

# Sistemas Energéticos

**3º ano 6º semestre**

**Aula 26**



# ***Aula 26: Energia da Biomassa***



## 26.1 - INTRODUÇÃO

A Biomassa é toda matéria orgânica, exceptuando-se os combustíveis fósseis, ou seja, todo material proveniente de colheitas agrícolas e florestais, produtos animais, massa de células microbianas, resíduos e produtos renováveis em bases anuais (Hiler & Stout, 1985)

Biomassa é o nome dado à massa biológica base da produção de energia a partir da decomposição de resíduos orgânicos. Entre os "combustíveis" que podem ser extraídos deste processo está o gás metano.



## 26.1 - INTRODUÇÃO

O conceito de biomassa se popularizou no final do século XX e começo do século XXI, com o surgimento da preocupação em aprimorar técnicas de produção e exploração de fontes de energias renováveis, devido a evidente escassez dos recursos tradicionais, como o petróleo e o carvão mineral.

A biomassa pode ser formada de substâncias de origem animal ou vegetal, como casca de frutas, esterco, madeira, restos de alimentos, resíduos agrícolas e florestais, entre outros materiais orgânicos.



## 26.1 - INTRODUÇÃO

Na realidade, a biomassa está presente na sociedade desde o princípio da história da humanidade, quando os seres humanos utilizavam o calor da lenha queimada para produzir energia. Devido a sua forma de obtenção, a biomassa é classificada como uma fonte de energia renovável, ou seja, que nunca se esgota; inesgotável.

Todo o processo de produção de energia a partir da biomassa causa um impacto bastante pequeno na atmosfera, se for feito com controle. Através de usinas especiais, a queima da biomassa produz gases que, por sua vez, são transformados em energia.



## 26.2 -A BIOMASSA SÓLIDA

A Biomassa sólida tem como fonte os produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), os resíduos da floresta e das indústrias com ela relacionadas, e a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos.

O processo de conversão de energia passa primeiro pelo recolhimento dos vários resíduos que irão ser objecto de transformação, seguido do transporte para os locais de consumo, onde se faz o aproveitamento energético por combustão directa ou gaseificação.



## 26.2 -A BIOMASSA SÓLIDA

A transformação dos resíduos florestais em lascas de madeira proporciona uma redução de custos no transporte. A combustão pode ocorrer em centrais térmicas (com tecnologias de grelha ou de leito fluidizado) para a produção de energia eléctrica, ou em centrais de cogeração para a produção de energia eléctrica e de água quente, ou a queima directa em fornos, lareiras (lenha) para a produção de calor.



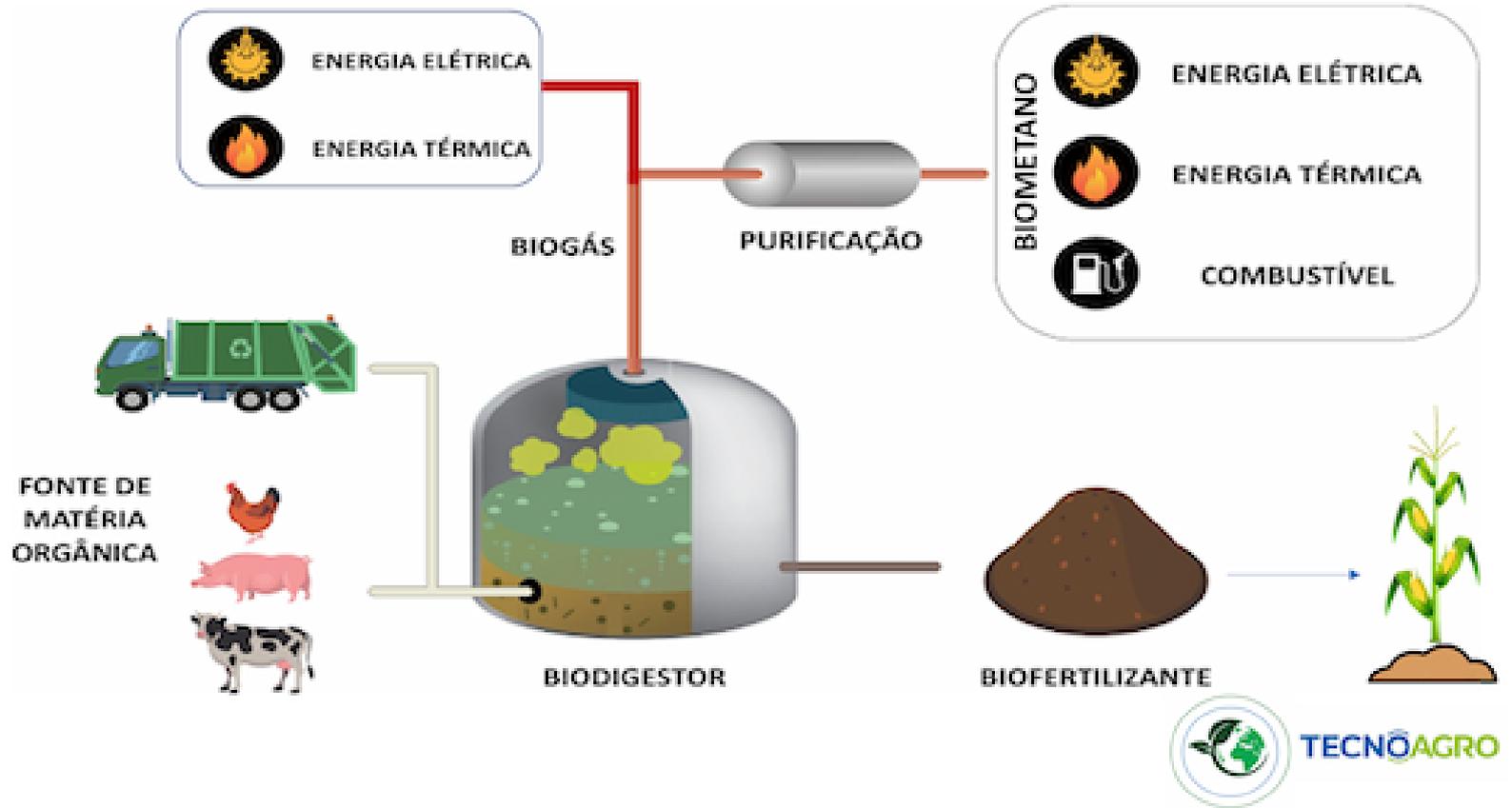
## 26.3 -A BIOMASSA GASOSA

Os Biocombustíveis gasosos são designados por Biogás. O biogás tem origem nos efluentes agro-pecuários, da agro-indústria e urbanos (lamas das estações de tratamento de águas residuais) e ainda nos aterros de resíduos sólidos urbanos. O biogás resulta da degradação biológica anaeróbica da matéria orgânica contida nos resíduos anteriormente referidos e é constituído por uma mistura de metano ( $\text{CH}_4$ ) em percentagens que variam entre os 50% e os 70% sendo o restante essencialmente  $\text{CO}_2$ . O biogás também pode ser utilizado em centrais de cogeração para a produção de energia eléctrica e de água quente.



# 26.3 - A BIOMASSA GASOSA

## PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO





## 26.4 -A BIOMASSA LIQUIDA

Os Biocombustíveis líquidos podem dividir-se em biomassa líquida e biocarburantes. A biomassa líquida é constituída por compostos muito oxigenados que podem ser obtidos por pirólise rápida a partir de uma enorme variedade de produtos tais como: resíduos florestais, resíduos da indústria da madeira, bagaço de cana-de-açúcar, cascas de cereais. A biomassa líquida pode ser armazenada, bombeada e transportada como os produtos derivados do petróleo. A sua utilização passa pela queima directa em caldeiras, turbinas de gás e motores do ciclo Diesel para cogeração de energia. Os biocarburantes têm origem em “culturas energéticas” com potencial de utilização em motores ou outros equipamentos de queima.

## 26.5 – TIPOS DE BIOMASSA

### Lenha

- 8,3% da energia primária.
- Lareiras, fornos, caldeiras industriais.
- Baixo custo.
- Países em desenvolvimento.



