



## BIORREFINARIAS: CONCEITOS, CLASSIFICAÇÃO, MATÉRIAS PRIMAS E PRODUTOS

### BIOREFINERIES: CONCEPTS, CLASSIFICATION, RAW MATERIALS AND PRODUCTS

Jonas Chaves ALVIM<sup>1</sup>, Fernanda Aparecida Lima Silva ALVIM<sup>2</sup>, Victor Hugo Gomes SALES<sup>3\*</sup>, Paulo Victor Gomes SALES<sup>3</sup>, Elisa Maria de OLIVEIRA<sup>4</sup> e Ana Claudia Rodrigues da COSTA<sup>5</sup>

<sup>1</sup> PhD student University of Leeds- Faculty of Biological Sciences, Centre for Plant Sciences. L C Miall Building - Room 9.13/9.14 Clarendon Way, Leeds - LS2 9JT, West Yorkshire. Phone: +44 07404238622, [alvimjc@hotmail.com](mailto:alvimjc@hotmail.com)

<sup>2</sup> Mestra em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas. Av: NS 15 ALC NO 14, 109 Norte - 77001-090. [nandinhallima@hotmail.com](mailto:nandinhallima@hotmail.com)

<sup>3</sup> Estudantes do programa de pós-graduação em Biotecnologia e Biodiversidade (BIONORTE), Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas. Av: NS 15 ALC NO 14, 109 Norte - 77001-090. [victor.sales@ifap.edu.br](mailto:victor.sales@ifap.edu.br); [paulosales@ifto.edu.br](mailto:paulosales@ifto.edu.br)

<sup>4</sup> Estudante do programa de pós-graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi. Rua Badejós Lt.07 Chacara 69/72 Zona Rural Cx postal 66, 77402-970. [elisaengal@hotmail.com](mailto:elisaengal@hotmail.com)

<sup>5</sup> Estudante de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi. Rua Badejós Lt.07 Chacara 69/72 Zona Rural Cx postal 66, 77402-970. [a.claudiacosta@hotmail.com](mailto:a.claudiacosta@hotmail.com)

\*Autor para correspondência: [victor.sales@ifap.edu.br](mailto:victor.sales@ifap.edu.br)

#### INF. ARTIGOS

#### RESUMO

**Convite:** 18 Ago, 2014

**Recebido:** 06 Jan, 2015

**Publicado:** 15 Jan, 2015

**Document Object Identifier**

10.18067/jbfs.v1i3.22

**Editor:** V. H. G. Sales

[jbfs@ifap.edu.br](mailto:jbfs@ifap.edu.br)

ID JBFS0222014

Prot. 0222014E02

Copyright: © 2014

JBFS all rights (BY NC SA)

Em função da crescente demanda de combustíveis e do aumento da emissão de gases do efeito estufa, faz-se necessário cada vez mais o uso de combustíveis limpos e renováveis. Dentre os combustíveis renováveis dois tem o uso atual em larga escala no mundo, o bioetanol e o biodiesel. Um dos principais desafios da cadeia produtiva destes combustíveis é a dependência do preço do produto no mercado, a flutuação do mesmo pode levar empresas a terem grandes perdas. O termo biorrefinarias é amplamente discutido e existem várias definições para o mesmo. A introdução do conceito de biorrefinarias nas usinas produtoras de biocombustíveis pode levar a uma redução de custos, aumento do lucro e independência.

**Palavras-chave:** Biorrefinarias, bioetanol, biodiesel, biohidrogênio, produção conjunta

**ABSTRACT** - Due to the growing demand for fuel and the increased emission of greenhouse gases, it's necessary to increase the use of clean and renewable fuels. Among the renewable fuels there was two with current use is in large scale, bioethanol and biodiesel. One of the main challenges for the production chain of biofuels is the dependence of the product price in the market, the fluctuation of the same can lead companies to have large losses. The term biorefineries is widely discussed and there are several definitions for the same. The introduction of the concept of biorefineries in the plants producing biofuels can lead to reduced costs, increased profitability and independence.

**Keywords:** Biorefineries, Bioethanol, Biodiesel, Biohydrogen, Joint production.

#### Como referenciar esse documento (ABNT):

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*. Macapá, v.1, n. 3, p. 61-77, out./dez. 2014. DOI: 10.18067/jbfs.v1i3.22

#### INTRODUÇÃO

Em função da elevada dependência pelos combustíveis fósseis qualquer redução na

disponibilidade atual de petróleo e seus derivados pode levar a uma crise mundial de combustíveis.

A cada ano o planeta apresenta novos problemas relacionados ao aquecimento global, que está diretamente ligado à emissão de gases do efeito estufa proveniente da queima de combustíveis fósseis.

Em virtude destes fatores faz-se necessária a alteração da matriz energética mundial para uma mais limpa, renovável e sustentável, para isto é necessário o desenvolvimento de novas cultivares além de técnicas e tecnologias para o uso das mesmas visando altos rendimentos e baixos custos.

Dois principais combustíveis renováveis são produzidos hoje no mundo, estes são o bioetanol e o biodiesel, cada qual com suas técnicas e matérias primas.

A introdução do conceito de biorrefinarias nas usinas produtoras de biocombustíveis pode levar a uma redução de custos, aumento do lucro e independência, pois não mais estariam sujeitas às flutuações de mercado do preço de somente um produto, problema este que assola as usinas produtoras de bioetanol a partir da cana-de-açúcar.

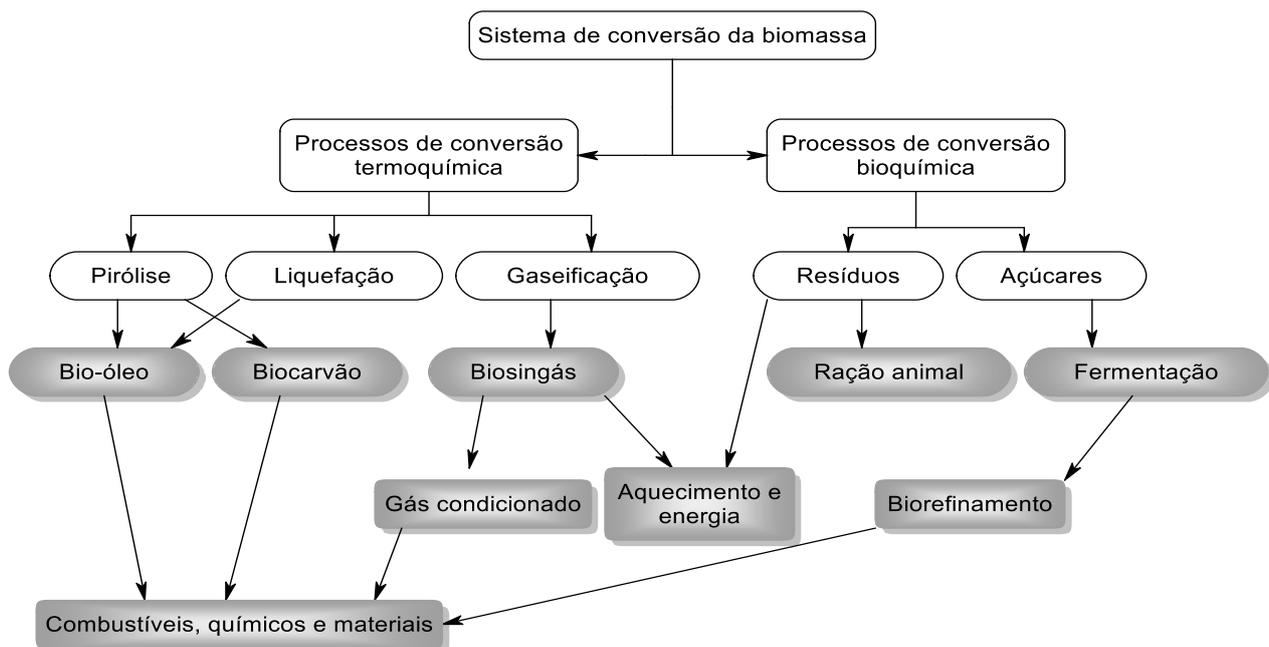
Além de agregar valor e criar novos produtos a partir de material antes considerado lixo, transformando os antes chamados resíduos no que atualmente chamamos de subprodutos.

