

DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS –  
BIOMASSA - BIOCARBONO - HIDROGÊNIO

2024



# DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS – BIOMASSA - BIOCARBONO - HIDROGÊNIO

---

A descarbonização é uma prioridade para as economias de todo o mundo, que estão atualmente a repensar os seus sistemas energéticos a uma velocidade sem precedentes, a fim de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e alcançar metas climáticas ambiciosas. Durante demasiado tempo, a produção industrial foi considerada seletivamente – a mudança para o hidrogênio, biomassa e o biocarbono na produção de ferro e aço é um exemplo muito presente. No entanto, o desafio e ao mesmo tempo a oportunidade que a indústria siderúrgica enfrenta é enorme numa área, em particular: dois terços da procura de energia industrial são representados por calor de processo, a maior parte do qual ainda é gerado através de combustíveis fósseis. É hora de isso mudar.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL**  
**INSTITUTO BRASILEIRO PELLETS BIOMASSA BRIQUETES**  
**BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA INDUSTRIAL**

Sede Administrativa Brasil Av. Candido Hartmann, 570 24 andar Conj. 243 80730-440  
Champagnat Curitiba Paraná Celular 41 996473481 WhatsApp 41 998173023

E-mail [diretoria@brasilbiomassa.com.br](mailto:diretoria@brasilbiomassa.com.br) Brasil Biomassa [www.brasilbiomassa.com.br](http://www.brasilbiomassa.com.br)

# SUMÁRIO EXECUTIVO

<b>DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS .....</b>	<b>18</b>
<b>DIRETRIZES GERAIS SUPRIMENTO DE BIOMASSA SUSTENTÁVEL.....</b>	<b>19</b>
a. Biomassa para reduções emissões dos gases efeitos estufa	
b. Fontes renováveis de energia.	
c. Reduzindo a dependência de combustíveis fósseis	
d. Variáveis da Biomassa em comparação aos combustíveis fósseis	
e. Redução emissões biomassa em substituição carvão	
f. Contabilidade de carbono	
f1. Contabilidade de carbono no setor florestal	
f2. Emissões e reduções de carbono da cadeia de suprimento	
g. Compensação de carbono	
g1. Carbono negativo	
h. Biomassa para Descarbonização industrial	
i. Alternativa renovável às fontes tradicionais de combustível	
j. Gerenciamento de suprimentos de biomassa	
k. Biomassa de origem sustentável	
k1. Manejo florestal	
k2. Plano de reflorestamento	
k3. Certificação florestal	
k4. Florestas com responsabilidade	
k5. Conservação ambiental	
k6. Tendências em Silvicultura Sustentável	
l. Requisitos Fornecimento Biomassa Suprimento Energético	
l1. Diretrizes de abastecimento de biomassa	
l2. Cadeia de Suprimento de Biomassa	
l3. Custo da Cadeia de Suprimento de Biomassa	
m. Gerenciamento da cadeia de suprimentos	
m1. Abordagem da Cadeia de Suprimento de Biomassa	
m2. Modelo de sistema de fornecimento.	