### Carvão Vegetal

- Queima da madeira.





## 26.5 – TIPOS DE BIOMASSA

### Óleos Vegetais

- Rícino, soja, coco, milho.
- Uso em motores e produção de biodiesel.
- Desenvolvimento sustentável.



### Cana-de-Açúcar

- Insumo agrícola importante em Moçambique.
- Geração de resíduos.





## 26.5 – TIPOS DE BIOMASSA

### Resíduos Rurais

- ❑ Oriundos das atividades produtivas no setor rural.
- ❑ Resultantes da colheita, resíduos florestais e pecuários.



### Resíduos Urbanos

- ❑ Resíduos domiciliares.
- ❑ Resíduos de limpeza urbana.
- ❑ Aterros sanitários.
- ❑ Alto teor de matéria orgânica.





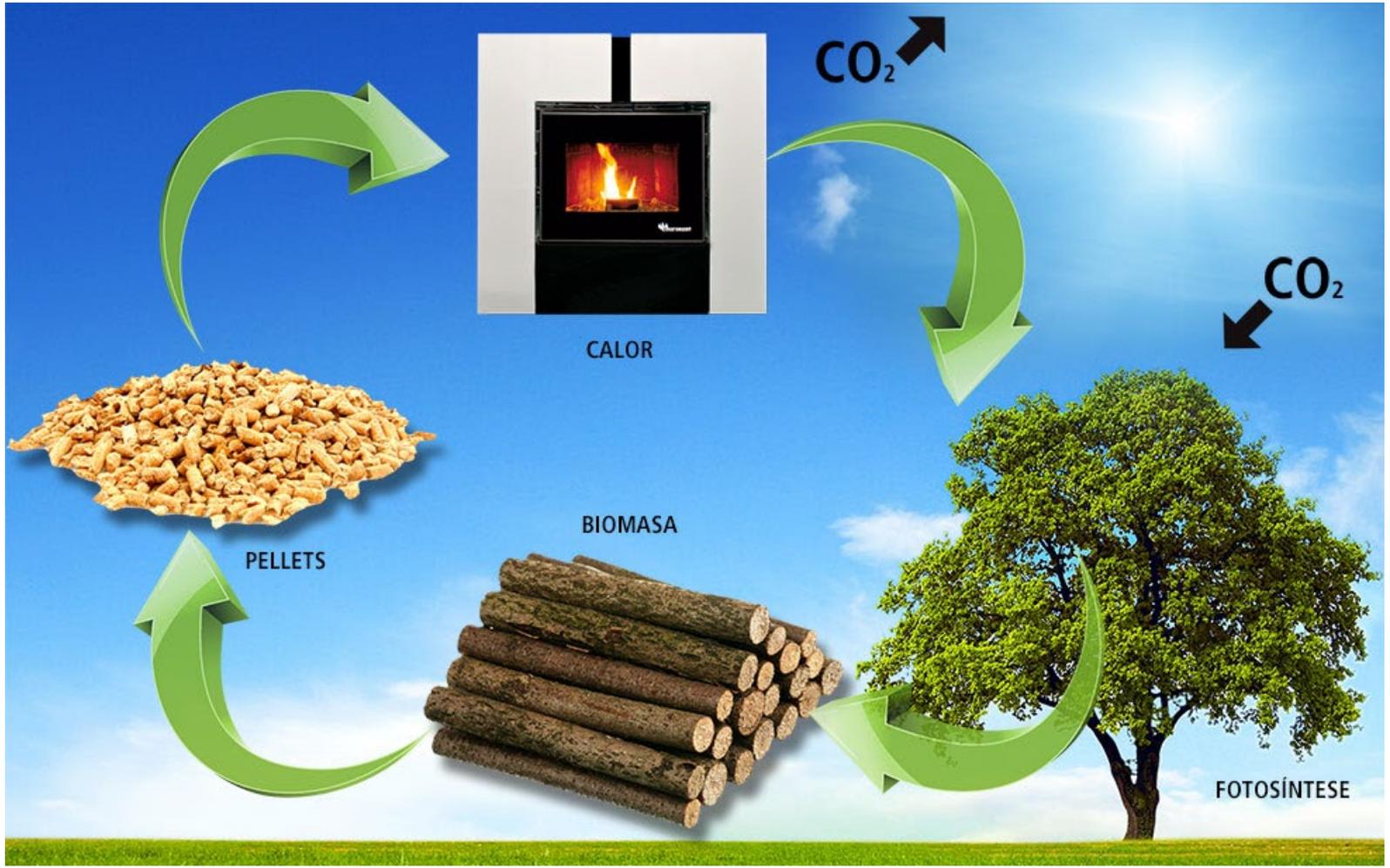
## 26.6-CICLO DE CARBONO

A biomassa forma parte das fontes renováveis uma vez que o CO<sub>2</sub> emitido pela produção de energia não representa um aumento do Dióxido de Carbono presente no meio ambiente, mas o mesmo que as plantas absorveram antes de se desenvolverem e que a sua morte devolverá á atmosfera, através dos processos normais de degradação da substância orgânica. O emprego da biomassa acelera o retorno de CO<sub>2</sub> à atmosfera, deixando-o novamente disponível para as plantas. Na prática, estas emissões voltam ao ciclo normal do carbono e estão entre o CO<sub>2</sub> emitido e o absorvido.

A valorização energética dos materiais orgânicos, contribuem para a produção de energia térmica e para a produção de energia eléctrica (instalações de tamanho médio, grande), contribuindo para limitar as emissões de Dióxido de Carbono.



# 26.6-CICLO DE CARBONO



## 26.7 - TECNOLOGIAS DO USO DA BIOMASSA

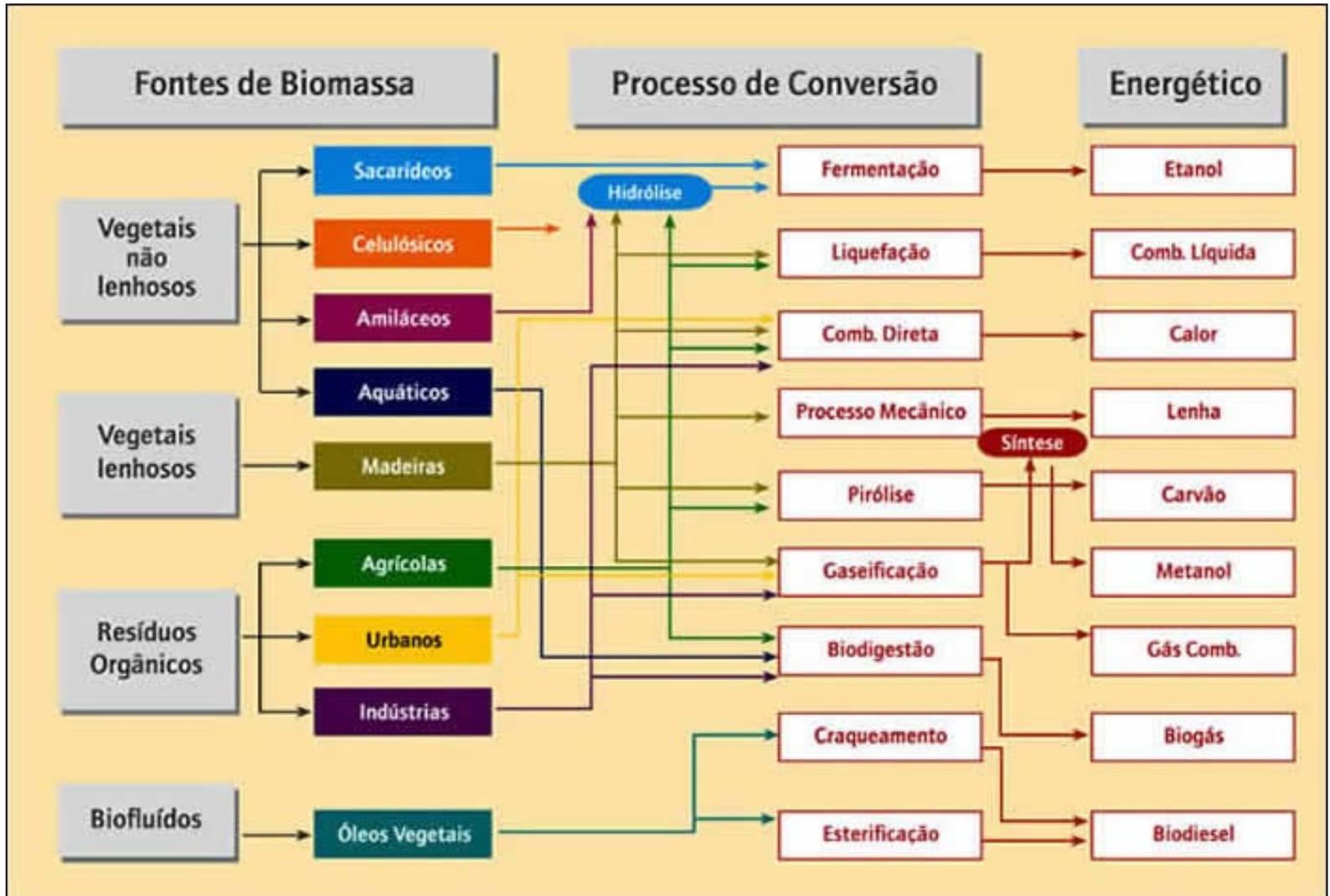
**Tecnologias tradicionais de uso da biomassa (ou biomassa tradicional):** combustão directa de madeira: lenha, carvão vegetal, resíduos agrícolas, resíduos de animais e resíduos urbanos. Usados para cocção, secagem e produção de carvão.