Assim, este trabalho tem como objetivo agrupar um conjunto de informações acerca dos conceitos de biorrefinarias, os tipos de biorrefinarias, os processos realizados e os produtos passíveis de serem obtidos nas nestas.

## BIORREFINARIAS

O termo biorrefinaria é amplamente discutido e existem várias definições para o mesmo. Diversos autores e órgãos criaram diferentes definições para este termo, no entanto poucas diferenças são encontradas entre as definições atuais. Segundo a American National Renewable Energy Laboratory, biorrefinarias são todas as indústrias que convertam a biomassa e que a utilizem para produzir: combustíveis, energia ou produtos químicos (NREL, 2008). As biorrefinarias são definidas também como sendo o processamento sustentável de biomassa em um espectro de produtos vendíveis (alimentos, rações, materiais, químicos) e/ou energia (combustíveis, eletricidade, calor) (IEA BIOENERGY, 2010).

A principal diferença entre estes dois conceitos apresentados é que o primeiro deles só inclui como biorrefinarias as indústrias e o segundo inclui também os processos. O terceiro conceito a ser discutido é o proposto por Demirbas (2009a), este autor define as biorrefinarias de maneira muito parecida com o primeiro conceito aqui discutido, no entanto ele comenta que as biorrefinarias são análogas as refinarias de petróleo onde múltiplos produtos são obtidos de uma matéria primas, o conceito geral das biorrefinarias pode ser visto na Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama esquemático do conceito de uma biorefinaria (Adaptado de DEMIRBAS, 2009a)

**Figure 1.** Schematic diagram of the concept of a biorefinery (Adapted from Demirbas, 2009a).

As biorrefinarias podem ser classificadas de acordo com o tipo de plataforma utilizada, os tipos de produtos a serem produzidos, a matéria-prima e processos de conversão. Dentre os principais fatores de separação pode-se citar: agrupamento dos produtos em dois grupos principais, os produtos energéticos (bioetanol, biodiesel e combustíveis sintéticos) e os materiais (químicos, comida, ração, etc); o tipo de biomassa pode a obtida das culturas energéticas, das culturas alimentares ou ainda dos resíduos (agroindústrias, florestais ou industriais); os processo de conversão, podem ser bioquímicos (fermentação e conversão enzimática), termoquímicos (pirólise e gaseificação), químicos (hidrólise ácida, transesterificação, etc.) e mecânicos (fracionamento, pressão, etc.), assim pode-se notar que a classificação das biorrefinarias são complicadas e com muitas vertentes, deste modo a sobreposição dos fatores citados pode e deve ocorrer visando a maior diversidade possível (DEMIRBAS, 2009b; IEA BIOENERGY, 2010).

Fica evidente que o conceito de biorefinaria é muito abrangente e engloba todas as vertentes de uso da biomassa, seja para produção de bicombustíveis como para a produção de outros.

As vantagens das biorrefinarias também são amplamente discutidas. Ao produzir diversos produtos as biorrefinarias podem explorar o potencial máximo das biomassas e agregar o maior valor possível a estas, assim aumentando a rentabilidade, reduzindo a demanda energética e reduzindo a emissão de gases do efeito estufa (NREL, 2008). O amplo espectro de produtos reduz também a dependência da produção de somente um produto, aumentando assim a sustentabilidade do uso racional da biomassa, reduzindo a competição existente entre o uso da biomassa para alimentos ou combustíveis (GHATAK, 2011; IEA, 2011).

## **BIORREFINARIAS DE ETANOL**

### *Matérias primas*

O mundo necessita de novas fontes de combustíveis que sejam renováveis e limpas (BANÕES, 2011), o uso de biomassas é uma das mais promissoras dentre estas, o bioetanol é obtido através da conversão da biomassa e aparece como uma maneira eficiente de reduzir o consumo e a dependência de combustíveis fósseis. Por estes motivos hoje o bioetanol é o combustível não fóssil mais utilizado no mundo (DEMIRBAS, 2009c).

O bioetanol pode ser utilizado com aditivo ou substituto da gasolina. É obtido a partir da biomassa por duas rotas de conversão principais: fermentação do açúcar/amido e fermentação da biomassa lignocelulósica. Algumas biomassas não apresentam a necessidade de serem hidrolisadas (fontes sacarinas), no entanto outras necessitam ter os monossacarídeos disponibilizados antes de serem fermentados, por exemplo, as biomassas amiláceas e lignocelulósicas (IEA, 2011).

Huang et. al (2009) em seu trabalho discute os diversos processos e matérias primas possíveis para obtenção do bioetanol nas biorrefinarias, no entanto ele não discute o etanol obtido de fontes sacarinas.

Visando liberar os açúcares fermentescíveis é necessário que antes da fermentação algumas biomassas sofram um processo chamado hidrólise (LIMA, 2001; IEA, 2011) que pode ser ácida (ácidos são utilizados para quebrar as ligações químicas) ou enzimática (realizada por enzimas produzidas por microorganismos, estas atuam sobre as ligações químicas).

Diversas matérias-primas podem ser utilizadas para a produção de bioetanol, usualmente as mais utilizadas são as culturas dedicadas (são as culturas normalmente utilizadas para a alimentação), resíduos agrícolas, biomassa proveniente da madeira e as microalgas (GHATAK, 2011).

A energia da biomassa é uma fonte promissora de energia renovável, mas a matéria-prima utilizada para produzi-la deve vir de culturas não alimentares ou de resíduos agrícolas (matéria-prima de segunda geração), para evitar a concorrência com fontes de alimento e terras aráveis. A segunda geração de biocombustíveis principalmente utiliza materiais lignocelulósicos para a produção de combustíveis líquidos (etanol e butanol) ou combustíveis gasosos (hidrogênio ou metano) (DATAR et al., 2007).

a) Fontes sacarinas e amiláceas usadas em biorrefinarias

Os chamados combustíveis de primeira geração são aqueles obtidos das culturas dedicadas, usualmente estas culturas são utilizadas na alimentação, humana e animal. Nos Estados Unidos a principal cultura dedicada é o milho, já no Brasil nós temos a cana-de-açúcar (GHATAK, 2011; HOEKMAN, 2009).

Nestas culturas os açúcares podem estar livres ou parcialmente livres, como por exemplo,

nas fontes sacarinas, como é o caso da cana-de-açúcar e da beterraba sacarina; podem estar também na forma de amido (polímero de glicose que as plantas sintetizam para armazenar energia), como nas fontes amiláceas, dentre estas podemos citar o milho, a mandioca e a batata (HALFORD, 2010).

#### b) Fontes lignocelulósicas usadas em biorrefinarias

É possível a obtenção do bioetanol das chamadas fontes lignocelulósicas, neste caso é necessário que a celulose e hemicelulose sejam convertidas em açúcares fermentescíveis, seja por ação química ou biológica (IEA, 2011).

As fontes lignocelulósicas não são encontradas em abundância e não são utilizadas como alimento pelos seres humanos (GHATAK, 2011).

A celulose é rica em açúcares facilmente fermentescíveis, em sua maioria a glicose, no entanto a hemicelulose é composta também por pentoses (xilose, arabinose) as quais não são fermentadas pelos organismos usualmente utilizados na indústria de biocombustíveis (RAGAUSKAS, 2006).

A matéria-prima lignocelulósica pode ser derivada do ecossistema (florestas, ecossistema aquático), pode ser produzida através de culturas (gramíneas perenes) ou ainda obtida de resíduos (agroindústrias), e os combustíveis obtidos a partir desta são conhecidos como os de segunda-geração ou combustíveis avançados (IEA, 2010; IEA, 2011; SIMS, 2010).

Deste modo fica evidente que as biorrefinarias a partir de materiais lignocelulósicos usam um "mix" de fontes de biomassa para a produção de uma série de produtos por meio de combinação de tecnologias, consistindo de três frações básicas: hemicelulose, celulose e lignina (SANTOS et al, 2012).

Segundo Pereira Júnior et al. (2008), a utilização da biomassa lignocelulósica é fundamentada em duas plataformas distintas: plataforma termoquímica e plataforma de açúcar, ambas plataformas objetivando a produção de combustíveis, produtos químicos, polímeros e materiais.

A conversão da biomassa lignocelulósica por processo termoquímico inclui os processos de pirólise, gaseificação e liquefação, todos esses processos finalizam com a produção de biocombustíveis renováveis e produtos químicos (DEMIRBAS, 2009a).

