorrefinarias: cenários e perspectivas*. Embrapa Agroenergia, 2011, 176. Disponível em: [http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10778/EMBRAPA\\_Biorrefinarias-Cen%C3%A1rios-e-Perspectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y%3E](http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/10778/EMBRAPA_Biorrefinarias-Cen%C3%A1rios-e-Perspectivas.pdf?sequence=1&isAllowed=y%3E). Acesso em: 02 de junho de 2017.

YEN, H. W., HU, I. C., CHEN, C. Y., HO, S. H., LEE, D. J., CHANG, J. S. Microalgae-based biorefinery—from biofuels to natural products. *Bioresource technology*, 135, 166-174, 2013.

1 OLIVEIRA, Elainy Cristina Alves Martins Graduada em Ciências Biológicas (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade Federal do Tocantins. É Mestre em Agroenergia pela mesma instituição. Tem Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia (Rede BIONORTE). Atua no programa de Pós-Graduação em Agroenergia. Possui experiência nas áreas de: Biocombustíveis, trabalhando no melhoramento de culturas energéticas; Genética, com ênfase em Genética molecular, incluindo estudos em Biodiversidade e Conservação Vegetal; Microbiologia do Solo, com ênfase na diversidade da comunidade microbiana utilizando técnicas independentes de cultivo; Educação e inovação pedagógica. É Professora Adjunta na Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi, atuando como orientadora de alunos monitores (PIP), no PIBIC e no mestrado em Agroenergia. Atuou como membro do Núcleo Docente Estruturante (NDE) de 2012 a 2017. É membro da Comissão Setorial de Avaliação - CSA, do Campus de Gurupi. Está como gerente do Laboratório de Bioquímica e Genética - Gurupi, UFT e como coordenadora do Projeto de Inovação Pedagógica (PIP) no curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia - Gurupi, UFT.

2 ROSA, Laina Pires. Doutoranda em Biotecnologia e Biodiversidade pela Universidade Federal do Tocantins rede BIONORTE. Mestre em Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins - UFT. Possui graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia - UFT. Experiência em docência no ensino superior, durante o mestrado e doutorado na disciplina de Cálculo Diferencial em R, atuando como professor convidado na Universidade Federal do Tocantins. Durante a graduação atuou como monitor nas disciplinas de Geometria Analítica e Álgebra Linear. Durante a graduação teve a oportunidade de participar do programa de iniciação científica PIBIC - CNPq, atuando na área de modelagem matemática. Foi bolsista do programa de iniciação e extensão (PIBEX) com o projeto intitulado Palco RU. Possui Curso de Licenciatura Formação de Docente para a educação básica - em Matemática (2019).

3 FERNANDES, Brenda Rodrigues. Possui graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia pela Universidade Federal do Tocantins (2017). Tem experiência na área de bioquímica, atuando principalmente nos seguintes temas: baculovírus, células de mamífero, viabilidade celular, citotoxicidade e iRNA. Atualmente trabalha como analista de laboratório na empresa Mérieux Nutrisciences Brasil e como professora de Química Analítica e Inorgânica na Faculdade FADESA.