**Tecnologias “aperfeiçoadas” de uso da biomassa (ou biomassa “aperfeiçoada”):** tecnologias aperfeiçoadas e mais eficientes de combustão directa de biomassa, tais como: briquetagem ou aglomerados, para uso em fogões e fornos industriais.

**Tecnologias modernas de uso da biomassa (ou biomassa moderna):** tecnologias avançadas de conversão de biomassa em electricidade e o uso de biocombustíveis.



# 26.7 - TECNOLOGIAS DO USO DA BIOMASSA



## 26.7.1 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO

### Combustão directa para obtenção de calor e vapor:

- Fogões (cocção de alimentos).
- Fornos (metalurgia).
- Caldeiras.
- Geração de vapor - energia elétrica.

### Pirólise ou carbonização

- Aquecimento do material (300 a 500°C).
- Formação do carvão vegetal.



## 26.7.1 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO

### Gaseificação

- ❑ Reações termoquímicas que envolvem vapor quente e oxigênio.
- ❑ Combustível sólido transformado em gás.
- ❑ Motores de combustão interna e turbinas para geração de eletricidade.

### Digestão anaeróbica

- ❑ Decomposição por bactérias na ausência de  $O_2$ .
- ❑ Tratamento de dejetos orgânicos.
- ❑ Biogás –  $CH_4$  e  $CO_2$ .



## 26.7.1 - TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO

### Fermentação

- ❑ Agroindústria.
- ❑ Transformação de açúcar em álcool.
- ❑ Ação de micro-organismos.
- ❑ Etanol.

### Transesterificação

- ❑ Reação para formar biodiesel.
- ❑ Óleos vegetais (babaçu, amendoim, soja e ríceno).
- ❑ Óleo animal (sebo bovino).





## 26.7.2-PIRÓLISE

O termo pirólise é utilizado para caracterizar a decomposição térmica de materiais contendo carbono, na ausência de oxigénio. Assim, madeira, resíduos agrícolas, ou outro qualquer tipo de material orgânico se decompõe, dando origem a três fases: uma sólida, o carvão vegetal; outra gasosa e finalmente, outra líquida, comumente designada de fracção pirolenhosa (extracto ou bio óleo). A proporção relativa das fases varia como função da temperatura, do processo e do tipo de equipamento empregado. Geralmente a temperatura situa-se na faixa de 400°C a 3000°C.

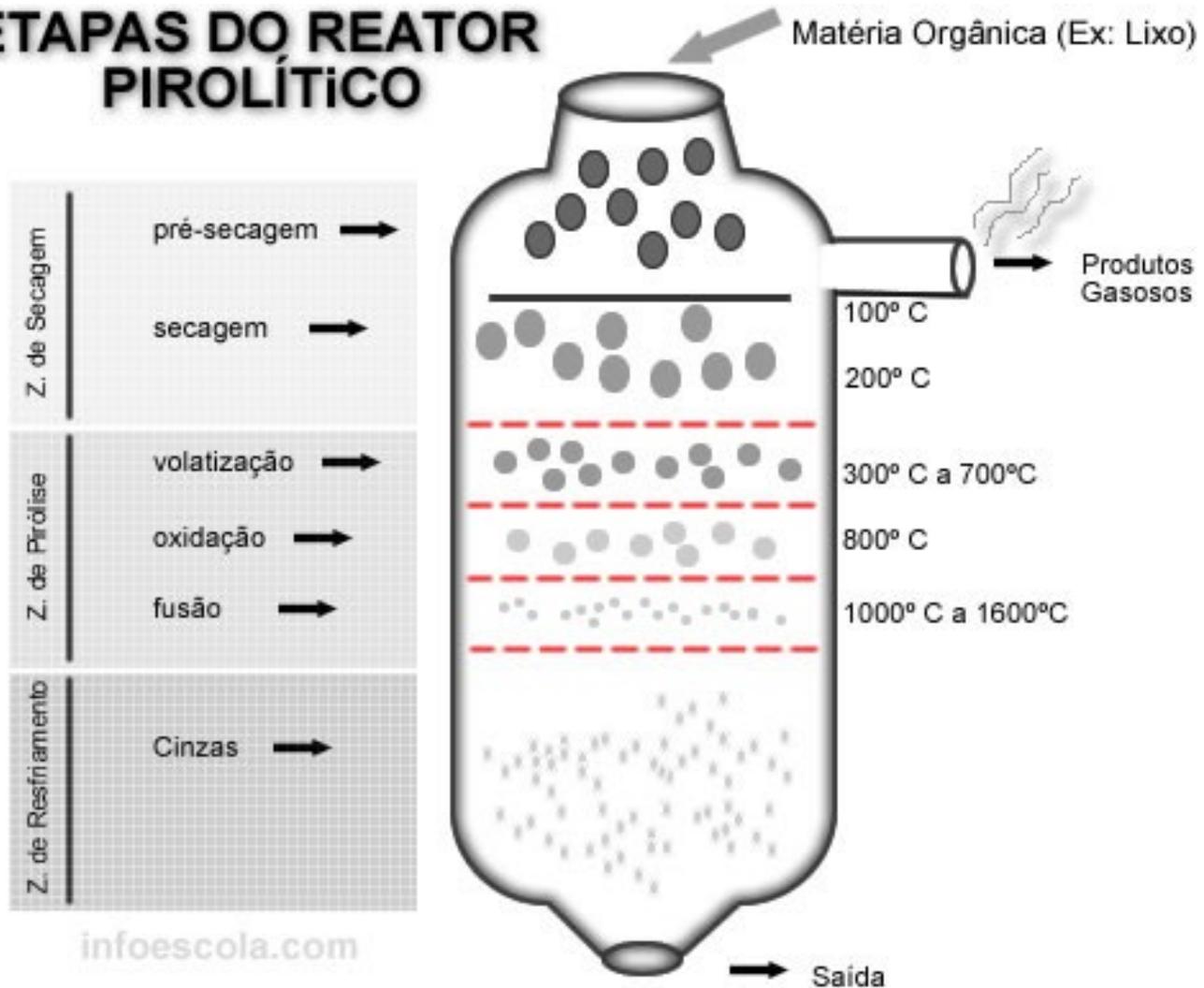
## 26.7.2-PIRÓLISE

A presença de oxigénio é variável pelo tipo de matéria orgânica empregue no processo, sendo que a introdução de oxigénio permite a continuidade do processo de pirólise com aumento de rendimentos. Observa-se um melhor rendimento na recuperação de subprodutos, baixo impacto ambiental, e aplicabilidade do bio óleo em escala industrial.