A biomassa lignocelulósica pode ser convertida em biocombustíveis e os metabólicos secundários são produtos com alto valor e econômico, tais como: gomas, resinas, ceras, terpenos, esteróides, taninos, ácidos, alcalóides de plantas. Os metabólicos secundários podem ser utilizados para a produção de produtos químicos de alto valor, tais como: flavorizantes, rações, produtos farmacêuticos, cosméticos e nutracêuticos, usando técnicas de processamento integrado (NAIK et al, 2010).

Segundo Goh (2010), nos últimos anos foi iniciada em diversas partes do mundo a instalação de biorrefinarias lenho-celulósicas. No entanto, as biorrefinarias ainda não são amplamente e comercialmente viáveis em todos os países em termos de capital e custo operacional.

#### c) Biomassa aquática usadas em biorrefinarias

As mais recentes tecnologias para obtenção de biocombustíveis, os chamados de terceira geração, utilizam como matérias-primas fontes antes nunca exploradas, como por exemplo, as microalgas.

Microalgas são consideradas um dos organismos mais antigos do planeta, e estão dispersos em quase toda sua superfície, nos mais diversos ambientes e nas mais diversas condições (MATA, 2010).

Algas apresentam três mecanismos de produção distintos para o crescimento: fotoautotrófico, heterotrófico e mixotrófico. Podendo assim fixar o carbono e produzir tanto lipídeos quanto açúcares, são ricas em proteínas, esse conjunto de características faz com que possam vir a ser utilizadas como fontes para fermentação e conseqüente produção de bioetanol. (SINGH, 2010)

O uso desta biomassa desperta atenção, pois em teoria o uso de microalgas não compete com a disponibilidade das commodities alimentares e muitas acreditam que esta é uma fonte sustentável (GHATAK, 2011).

### PRODUTOS DAS BIORREFINARIAS DE ETANOL

Como foi apresentado anteriormente, para que a produção de bioetanol se encaixe no conceito das biorrefinarias, em conjunto a sua produção usual (biocombustíveis), é necessária a obtenção de outros produtos de valor agregado, podendo ser: alimentos, materiais, químicos e etc.

Diversos produtos podem e devem ter sua produção explorada nestas biorrefinarias, estes podem ser: químicos (adesivos, detergentes, tintas, lubrificantes, ácido e etc.), materiais (fibras, papel, gomas e etc.) ou alimentícios (rações, glúten e etc.) (GHATAK, 2011).

Os produtos que podem ser obtidos a partir das frações lignocelulósicas estão representados na Figura 2.

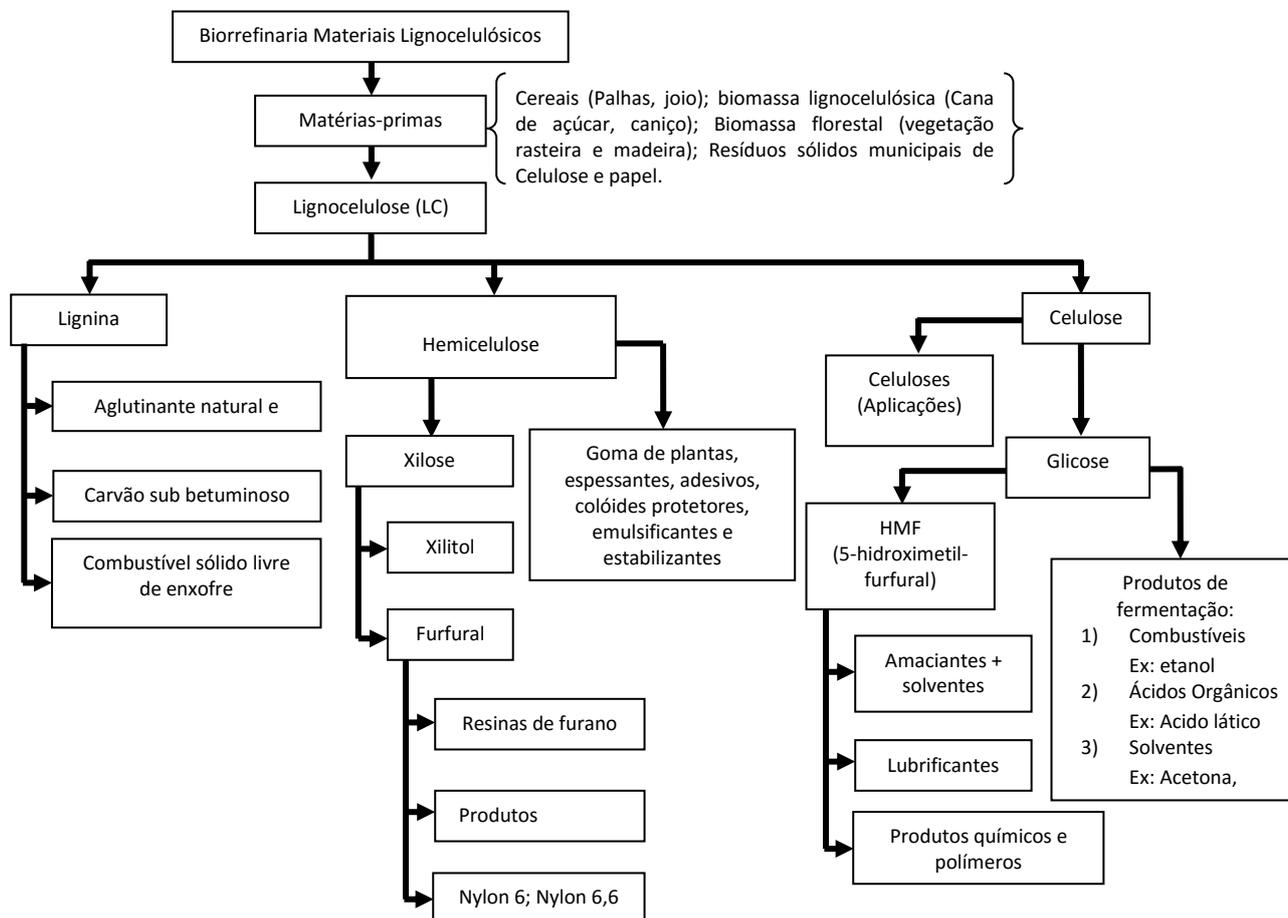


Figura 2. Produtos e co-produtos das biorrefinarias de materiais lignocelulósicos. (Adaptado de DEMIRBAS, 2009a).  
 Figure 2. Products and co-products from refineries of lignocellulosic materials. (Adapted from Demirbas, 2009a)

Demirbas (2009a) relaciona os principais produtos químicos obtidos a partir do fracionamento de madeira ou biomassa vegetal da amostra que são:

- A dissociação dos componentes celulares - **Fragmento de lignina + Oligossacarídeos + celulose;**
- A hidrólise de celulose (Sacarificação) - **Glicose;**
- A conversão de glicose (fermentação) - **Etanol + ácido láctico;**
- Degradação química da celulose - **Ácido Levulínicos + Xilitol;** e

- Degradação química da lignina - **Produtos Fenólicos.**

Matérias-primas biorenováveis podem ser utilizadas nas formas sólidas ou convertidas nas formas líquidas ou gasosas para a produção de energia elétrica, calor, químicos e combustíveis gasosos ou líquidos (DEMIRBAS, 2008; GONZALEZ et al, 2008).

*Produção de Bioetanol a partir de biomassa lignocelulósica*

Hill et al, (2006) destaca que para um biocombustível ser uma alternativa viável, esse deve proporcionar um ganho líquido de energia, benefícios ambientais, seja economicamente competitivo e ser reproduzível em grandes

quantidades sem redução do fornecimento de alimentos.

Menon e Rao(2012) destacam que o desenvolvimento dos biocombustíveis de segunda geração a partir de biomassa lignocelulósica tem muitas vantagens quando comparado com os biocombustíveis de primeira geração que são derivados principalmente de culturas alimentares, podendo a vim criar muitos problemas que vão desde as perdas de energia líquida para a emissão de gases de efeito estufa bem como o aumento nos preços dos alimentos.

Para Hill et al (2006) a conversão eficiente de materiais lignocelulósicos (LCMs) em etanol combustível se tornou uma prioridade mundial para a produção ecológica de energia renovável a um preço razoável para o setor de transportes. O Etanol combustível pode ser utilizado para melhorar o seu teor de oxigênio, permitindo uma melhor oxidação de hidrocarbonetos e redução da quantidade de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera.

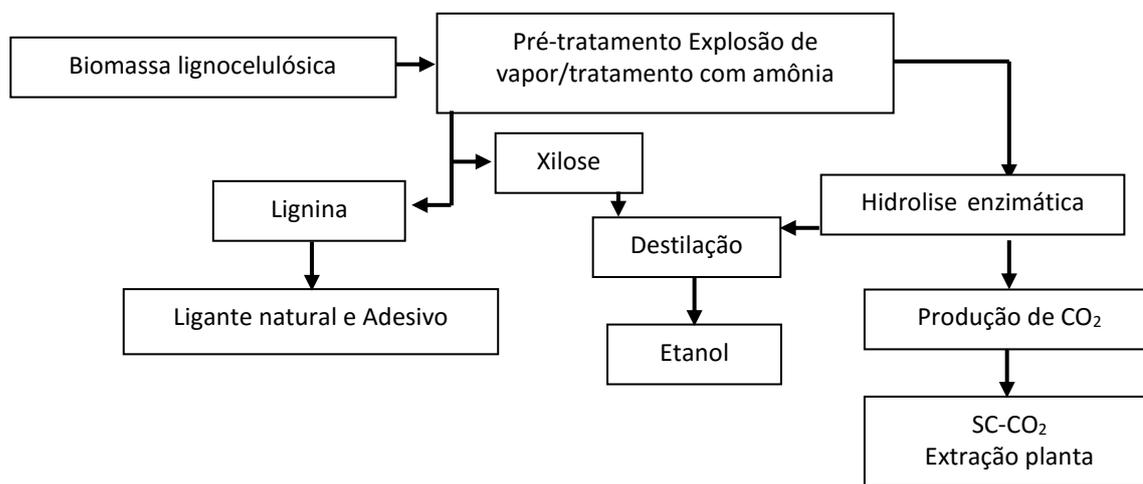
Alternativamente, a bioconversão de material lignocelulósico em etanol combustível poderia fazer uso de abundantes fontes renováveis, mas em grande parte ainda inexplorada, tais como os resíduos agrícolas (palha de milho, bagaço de cana, trigo e palha de arroz,

etc) e resíduos florestais (como serragem) (INGRAM e DORAN, 1995; ZALDIVAR et al, 2001).

Uma razão adicional para a introdução de resíduos agrícolas como potenciais fontes de energia renováveis é que os métodos atuais para a sua alienação têm causado preocupações ambientais (ZABANIOTOU et. al, 2008).

Um fator importante para vencer os obstáculos que impedem a produção rentável do bioetanol a partir de lignoceluloses seria melhorar a tecnologia na fase de pré-tratamento que tem o objetivo de solubilizar a hemicelulose (HENDRIKS e ZEEMAN, 2009). Embora existam inúmeras tecnologias de pré-tratamento essa etapa tornou-se o maior componente de custo do processo de obtenção do bioetanol (MOSIER et al, 2005; KIM e HONG, 2001).

A conversão das unidades da biomassa para combustíveis líquidos tais como o etanol requer um número de operações unitárias básicas, incluindo pré-tratamento, a hidrólise enzimática, destilação e recuperação do etanol estão representados na Figura 3 dá detalhes dos passos necessários para a conversão de biomassa lignocelulósica ao etanol e utilização dos produtos intermédios para os produtos químicos de valor acrescentado.



**Figura 3.** Operações unitárias para a obtenção de álcool a partir de biomassa lignocelulósica (Adaptado de NAIK, 2010).

**Figure 3.** Unit operations for obtaining ethanol from lignocellulosic biomass (Adapted Naik, 2010).

### Produção de ácido succínico

A produção de ácido succínico é considerada uma das plataformas químicas mais importantes, este ácido é amplamente utilizado

(aditivos alimentares, tintas, plásticos) por este motivo tem bom valor agregado (LYKO, 2009).

Diversos trabalhos mostram que a produção deste ácido a partir de fontes renováveis é possível, pois o microrganismo *Actinobacillus succinogenes* (dentre outros) fermenta açúcares

dando origem ao mesmo, podendo assim substituir a obtenção deste ácido a partir do petróleo (ISAR, 2006; ZHENG, 2010; ZHENG, 2009).

Orjuela et al. (2011) em seu trabalho apresenta uma plataforma para obtenção conjunta de ácido succínico e etanol além de sumarizar diversos métodos para recuperação deste ácido.

Pode-se concluir então que esta plataforma se mostra cada vez mais viável e interessante.

#### *Uso da biomassa lignocelulósica para diversos produtos*

O material lignocelulósico, principalmente a madeira, pode ser convertido em diversos materiais e químicos, além da produção de etanol. Os principais produtos obtidos são fibras, plásticos sintéticos, borracha e papel. Além de diversos gases obtidos pelo processo de gaseificação (DEMIRBAS, 2009b).

Pode-se citar também a obtenção de xilanas a partir desta biomassa residual, a aplicação deste químico é reconhecida na indústria de alimentos, novos materiais e na biotecnologia (SEDLMEYER, 2011).

Bludowsky (2009) apresenta em seu trabalho uma alternativa para produção de gases sintéticos em biorrefinarias com temperaturas muito reduzidas em relação ao processo de gaseificação convencional.

#### *Uso da biomassa lignocelulósica para obtenção de biohidrogênio*

A obtenção de hidrogênio pela fermentação do bagaço de cana-de-açúcar é um processo muito conhecido e estudado e é uma alternativa para utilização do resíduo da produção de bioetanol (SINGH, 2007).

Muitos autores têm investigado a produção de hidrogênio biológico. Em geral, existem duas maneiras para produzir hidrogênio, primeiro utilizando organismos vivos fotossintéticos (como bactérias fotossintéticas, cianobactérias e algas verdes) e, segundo, por organismos fermentativos (anaeróbios estritos e anaeróbios facultativos) (KUMAR et al, 2000).

A produção de hidrogênio apresenta ser importante alternativa de combustível livre de poluição gasosa para o futuro. Entre as diferentes vias de produção de hidrogênio os processos de produção tanto fotossintética (DAS e VEZIROĞLU, 2001) e com microrganismos fermentativos

(TAGUCHI et al, 1996; YOKOI, 1995) são os mais utilizados.

Kumar e Das (2001) relata que os processos que utilizam microrganismos fermentativos necessitam de melhoras significativas para a sua exploração comercial e que a taxa de produção de hidrogênio utilizando microrganismos fermentativos pode ser melhorada através do desenvolvimento de estirpes microbianas e também por melhoria na densidade celular pela imobilização das células.

O principal obstáculo para a comercialização de bioH<sub>2</sub> é o alto custo de produção e, portanto, há uma necessidade urgente de chegar a estratégias que podem torná-lo economicamente mais viável (CHENG, et al, 2011).

Das e Veziroğlu, (2001) relacionam os processos de produção de biohidrogênio em:

1. Biofotólise da água usando algas e cianobactérias;
2. Foto decomposição de compostos orgânicos por bactérias fotossintéticas;
3. Produção fermentativa de hidrogênio a partir de compostos orgânicos; e
4. Sistemas híbridos usando fermentação e bactérias fotossintéticas.

Cheng et al. (2011) realizou um levantamento bibliográfico sobre a utilização de diferentes matérias-primas para a produção de Biohidrogênio com diferentes fontes de matérias-primas as quais estão resumidas na Tabela 1.

#### *Produção de Metano a partir de materiais lignocelulósicos*

Segundo Chandra, Takeuchi e Hasegawa (2012) a produção de metano a partir de uma variedade de resíduos biológicos através da tecnologia de digestão anaeróbia está crescendo em todo o mundo e é considerado ideal em muitos aspectos, por causa de seus benefícios econômicos e ambientais.

#### *Produção de Metano a partir de materiais lignocelulósicos*

Segundo Chandra, Takeuchi e Hasegawa (2012) a produção de metano a partir de uma variedade de resíduos biológicos através da tecnologia de digestão anaeróbia está crescendo em todo o mundo e é considerado ideal em muitos aspectos, por causa de seus benefícios econômicos e ambientais.