# 26.7.2-PIRÓLISE

## ETAPAS DO REATOR PIROLÍTICO





## 26.7.3 - GASEIFICAÇÃO

O termo gaseificação é usado para descrever as reacções termoquímicas de um combustível sólido (carvão, biomassa) na presença de ar ou oxigénio ( $O_2$ ), em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão) e vapor d'água ( $H_2O_{vap}$ ), com a finalidade de formar gases que podem ser usados como fonte de energia térmica e eléctrica, para síntese de produtos químicos e para a produção de combustíveis líquidos (Fischer-Tropsch).

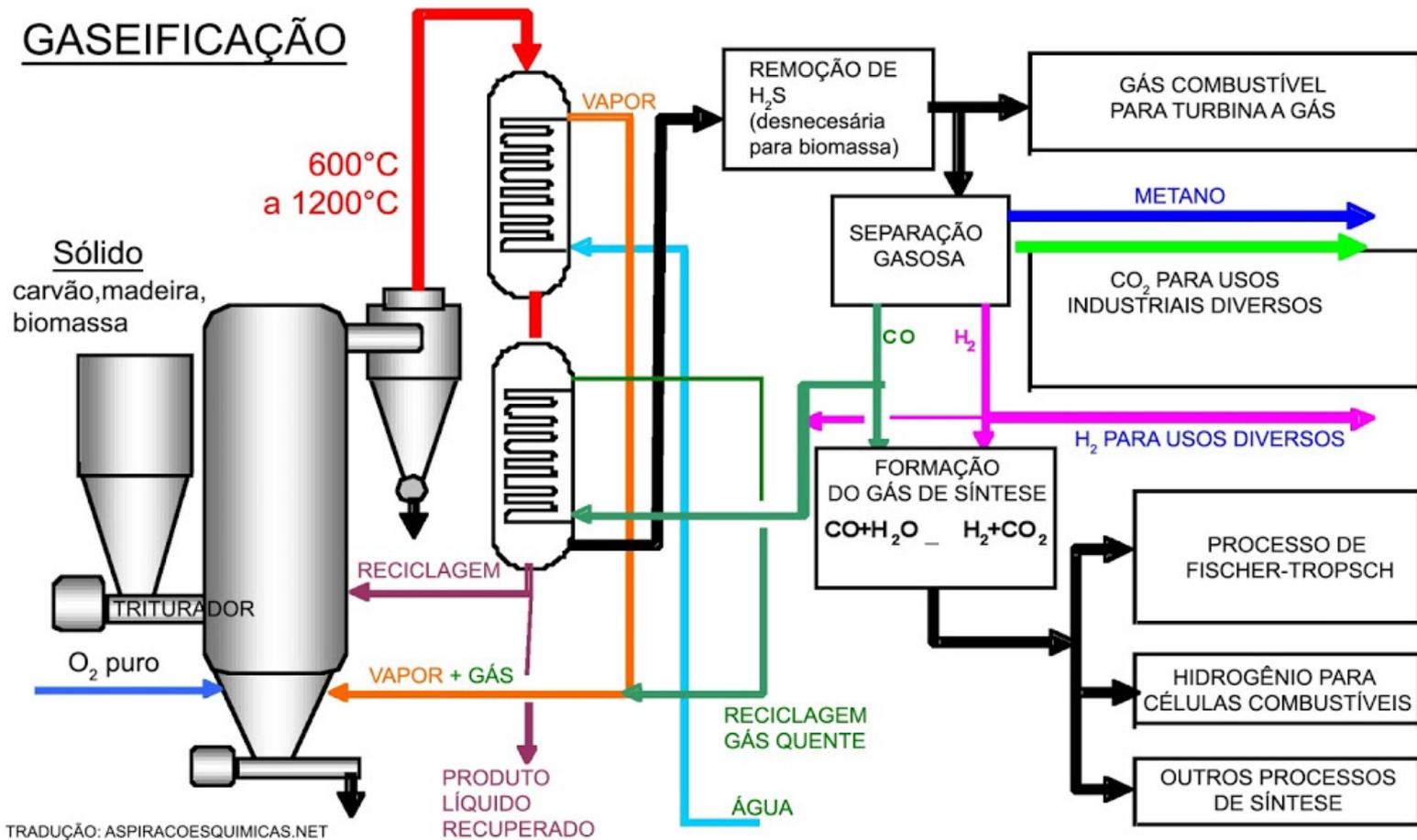


## 26.7.3 - GASEIFICAÇÃO

O principal produto da gaseificação apresenta-se como uma mistura de gases: monóxido de carbono (CO), hidrogénio (H<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), traços de enxofre (S), outros hidrocarbonetos leves impurezas. A composição final do gás proveniente da gaseificação dependerá, entre outros aspectos, das condições de operação como temperatura, pressão, tempo de residência, das características da matéria prima (matérias voláteis, carbono fixo, cinzas, enxofre, reactividade, etc.), do tipo de reactor e das características dos agentes gaseificastes: ar ou oxigénio.

# 26.7.3 - GASEIFICAÇÃO

## GASEIFICAÇÃO



TRADUÇÃO: ASPIRACOESQUIMICAS.NET



## 26.7.4-DIGESTÃO ANAERÓBICA (I)

Denomina-se de tratamento anaeróbico qualquer processo de digestão que resulte na transformação da matéria orgânica biodegradável, na ausência de oxidante externo, com produção de metano e dióxido de carbono, deixando na solução aquosa subprodutos como amónia, sulfetos e fosfatos. O processo de digestão é desenvolvido por uma sequência de acções realizadas por uma gama muito grande e variável de bactérias, no qual pode-se distinguir quatro fases subsequentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.



## 26.7.4-DIGESTÃO ANAERÓBICA (II)

Tem-se, então, uma cadeia sucessiva de reacções bioquímicas, onde inicialmente acontece a hidrólise ou quebra das moléculas de proteínas, lipídios e carboidratos, até a formação dos produtos finais, essencialmente gás metano e dióxido de carbono.

A decomposição anaeróbia é, pois, um processo biológico envolvendo diversos tipos de microrganismos, na ausência do oxigénio molecular, com cada grupo realizando uma etapa específica, na transformação de compostos orgânicos complexos em produtos simples, como os já citados metano e gás carbónico.



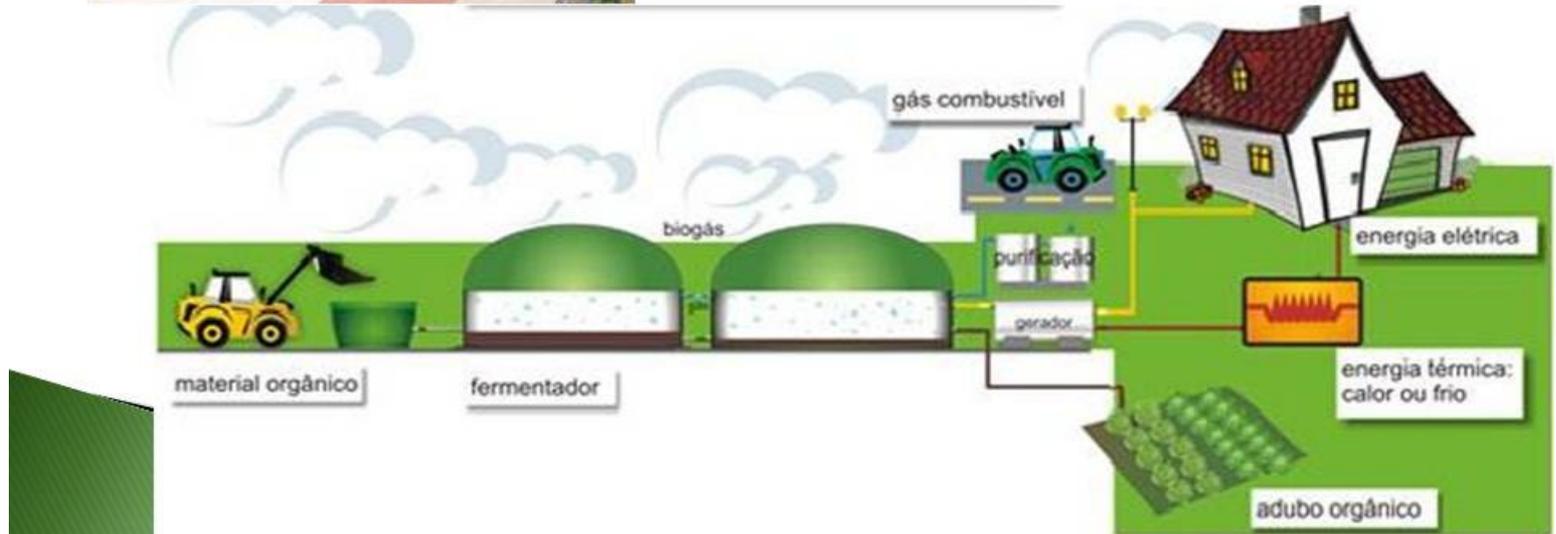
## 26.7.4-DIGESTÃO ANAERÓBICA (III)

### Princípio de um Biodigestor



Material orgânico

- Milho
- Resíduos Sólidos Orgânicos
- Soja
- Cana de açúcar
- Etc ...





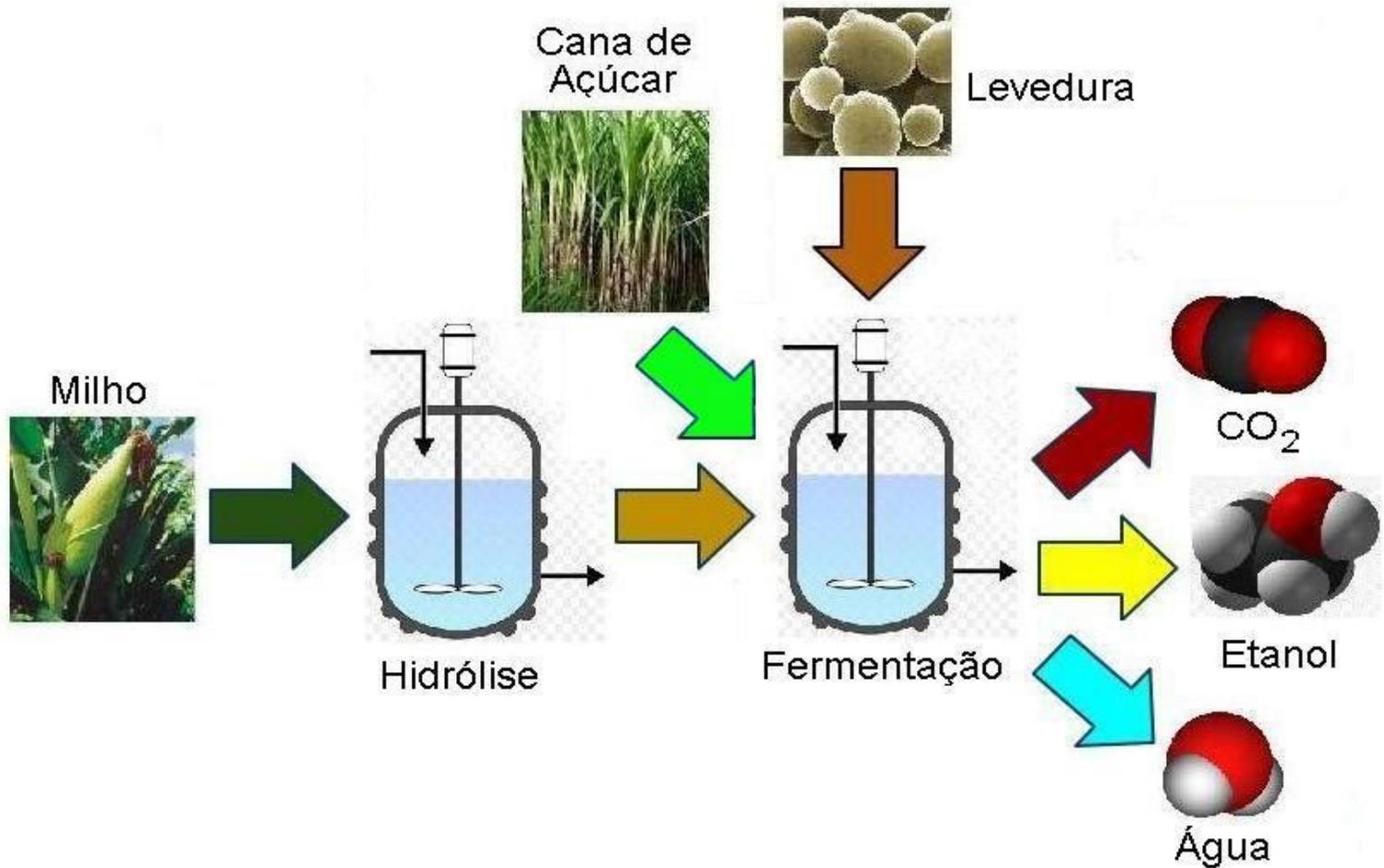
## 26.7.5-FERMENTAÇÃO (I)

A fermentação é um processo biológico anaeróbico em que os açúcares de vegetais como a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da acção de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20%) em motores de combustão interna.



## 26.7.5-FERMENTAÇÃO (II)

### Biocombustíveis de Primeira Geração





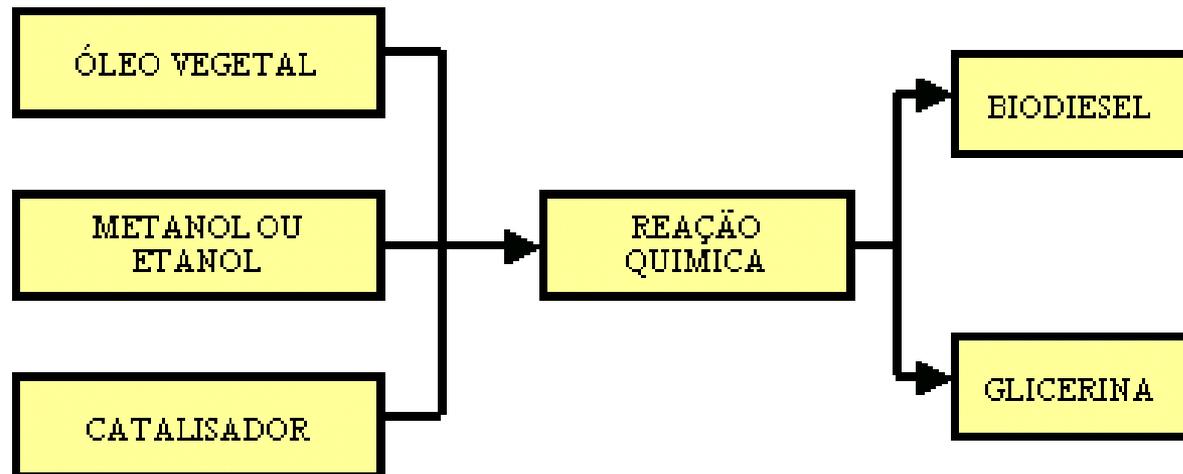
## 26.7.6-TRANSESTERIFICAÇÃO

A transesterificação é o processo mais utilizado actualmente para a produção de Biodiesel. Por meio dessa reacção é possível a separação da glicerina dos óleos vegetais. As moléculas de óleos vegetais em questão são formadas por três ésteres ligados a uma molécula de glicerina, ou seja, são triglicerídios.

O processo inicia-se juntando o óleo vegetal com um álcool simples (metanol, etanol, propanol, butanol) e catalisadores (que podem ser ácidos, básicos ou enzimáticos) para acelerar a reacção.