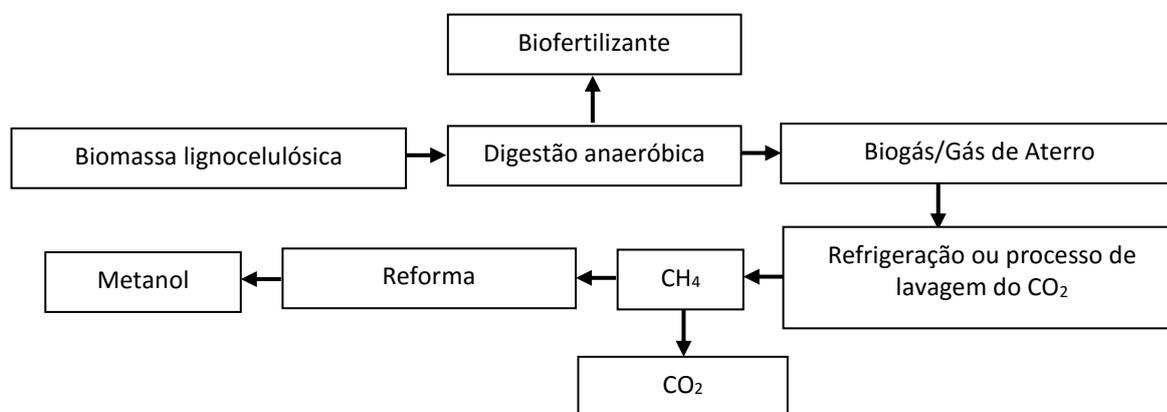
Dois dos fatores mais importantes a serem considerados quando da aplicação de fermentação do material lignocelulósico para a produção de metano são: a velocidade e a biodegradabilidade do material, os quais demonstram que quanto mais rápido for a degradabilidade da biomassa menor o tamanho do reator para a reação e conseqüentemente menor o custo, tornando dessa forma o processo economicamente mais atrativo. Ambos os fatores são funções das propriedades intrínsecas do material lignocelulósico em si e dos microorganismos envolvidos (TONG et al, 1990).

Segundo NAIK et al (2010) ao utilizar resíduos de biomassa lignocelulósica através do processo de digestão anaeróbica haverá a geração de combustível líquido e biofertilizante para

produção agrícola. O conceito biorefinaria de digestão anaeróbica da biomassa está representado na Figura 4

#### BIORREFINARIAS DE BIODIESEL

Há um grande interesse no biodiesel por causa de sua origem renovável, bem como as reduções das emissões do GEE. Além disso, há um conjunto substancial de evidências mostrando que o uso de biodiesel (e suas misturas com o diesel) tem um efeito benéfico forte e consistente sobre as emissões de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e material particulado (HOEKMAN e ROBINS, 2012).



**Figura 4.** Representação digestão anaeróbica (Adaptado de NAIK, 2010).

**Figure 4.** Anaerobic digestion representation (Adapted from NIKE, 2010).

Van Gerpen (2005) destaca que embora o biodiesel não substitua inteiramente à base de petróleo combustível, há pelo menos cinco razões que justificam o seu desenvolvimento, sendo elas:

- Ele fornece um mercado para a produção a partir do excesso de óleos vegetais e gorduras animais;
- Ela diminui, apesar de não eliminar, a dependência do país do petróleo importado;
- Biodiesel é renovável e não contribui para o aquecimento global devido ao seu ciclo de carbono fechado;
- Redução nas emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos e de materiais particulados, mas um ligeiro aumento na emissão de óxidos de nitrogênio; e

- Quando adicionado ao diesel convencional melhora a lubricidade do combustível.

Em contraste, esses combustíveis podem apresentar desafios técnicos, tais como: combustão incompleta, emissões elevadas de NOx, em temperaturas frias entupimento, ponto de fluidez altos e baixa volatilidade (ATADASHI et.a,l 2012).

A técnica mais comum para a produção de biodiesel é a transesterificação, que se refere a uma reação química catalisada de óleo vegetal com um álcool para produzir ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerol. (MA e HANNA, 1999; SRIVASTAVA e PRASAD, 2000; KNOTHE, VAN GERPEN e KRAHL, 2005; VAN GERPEN, 2005; HILL et al., 2006; MITTELBACH e REMSCHMIDT, 2006; HOEKMAN e ROBINS, 2012).

Hoje em dia, as matérias-primas mais empregadas na produção de biodiesel são os óleos

de canola, soja, girassol e palma, com a tecnologia convencional estes óleos devem ser altamente refinados, antes da sua utilização, para a eliminação de ácidos graxos livres e formação de sabões. Outras fontes de óleos mais baratos que não competem com os alimentos foram recentemente considerados como possíveis candidatos de matéria-prima para o futuro. Em particular, óleos de algas, de resíduos, óleos a partir de pinhão manso (SANTACESARIA et al, 2012).

Segundo Skarlis e colaboradores (2011) a seleção das matérias-primas - primeira ou segunda geração, culturas específicas, etc - afetam não apenas o desempenho financeiro de uma planta, mas também várias outras avaliações ambientais, bem como o design das instalações de produção.

### **PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS**

Hill et al. (2006) afirma que a produção de biodiesel a partir de biomassa residual agrícola teria benefícios ambientais que excedem as suas vantagens econômicas. Parikka (2004) e Yousuf (2012) relacionam outros benefícios do uso da biomassa de resíduos agrícolas que são: a estabilização dos rendimentos dos agricultores e a ajuda para manter e melhorar a sustentabilidade ecológica e social.

Embora a bioconversão de resíduos lignocelulósicos em etanol ou butanol foi realizada com sucesso, a técnica para produzir biodiesel a partir de materiais lignocelulósicos ainda representa um grande desafio. As principais fontes dos recursos vêm dos resíduos gerados por empresas agrícolas, florestais e de fontes industriais (YOUSUF, 2012).

Segundo Hossain e Badr (2007) nem todos os resíduos de biomassa lignocelulósica podem ser utilizados para a energia. Em alguns casos, a sua larga dispersão ou suas baixas densidades a granel tornam o transporte, recuperação e o armazenamento muito dispendioso.

### **PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DE MICRO E MACRO ALGAS**

Recentemente, a viabilidade do uso de algas (matéria-prima de terceira geração) para a produção de biocombustíveis tem recebido mais atenção (LEE et al., 2010; SINGH e CU, 2010).

O uso de matéria-prima tradicional tais como óleos vegetais, pode resultar em uma escassez de óleo comestível e aumento dos preços

dos alimentos. Portanto, nos últimos anos, os investigadores têm procurado fontes alternativas, tais como óleos microbianos, também conhecidos como óleos de única célula (SCOs), que consistem de lipídeos produzidos por microrganismos oleaginosos, incluindo leveduras, fungos e microalgas (YOUSUF, 2012; GALAFASSI et al, 2012).

Brennan e Owende (2010) relacionam as principais vantagens da utilização de microalgas na produção de biocombustíveis, sendo elas:

- Microalgas são capazes de produzir óleo o ano todo e a produtividade de biodiesel excede os melhores rendimentos das oleaginosas;
- Crescem em meio aquoso, mas necessitam de menos água que as culturas terrestres, portanto reduzindo a carga sobre as fontes de água doce;
- Microalgas podem ser cultivadas em água salobra e em terras não cultiváveis, minimizando os impactos ambientais;
- Microalgas têm um potencial de crescimento rápido e muitas espécies têm teor de óleo na faixa de 20-50% de peso seco;
- A produção de biomassa de microalgas efetua biofixação do CO<sub>2</sub>;
- Os nutrientes para o cultivo de microalgas (especialmente nitrogênio e fósforo) podem ser obtidos a partir de águas residuais, além de proporcionar meio de crescimento, existe potencialidade na utilização para o tratamento de efluentes orgânicos da agroindústria;
- O cultivo de algas não exige utilização de herbicidas e nem pesticidas;
- Podem também produzir valiosos co-produtos tais como proteínas e biomassa residual depois da extração do óleo, o qual pode ser utilizado como alimento ou fertilizantes, ou passar por processo de fermentação para produção de etanol ou metano;
- A composição bioquímica da microalga pode ser melhorada por variação das condições de crescimento, aumentando dessa forma o rendimento na produção de óleo;
- Microalgas são capazes de produzir Biohidrogênio.

**Tabela 1.** Diferentes matérias-primas para a produção de Biohidrogênio.  
**Table 1.** Different raw materials for the production of hydrogen.