## 26.7.6-TRANSESTERIFICAÇÃO

Nesse processo, a glicerina é removida do óleo vegetal por decantação, deixando o óleo mais fino e reduzindo a sua viscosidade. Resumidamente, após a reacção de transesterificação obtém-se a glicerina - substância de alto valor agregado, usada por indústrias farmacêuticas, de cosméticos e de explosivos - e o Biodiesel, um combustível renovável alternativo.



## 26.8 – FONTES ALTERNATIVAS DE BIOMASSA

- Algas marinhas (micro e macroalgas) como matéria-prima para biocombustíveis.
- Culturas energéticas de crescimento rápido (Eucalyptus grandis, Jatropha curcas).
- Resíduos industriais orgânicos (cervejeiras, lacticínios, curtumes).



## 26.9 – TECNOLOGIAS EMERGENTES

As tecnologias emergentes de biomassa focam em aumentar a eficiência, sustentabilidade e versatilidade dos processos de conversão, especialmente na produção de biocombustíveis avançados (2G) e na otimização de métodos termoquímicos e biológicos.

Essas inovações visam maximizar o uso de subprodutos agrícolas e resíduos orgânicos para geração de energia renovável, contribuindo para a descarbonização da indústria e para a transição energética global.



## 26.9.1 GASIFICADORES MODULARES (I)

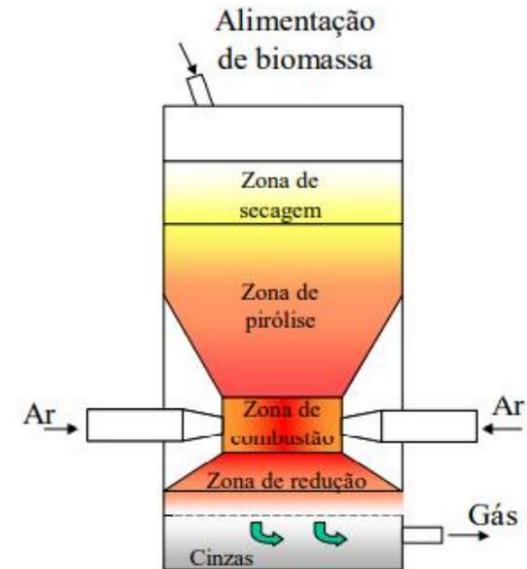
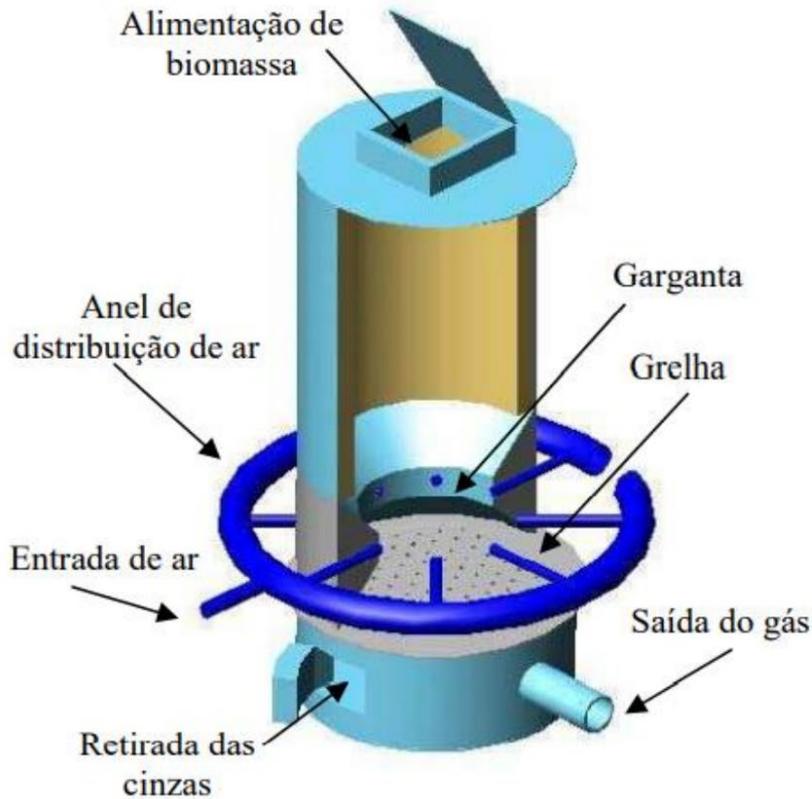
Os gasificadores modulares são uma solução viável e sustentável para a electrificação e fornecimento de energia em comunidades rurais isoladas. Eles convertem biomassa local (como resíduos agrícolas, florestais e dejectos animais) em um gás combustível (gás de síntese ou syngas), que pode ser usado para gerar electricidade, calor ou ambos.

### Benefícios para Comunidades Rurais

- Sustentabilidade e Energia Renovável
- Autonomia Energética
- Versatilidade
- Potencial Económico



# 26.9.1 GASIFICADORES MODULARES (II)



## 26.9.2 BIOREFINARIAS INTEGRADAS (I)

As biorrefinarias integradas que combinam a produção de bioetanol, biodiesel e biogás são instalações industriais avançadas que utilizam a biomassa de forma abrangente para maximizar a eficiência dos recursos e minimizar os resíduos, seguindo os princípios da economia circular.

As Biorefinarias Integradas são o equivalente das refinarias de petróleo, mas operam com matéria-prima renovável, isto é, biomassa (como resíduos agrícolas, bagaço de cana, madeira, algas, etc.).



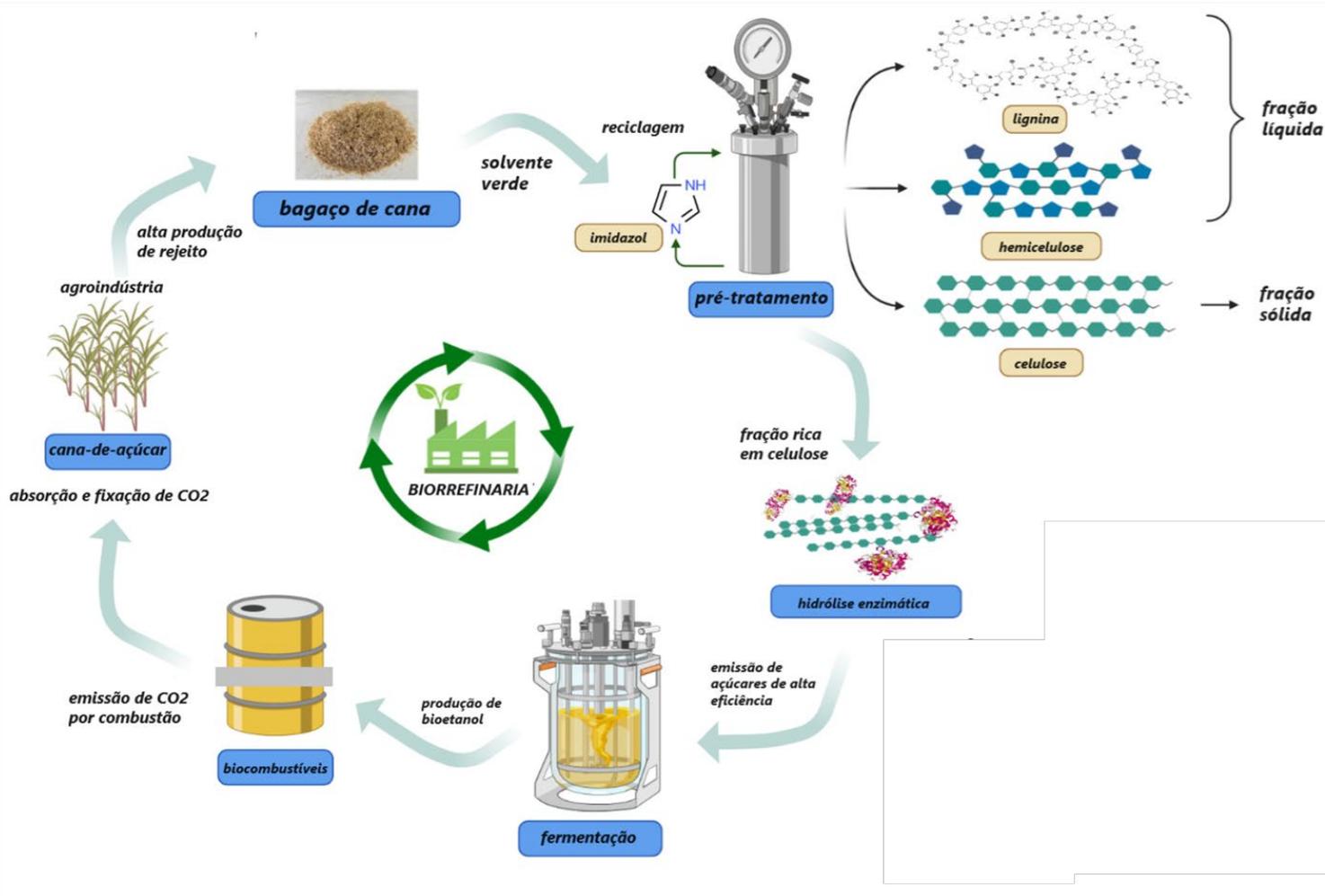
## 26.9.2 BIOREFINARIAS INTEGRADAS (II)

### Conceito e Funcionamento

Uma bio-refinaria integrada é um complexo que processa uma variedade de matérias-primas (como cana-de-açúcar, soja e resíduos agro-industriais) através de diferentes rotas de conversão (bioquímicas, químicas e termoquímicas) para produzir múltiplos produtos, incluindo biocombustíveis e outros bio-produtos de valor agregado. A integração da produção de bioetanol, biodiesel e biogás aproveita subprodutos e fluxos de resíduos de um processo como matéria-prima para outro.



# 26.9.2 BIOREFINARIAS INTEGRADAS (III)



## 26.9.3 BIOCHAR COMO SUMIDOURO DE CARBONO E MELHORADOR DO SOLO (I)

O biochar (biocarvão) actua duplamente como um eficaz sumidouro de carbono e um poderoso melhorador do solo. Sua estrutura carbónica estável permite o armazenamento de carbono a longo prazo, enquanto suas propriedades físicas e químicas melhoram a qualidade do solo para a agricultura sustentável.

Biochar como Sumidouro de Carbono

O principal mecanismo do biochar na mitigação das mudanças climáticas é a captura e o armazenamento permanente de carbono no solo.





## 26.9.3 BIOCHAR COMO SUMIDOURO DE CARBONO E MELHORADOR DO SOLO (II)

Produção via Pirólise: O biochar é produzido a partir da pirólise (aquecimento na ausência de oxigênio) de biomassa, como resíduos agrícolas, bagaço de cana-de-açúcar e madeira. Este processo converte o carbono da biomassa em uma forma estável e resistente à decomposição.

Estabilidade e Longa Duração: Diferentemente da decomposição natural da biomassa, que liberta CO<sub>2</sub> de volta à atmosfera em pouco tempo, o carbono no biochar pode permanecer no solo por centenas ou até milhares de anos.

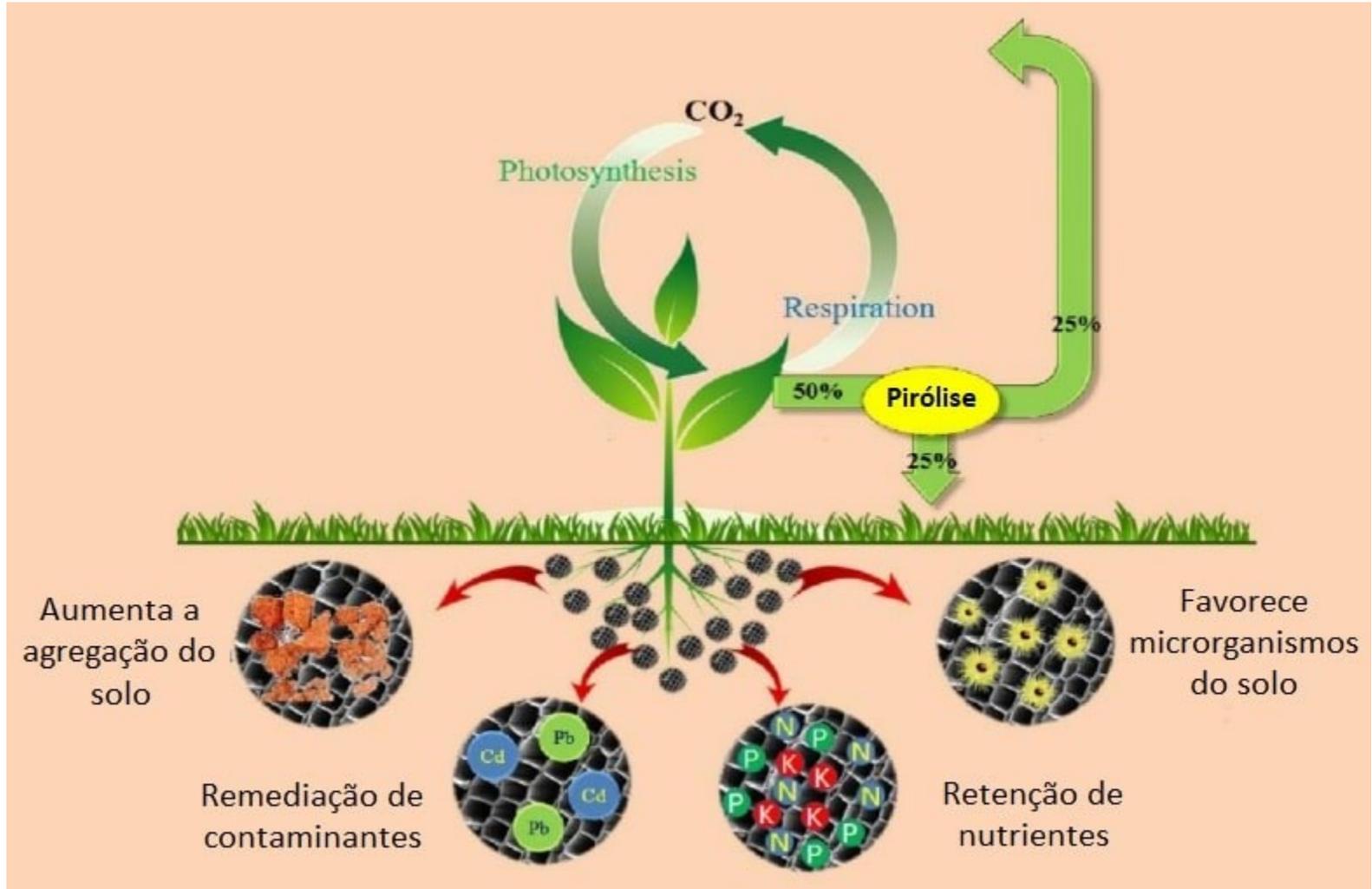
## 26.9.3 BIOCHAR COMO SUMIDOURO DE CARBONO E MELHORADOR DO SOLO (III)

Sequestro Mensurável:

Uma tonelada de biochar pode sequestrar cerca de 1,7 a 1,8 toneladas de carbono atmosférico. Isso o torna uma solução valiosa e mensurável para o mercado de créditos de carbono



## 26.9.3 BIOCHAR COMO SUMIDOURO DE CARBONO E MELHORADOR DO SOLO (IV)



## 26.10 – EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE BIOMASSA (I)

A eficiência energética mede o aproveitamento da energia contida na biomassa, distinguindo-se entre eficiência térmica, eléctrica e global. É um indicador-chave do desempenho dos sistemas de conversão e permite avaliar o impacto económico e ambiental.

A eficiência dos sistemas de biomassa varia consideravelmente dependendo da tecnologia utilizada e das condições operacionais, mas geralmente é competitiva, especialmente em aplicações de aquecimento e cogeração (produção combinada de electricidade e calor).



## 26.10 – EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE BIOMASSA (II)

### Eficiência Média

Combustão directa: 20–35%.

Gaseificação: 30–50%.

Pirólise: 40–55%.

Digestão anaeróbia: 25–40%.