Geração dos biocombustíveis	Matérias-primas	Microrganismos	Tipo de Fermentação	Produção	Referencias
Matéria-prima de 1ª geração	Glicose	<i>Thermotoga marítima</i>	Batelada	1.67 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Nguyen et al. (2008)
	Glicose	<i>Thermotoga neapolitana</i>	Batelada	1.84 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Nguyen et al. (2008)
	Glicose	Microflora mista	CSTR	2.1 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Fang e Liu (2002)
	Glicose	Lodos Ativados	AGSB	1.4 -1.5 mol H <sub>2</sub> /mol glicose	Hung et al. (2007)
	Maltose	Lodos Ativados	Batelada	180 mL H <sub>2</sub> /g maltose	Zhao et al. (2010)
	Sacarose	Lodos Ativados	AGSB	3.42 mol H <sub>2</sub> /mol sucrose	Lo et al. (2009)
	Sacarose	Microflora mista	ASBR	2.53 mol H <sub>2</sub> /mol sucrose	Chen et al. (2009)
	Amido	Lodos Ativados	CSTR	2.32 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Akutsu et al. (2008)
	Amido	Lodos Ativados	CSTR	2.32 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Akutsu et al. (2008)
Geração dos biocombustíveis	Matérias-primas	Microrganismos	Tipo de Fermentação	Produção	Referencias
Matérias-primas de 2ª geração.	Palha de milho	<i>Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum</i> W16	Batelada	2.24 mol H <sub>2</sub> /mol hexose	Cao et al. (2009)
	Palha de milho	<i>Clostridium butyricum</i> AS1.209	Batelada	68 ml H <sub>2</sub> /g palha de milho	Li and Chen (2007)
	Palha de milho	Lodos Ativados	Batelada	1.53 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Liu e Cheng (2010)
	Palha de trigo	Microflora Mista	Batelada	68.1 ml H <sub>2</sub> /g TVS	Fan et al. (2006)
	Palha de trigo	Microflora Mista	Batelada	68.1 ml H <sub>2</sub> /g TVS	Fan et al. (2006)
	Palha de trigo	Lodos Ativados	UASB	212.0 ml H <sub>2</sub> /g açúcar	Kongjan e Angelidaki (2010)
	Farelo de arroz	Microflora mista	CSTR	0.98 mol H <sub>2</sub> /mol hexose	Noike (2002)
	Bagaço da cana	<i>Clostridium butyricum</i>	Batelada	1.73 mol H <sub>2</sub> /mol hexose	Pattra et al. (2008)
	Sorgo Sacarino	<i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	Batelada	2.6 mol H <sub>2</sub> /mol hexose	Panagiotopoulos et al. (2010)
	Casca de batata	<i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	Batelada	2.4–3.8 mol H <sub>2</sub> /mol Glicose	Mars et al. (2010)
	Folhas de álamo	Microflora mista	Batelada	15.04–44.92 ml/g folhas de álamo	Cui et al. (2010)
	Borra de cerveja	Microflora mista	Batelada	53.03 ml/g borra de cerveja seca	Cui et al. (2009)
	Resíduos de alimentos	Lodos Ativados	ASBR	1.12 mol H <sub>2</sub> /mol hexose	Kim et al. (2008)
	Resíduos de alimentos	<i>Thermoanaerobacterium</i> sp	IRPR	2.4 mol H <sub>2</sub> /mol hexose	Ueno et al. (2007)

“Continua”

Tabela 1. Conclusão

Geração dos biocombustíveis	Matérias-primas	Microrganismos	Tipo de Fermentação	Produção	Referencias
Matérias-primas de 3ª Geração	Scenedesmus sp.(microalga)	Lodos Ativados	Batelada	45.54 ml/g sólidos voláteis	Yang et al. (2010)
	Laminaria japonica (alga marrom marinha)	<i>Clostridium</i> e <i>Bacillus</i> sp	Batelada	44 ml H <sub>2</sub> /g alga na base seca	Lee et al. (2010)
	Taihu alga azul	Lodos Ativados	Batelada	105 ml H <sub>2</sub> /g sólidos voláteis	Yan et al. (2010)

Mata, Martins e Caetano (2010) relacionaram as principais espécies de microalgas com seus conteúdos de lipídeos e produtividades, que estão relacionados na Tabela 2.

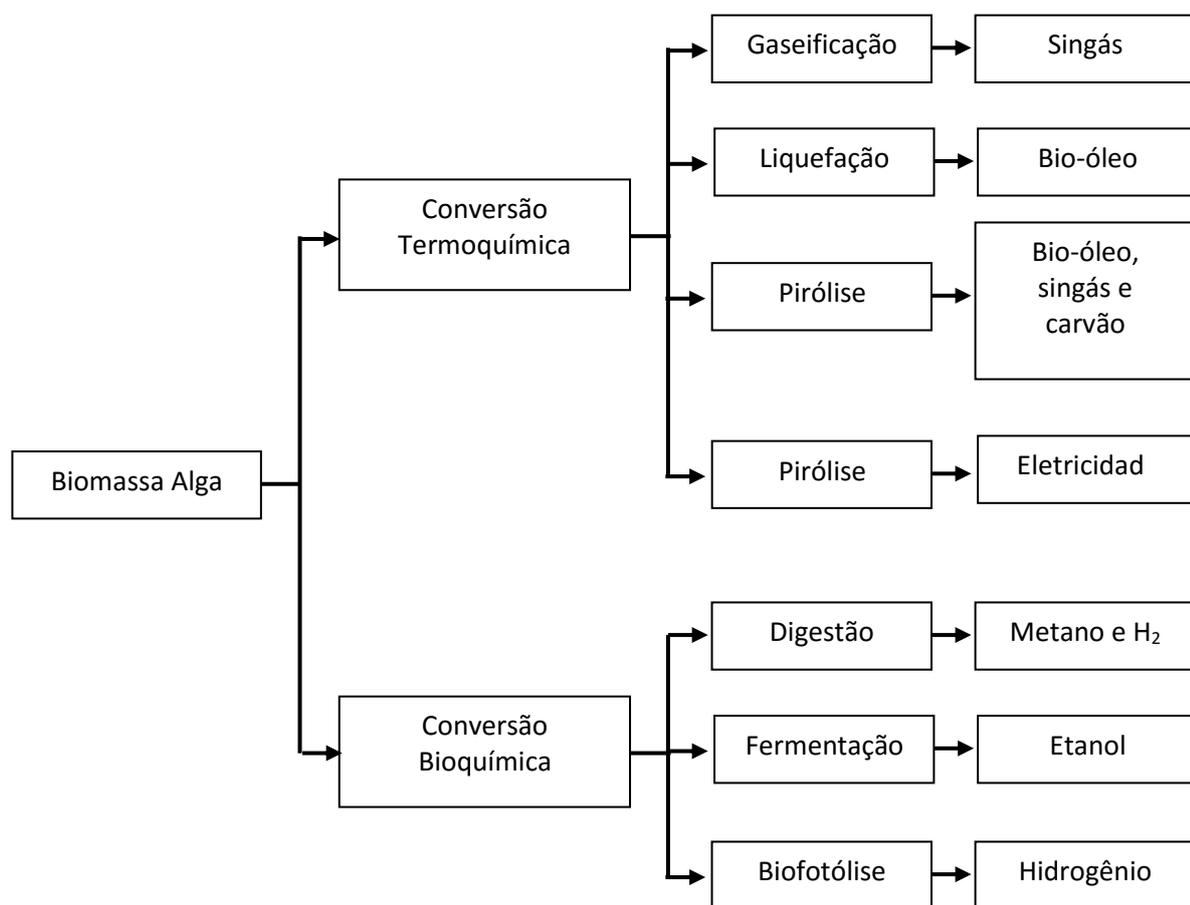
As tecnologias de conversão para a utilização de biomassa de microalgas podem ser separadas em duas categorias básicas: conversão termoquímicas e bioquímicas e estão representados na Figura 5.

Demirbas e Demirbas (2011) descrevem que devido ao elevado rendimento de produção de óleo pela alta densidade de biomassa de algumas microalgas, estas são ideais para a agricultura intensiva e podem ser uma fonte excelente para a produção de biodiesel, na Figura 6 segue a representação do fluxograma de obtenção de biodiesel a partir de microalgas.