Cogeração (CHP): até 85% (quando combinada produção térmica e eléctrica).





## 26.11 CADEIA DE VALOR DA BIOMASSA (I)

A cadeia de valor da biomassa refere-se ao conjunto interligado de etapas, desde a produção e gestão da matéria-prima orgânica até à sua conversão em energia ou outros produtos de valor agregado, como biocombustíveis, biogás ou carvão vegetal

As principais etapas e processos envolvidos incluem:

**Produção e Gestão:** Esta fase envolve o cultivo sustentável (no caso de culturas energéticas como a cana-de-açúcar ou eucalipto) ou a colecta de resíduos (florestais, agrícolas, agro-industriais, urbanos ou efluentes). A gestão eficiente da fonte é crucial para garantir um suprimento constante e sustentável.



## 26.11 CADEIA DE VALOR DA BIOMASSA (II)

**Logística e Abastecimento:** Inclui o manuseio, o transporte e o armazenamento da biomassa, que muitas vezes é dispersa e de baixa densidade energética. A eficiência logística é um aspecto crítico da cadeia.

**Pré-tratamento:** A biomassa pode passar por processos físicos, como trituração, secagem, extracção ou densificação (pelletização ou briquetagem), para melhorar as suas propriedades como combustível, aumentar o seu poder calorífico e facilitar o transporte e armazenamento.



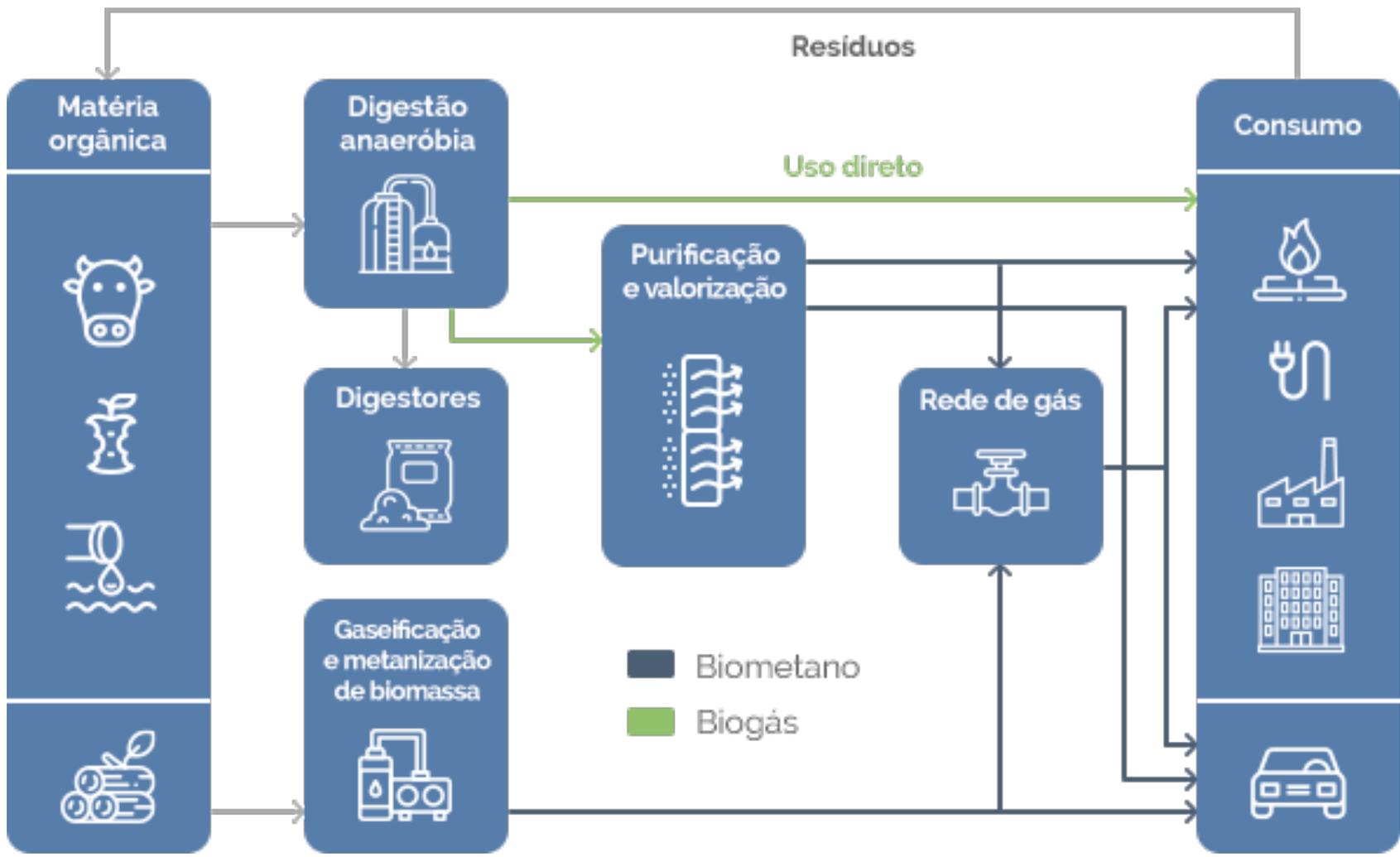
## 26.11 CADEIA DE VALOR DA BIOMASSA (III)

**Conversão:** A matéria-prima é processada para a produção de energia ou outros produtos. Os métodos de conversão podem ser:

- Térmicos (ex: combustão direta em caldeiras para gerar calor e electricidade, gaseificação, pirólise).
- Bioquímicos (ex: biodigestão anaeróbica para produção de biogás e biofertilizantes).
- Químicos (ex: produção de biocombustíveis líquidos como o bioetanol e biodiesel).

**Distribuição e Consumo:** Os produtos finais (electricidade, calor, vapor, combustíveis líquidos/gasosos) são distribuídos e utilizados pelos consumidores finais, como indústrias, setor de transportes e residências.

# 26.11 CADEIA DE VALOR DA BIOMASSA (IV)





## 26.12 – ESTUDOS DE CASO

Moçambique tem um potencial superior a 2 GW de projectos de biomassa:

- 1.006 MW de biomassa florestal residual com algum potencial para incorporação de resíduos agroindustriais;
- 832 MW em açucareiras;
- 280 MW na indústria da pasta de papel;
- 63 MW em Resíduos sólidos urbanos (RSU)

## **26.12.1 – PROJECTO GREEN ENERGY MOZAMBIQUE: APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA.**

O Projecto Green Energy Mozambique é uma iniciativa de investimento de US\$ 3 mil milhões para construir um parque industrial em Sofala, que visa promover a transição energética do país por meio da geração de empregos e do aproveitamento de recursos, como o bagaço de cana. A utilização do bagaço de cana como fonte de bioenergia envolve a sua queima para produzir vapor, que, por sua vez, acciona turbinas geradoras de electricidade, aproveitando uma fonte de energia renovável e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis.





## 26.13 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA BIOMASSA

Entre as principais vantagens em utilizar a biomassa como fonte alternativa de energia, destaca-se:

- Produz menos poluentes, sendo considerada uma "energia limpa";
- Pode ser facilmente transportada;
- Aplicável em vários lugares com facilidade;
- Fonte inesgotável de matéria-prima;
- Custo baixo de operação;
- Reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos jogados nos lixos;
- Possui uma elevada eficiência energética;

## 26.13 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA BIOMASSA

### Consequências:

- Combate a poluição do solo e lençóis freáticos.
- Dejetos urbanos, industriais e agropecuários.
- Minimiza problema de espaço em aterros sanitários.
- Contribui para a diminuição do aquecimento global.





## 26.13 - VANTAGENS E DESVANTAGENS DA BIOMASSA

A principal desvantagem de um sistema de produção de biomassas, caso não haja o controlo correcto durante a produção, é o desmatamento desenfreado e a perda de nutrientes do solo, devido ao corte indevido de madeira para usar como lenha.

A emissão excessiva de  $\text{CO}_2$ , gás carbónico que se origina a partir da combustão da madeira, pode ser prejudicial para o ambiente.