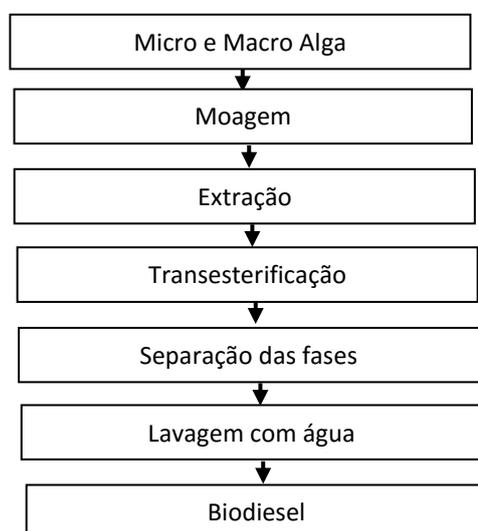
**Tabela 2.** Algumas espécies de microalgas marinhas e de alga doce.

**Table 2.** Some species of marine microalgae and fresh seaweed.

Espécies de microalgas marinhas e de água doce	Conteúdo Lipídeos (% base seca biomassa)	Produtividade de Lipídeos (mg/L/dia)	Produtividade Volumétrica de biomassa (g/L/dia)	Produtividade de biomassa por área (g/m <sup>2</sup> /dia)
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	24.0–31.0	–	–	11.5–17.4
<i>Botryococcus braunii</i>	25.0–75.0	–	0.02	3.0
<i>Chaetoceros muelleri</i>	33.6	21.8	0.07	–
<i>Chlorella emersonii</i>	25.0–63.0	10.3–50.0	0.036–0.041	0.91–0.97
<i>Chlorella sorokiniana</i>	19.0–22.0	44.7	0.23–1.47	–
<i>Chlorella vulgaris</i>	5.0–58.0	11.2–40.0	0.02–0.20	0.57–0.95
<i>Chlorella</i> sp.	10.0–48.0	42.1	0.02–2.5	1.61–16.47/25
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	2.0	–	2.90–3.64	72.5/130
<i>Chlorella</i>	18.0–57.0	18.7	–	3.50–13.90
<i>Chlorococcum</i> sp.	19.3	53.7	0.28	–
<i>Dunaliella salina</i>	6.0–25.0	116.0	0.22–0.34	1.6–3.5/20–38
<i>Dunaliella primolecta</i>	23.1	–	0.09	14
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	16.7–71.0	–	0.12	–
<i>Dunaliella</i> sp.	17.5–67.0	33.5	–	–
<i>Ellipsoidion</i> sp.	27.4	47.3	0.17	–
<i>Euglena gracilis</i>	14.0–20.0	–	7.70	–
<i>Isochrysis galbana</i>	7.0–40.0	–	0.32–1.60	–
<i>Isochrysis</i> sp.	7.1–33	37.8	0.08–0.17	–
<i>Monodus subterraneus</i>	16.0	30.4	0.19	–
<i>Monallanthus salina</i>	20.0–22.0	–	0.08	12
<i>Nannochloris</i> sp.	20.0–56.0	60.9–76.5	0.17–0.51	–
<i>Nannochloropsis</i> sp.	12.0–53.0	37.6–90.0	0.17–1.43	1.9–5.3
<i>Nitzschia</i> sp.	16.0–47.0	–	–	8.8–21.6
<i>Oocystis pusilla</i>	10.5	–	–	40.6–45.8
<i>Pavlova salina</i>	30.9	49.4	0.16	–
<i>Pavlova lutheri</i>	35.5	40.2	0.14	–
<i>Scenedesmus obliquus</i>	11.0–55.0	–	0.004–0.74	–
<i>Scenedesmus</i> sp.	19.6–21.1	40.8–53.9	0.03–0.26	2.43–13.52
<i>Skeletonema</i> sp.	13.3–31.8	27.3	0.09	–
<i>Skeletonema costatum</i>	13.5–51.3	17.4	0.08	–
<i>Spirulina maxima</i>	4.0–9.0	–	0.21–0.25	25
<i>Tetraselmis suecica</i>	8.5–23.0	27.0–36.4	0.12–0.32	19
<i>Tetraselmis</i> sp.	12.6–14.7	43.4	0.30	–



**Figura 5.** Rotas de conversão de biomassa de algas em biocombustíveis .  
**Figure 5.** Pathways algal biomass conversion into biofuel



**Figura 6.** Fluxograma produção de biodiesel a partir micro e macro algas.  
**Figure 6.** Biodiesel production flowchart from micro and macro algae.

## CONCLUSÃO

Para que a produção de bicombustíveis ocupe o seu lugar na matriz energética mundial,

substituindo parcialmente ou completamente os combustíveis fósseis, é necessário que as indústrias que disponibilizam este produto, estejam conscientes de que ao se adequarem ao conceito

de biorrefinarias, elas estarão aproveitando melhor a biomassa, com menos desperdício, maior quantidade de produtos a ofertar e tornando-se mais independente das flutuações de preço do mercado atual.

Os materiais lignocelulósicos são fontes com grande potencial para a produção de biocombustíveis obtidos por hidrólise e fermentação (bioetanol), digestão anaeróbica (metano), gaseificação (FT-diesel), biodiesel,

biohidrogênio entre outros biocombustíveis e metabólicos secundários com maior valor agregado.

Processos inovadores, principalmente utilizando materiais lignocelulósicos para utilização comercial estão em desenvolvimento constante, entretanto há a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias com o objetivo de reduzir os custos do processo de produção de biocombustíveis de segunda geração.

---

## REFERÊNCIAS

ATADASHI, I. M.; AROUA, M. K.; ABDUL-AZIZ, A. R.; SULAIMAN, N. M. N. Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p.3275-3285, 2012.

BAÑOS, R.; MANZANO-AGUGLIARO, F.; MONTOYA, F.G.; GIL, C.; ALCAYDE, A.; GÓMEZ, J. Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p.1753-1766, 2011.

BLUDOWSKY, T.; AGAR, D. W.; Thermally integrated bio-syngas-production for biorefineries. **Chemical Engineering Research and Design**, v.87, p.1328-1339, 2009.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae - A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.14, p.557-577, 2010.

CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.16, p.1462-1476, 2012.

CHENG, C.; LO, Y.; LEE, K.; LEE, D.; LIN, C.; CHANG, J. Biohydrogen production from lignocellulosic feedstock. **Bioresource Technology**, v. 12, p. 8514-8523, 2011.

DAS, D.; VEZIROĞLUM, T. N. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.26, p.13-28, 2001.

DATAR, R.; HUANG, J.; MANESS, P. C.; MOHAGHEGHI, A.; CZEMIK, S.; CHORNET, E. Hydrogen production from the fermentation of corn stover biomass pretreated with a steam-explosion process. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.32, p.932-939, 2007.

DEMIRBAS, A. Biorefineries: Current activities and future developments. **Energy Conversion and Management**, v.50, p.2782-2801, 2009a

DEMIRBAS, M. F. Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review. **Applied Energy**, v.86, p.151-161, 2009b.

DEMIRBAS, A. Biofuels securing the planet's future energy needs. **Energy Conversion and Management**, v.50, p.2239-2249, 2009c.

DEMIRBAS, A. Liquefaction of biomass using glycerol. **Energy Sources Part A**, v.30, p.1120-1126, 2008.

DEMIRBAS, A., DEMIRBAS, M. F. Importance of algae oil as a source of biodiesel. **Energy Conversion and Management**, v.52, p.163-170, 2011.

GALAFASSI, S.; CUCCHETTI, D.; PIZZA, F.; FRANZOSI, G.; BIANCHI, D.; COMPAGNO, C. Lipid production for second generation biodiesel by the oleaginous yeast *Rhodotorula graminis*. **Bioresource Technology**, v. 111, p. 398-403, 2012.

GHATAK, H. R. Biorefineries from the perspective of sustainability: Feedstocks, products, and processes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, p.4042-4052, 2011.

GONZALEZ, J. D.; KIM, M. R.; BUONOMO, E. L.; BONELI, P. R.; CUKIERMAN, A. L. Pyrolysis of biomass from sustainable energy plantations:

- effect of mineral matter reduction on kinetics and charcoal pore structure. **Energy Sources Part A**, v.30, p.809-817, 2008.
- HALFORD, N.G.; CURTIS, T.Y.; MUTTUCUMARU, N.; POSTLES, J.; MOTTRAM, D.S. Sugars in crop plants. **Annals of Applied Biology**, v.158, p.1-25, 2010.
- HASUNUMA, T.; KONDO, A. Consolidated bioprocessing and simultaneous saccharification and fermentation of lignocellulose to ethanol with thermotolerant yeast strains. **Process Biochemistry**, v.47, p.1287-1294, 2012.
- HILL, J., NELSON, E., TILMAN, D., POLASKY, S. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. **Proceedings National Academy Science**, v.103, p.11206-11210, 2006
- HOEKMAN S.K.; Biofuels in the U.S.– challenges and opportunities. **Renew Energy**, v.34, p.14- 22, 2009.
- HOEKMAN, S. K., ROBINS, C. Review of the effects of biodiesel on NOx. **Fuel Processing Technology**, v.96, p.237-249, 2012.
- HOSSAIN, A. K., BADR, O. Prospects of renewable energy utilisation for electricity generation in Bangladesh. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v.11, p.1617-1649, 2007.
- HUANG, H.; RAMASWAMY, S.; TSCHIRNER, U.W.; RAMARAO, B.V. A review of separation technologies in current and future biorefineries. **Separation and Purification Technology**, v.62, p.1-21, 2008.
- INGRAM, L. O., DORAN, J. B. Conversion of cellulosic materials to ethanol. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 16, p. 235-241, 1995.
- International Energy Agency (IEA). **Sustainable Production of Second-Generation Biofuels**. p.221. 2010.
- International Energy Agency (IEA). **Technology Roadmaps: Biofuels for transport**. p.56. 2011.
- International Energy Agency Bioenergy. **Task 42 Biorefinery**. Disponível em: <[http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/Brochure\\_Totaal\\_definitief\\_HR\\_opt.pdf](http://www.biorefinery.nl/fileadmin/biorefinery/docs/Brochure_Totaal_definitief_HR_opt.pdf)>. Acesso 28/12/14.
- ISAR, J.; AGARWAL, L.; SARAN, S.; SAXENA, R. K. Succinic acid production from *Bacteroides fragilis*: Process optimization and scale up in a bioreactor. **Anaerobe**, v.12, p.231-237, 2006.
- KIM, K. H.; HONG, J. Supercritical CO<sub>2</sub> pretreatment of lignocellulose enhances enzymatic cellulose hydrolysis. **Bioresource Technology**, v.77, p.139-144, 2001.
- KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J. H.; KRAHL, J. **The Biodiesel Handbook**. AOCS Press, Champaign, 2005.
- KUMAR, N.; DAS, D. Continuous hydrogen production by immobilized *Enterobacter cloacae* IIT-BT 08 using lignocellulosic materials as solid matrices. **Enzyme and Microbial Technology**. v.29, p.280-287, 2001.
- KUMAR, N.; MONGA, P. S.; BISWAS, A. K.; DAS, D. Modeling and simulation of clean fuel production by *Enterobacter cloacae* IIT-BT 08. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.25, p.945-952, 2000.
- LEE, J. H.; LEE, D. G., PARK, J. I.; KIM, J. Y. Bio-hydrogen production from a marine brown algae and its bacterial diversity. **Korean Journal of Chemical Engineering**. v.27, n.1, p.187-192, 2010.
- LIMA, U.A. de; BASSO, L.C.; AMORIM, H.V. de. **Produção de Etanol**. In: *Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos* 1.ed. v.3. São Paulo-SP. Editora Edgard Blucher, 616p. 2001.
- LYKO, H.; DEERBERG, G.; WEIDNER, E. Coupled production in biorefineries-Combined use of biomass as a source of energy, fuels and materials. **Journal of biotechnology**, v.142, p.78-86, 2009.
- MA, F. R.; HANNA, M. A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, v.70, p.1-15, 1999.
- MATA, T.M.; MARTINS, A.A.; CAETANO, N.S.; Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p.17-32, 2010.
- MITTELBACH, M.; REMSCHMIDT, C. **Biodiesel: the Comprehensive Handbook**, Austria, 2006.

- MOSIER, N.; WYMAN, C.; DALE, B.; ELANDER, R.; LEE, Y. Y.; HOLTZAPPLE, M.; LADISCH, M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 673-686, 2005.
- NAIK, S. N.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K.; DALAI, A. K. Production of first and second-generation biofuels: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p. 578-597, 2010.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). Disponível em: <<http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>>. Acesso 28/05/12.
- ORJUELA, A.; YANEZ, J. A.; PEERBOOM, L.; LIRA, T. C.; MILLER, J. D. A novel process for recovery of fermentation-derived succinic acid. *Separation and Purification Technology*, 83, 31 – 37, 2011.
- PEREIRA JR, N. Biotecnologia de materiais lignocelulósicos para a produção química. EQ/UFRJ, Prêmio ABIQUIM de Tecnologia, 2006.
- RAGAUSKAS, A. J.; WILLIAMS, C. K.; DAVISON, B. H.; BRITOVSEK, G.; CAIRNEY, J. The path forward for biofuels and biomaterials. *Science*, 311, 484 – 489, 2006
- SANTACESARIA, E., MARTINEZ VICENTE, G., DI SERIO, M., TESSER, R. Main technologies in biodiesel production: State of the art and future challenges. *Catalysis today*. v. xxx, p. xxx-xxx. 2012, Avaliado on line em 06 de Junho de 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2012.04.057>>. Acesso em: 25 jun. 2012.
- SANTOS, M. F. R. F. dos; BORSCHIVER, S.; COUTO, M. A. P. G. Iniciativas para o uso da biomassa lignocelulósica em biorrefinarias: a plataforma sucroquímica no mundo e no Brasil. **Revista Economia & Energia**, [s.i.], n. 82, p.14-32, jan./mar. 2012.
- SEDLMEYER, F.B. Xylan as by-product of biorefineries: Characteristics and potential use for food applications. **Food Hydrocolloids**, v.25, p.1891-1898, 2011.
- SIMS, R. E. H.; MABEE, W.; SADDLER, J. N.; TAYLOR, M. An overview of second-generation biofuel technologies. **Bioresource Technology**, v.101, p.1570-1580, 2010.
- SINGH, J.; GU, S.; Commercialization potential of microalgae for biofuels production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.14, p.2596-2610, 2010.
- SINGH, S.P.; ASTHANA, R.K.; SINGH, A.P. Prospects of sugarcane milling waste utilization for hydrogen production in India. **Energy Police**, v.35, p.4164-4168, 2007.
- SKARLIS, S.; KONDILI, E.; KALDELLIS, J. K. Small-scale biodiesel production economics: a case study focus on Crete Island. **Journal of cleaner production**. v. 20, p.20-26, 2011.
- SRIVASTAVA, A.; PRASAD, R. Triglycerides-based diesel fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v.4, p.111-133, 2000.
- TAGUCHI, F.; YAMADA, K.; HASEGAWA, K.; TAKISATO, T.; HARA, K. Continuous hydrogen production by *Clostridium* sp. strain nº 2 from cellulose hydrolysate in an aqueous two phase system. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v.82, p.80-83, 1996.
- TONG, X.; SMITH, L. H.; MCCARTY, P. L. Methane fermentation of selected lignocellulosic materials. **Biomass**, v.21, p.239-255, 1990.
- VAN GERPEN, J. H. Biodiesel processing and production. **Fuel Processing Technology**. v.86, p.1097-1107, 2005.
- YOKOI, H., OHKAWARA, T., HIROSE, J., HAYASHI, S., TAKASAKI, Y. Characteristics of H<sub>2</sub> production by aciduric *Enterobacter aerogenes* strain H039. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v.80, p.571-574, 1995.
- YOUSUF, A. Biodiesel from lignocellulosic biomass – Prospects and challenges. **Waste Management**. v.32, p.2061-2067, 2012.
- ZALDIVAR, J.; NEILSEN J.; OLSSON L. Fuel ethanol production from lignocellulose: a challenge for metabolic engineering and process integration. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.56, p.17-34, 2001.
- ZHENG, P.; DONG, J.; SUN, Z.; NI, Y.; FANG, L. Fermentative production of succinic acid from

straw hydrolysate by *Actinobacillus succinogenes*.  
**Bioresource technology**, v.100, p.2425-2429, 2009.

ZHENG, P.; FANG, L.; XU, Y.; DONG, J.; NI, Y.; SUN,  
Z. Succinic acid production from corn stover by

simultaneous saccharification and fermentation  
using *Actinobacillus succinogenes*. **Bioresource  
technology**. v.101, p.7889-7894, 2010.