# SUMÁRIO EXECUTIVO

n. Sistema de fornecimento de Biomassa

n1. Demanda por biomassa

n2. Uso da biomassa florestal

n3. Biomassa para geração de energia

**PRELIMINARES .....35**

1. Preliminares

1.1. Breve Apresentação do Trabalho, Objetivos e Justificativas

1.2. Tipos de Biomassa para Descarbonização Industrial

1.2.1. Diretrizes de Valoração Quantitativa dos Resíduos

1.2.2. Base de Dados do Estudo

1.2.3. Dados de Biomassa no Brasil

1.2.4. Biomassa Carbono Zero

1.2.5. Metodologia do Estudo Setorial

1.2.6. Plataforma de Dados de Biomassa

1.2.7. Sistema de Dados de Produção e Disponibilidade de Biomassa

1.2.8. Objetivos Específicos do Mapeamento

1.2.9. Fatores Básicos da Produção, Potencialidade e Disponibilidade de Biomassa

1.3. Identificação da Brasil Biomassa Consultoria Engenharia Tecnologia

**II CRISE CLIMÁTICA, EMISSÕES CO2, BIOMASSA SUSTENTÁVEL E DESCARBONIZAÇÃO.....120**

2.1. Metas climáticas e estratégias para o desenvolvimento sustentável

2.1.1. Priorizar energias renováveis

2.1.2. Desenvolvimento urbano sustentável

2.1.3. Agricultura sustentável e sistemas alimentares

2.1.4. Resiliência ao clima

2.1.5. Padrões sustentáveis de consumo e produção

2.1.6. Mercado Global

2.2. Biomassa Sustentável

2.2.1. Benefícios da biomassa

# SUMÁRIO EXECUTIVO

2.2.2. Manejo florestal sustentável	
2.2.3. Plano de Reflorestamento	
2.2.4. Certificação florestal	
2.2.5. Redução emissões gases de efeito estufa	
2.2.6. Critérios de sustentabilidade	
2.2.7. Critérios de Verificação de Sustentabilidade	
2.2.7.1 . Economia de emissões de gases de efeito estufa	
2.2.7.2. Aspectos ambientais	
2.2.7.3. Proteção da biodiversidade	
2.2.7.4. Mudança indireta no uso da terra	
2.2.7.5. Preservação de alto estoque de carbono	
2.2.7.6. Manejo florestal e produtividade.	
2.2.2.7. Proteção geral e sustentabilidade	
2.3. Remoções de carbono - Visão Drax Power Energy	
2.4. Energia Limpa e Neutralidade de Carbono	
2.5. Descarbonização industrial	
2.5.1 Descarbonização global	
2.5.2. Visão geral da descarbonização industrial em todo o mundo	
2.5.3. Descarbonização com uso da biomassa	
<b>III DIRETRIZES GERAIS DO SETOR SIDERÚRGICO.....</b>	<b>150</b>
3.1. Siderurgia no Brasil	
3.2. Setor siderúrgico	
3.3. Processo produtivo siderúrgico	
3.3.1.Preparação da carga	
3.3.1.1. Coqueria	
3.3.1.2. Sinterização	
3.3.2. Redução	
3.3.2.1 Processo de redução direta	
3.3.2.2 Processo de redução indireta	

## 3.3.3. Refino

### 3.3.3.1 Aciaria convencional

### 3.3.3.2 Aciaria elétrica

### 3.3.3.3 Refino secundário

## 3.3.4. Laminação e lingotamentos

### 3.3.4.1. Laminação

### 3.3.4.2. Lingotamento

## 3.4. Principais produtos siderúrgicos

### 3.4.1. Aço carbono

### 3.4.2. Aço ligado/especial

### 3.4.3. Aço construção mecânica

### 3.4.4. Aço ferramenta

## 3.5. Características gerais do setor

## 3.6. Emissões CO<sub>2</sub> fabricação de ferro e aço

## 3.7. Balanço energético na siderurgia

### 3.7.1. Energia nas indústrias siderúrgicas

### 3.7.2. Balanço Energético aplicado à siderurgia

### 3.7.3. Intensidade energética na siderurgia

## 3.8. Norma ISO 14401-1 - cálculo de intensidade de emissões CO<sub>2</sub>

### 3.8.1. Limite da emissão de CO<sub>2</sub>

### 3.8.2 Fluxos de massa e energia

### 3.8.3. Fontes de emissões

#### 3.8.3.1. Emissões diretas

#### 3.8.3.2. Emissões indiretas

## 3.9. Geração de energia elétrica na siderurgia

## 3.10. Eficiência energética na siderurgia

### 3.10.1. Soluções para eficiência energética

### 3.10.2. Redução do consumo do carvão vegetal

### 3.10.3. Utilização do pó de balão

### 3.10.4. Aumento da eficiência dos glendons

### 3.10.5. Apagamento a seco do coque

## 3.11. Redução da intensidade carbono na siderurgia

### 3.11.1. Intensidade de carbono

### 3.11.2 Métodos para redução da intensidade de carbono

#### 3.11.2.1 Utilização do biocarbono

#### 3.11.2.2 Utilização de injeção de finos

## **IV DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....250**

### 4.1. Diretrizes gerais da descarbonização

### 4.2. Intensidade de carbono na produção de aço

### 4.3. Estado atual do Brasil

### 4.4. Emissões Indústria do ferro e do aço

### 4.5. Consumo energético da indústria siderúrgica brasileira

### 4.6. Rotas para produção de aço

#### 4.6.1. Métodos de produção do aço

##### 4.6.1.1. BF-BOF (blast furnace – basic oxygen furnace)

##### 4.6.1.2. ST-EAF (scrap steel – electric arc furnace)

##### 4.6.1.3. DRI-EAF (direct reduced iron – electric arc furnace)

### 4.7. Produção de aço via rota integrada

### 4.8. Produção de aço via rota semi-integrada

### 4.9. Etapas de produção de aço

#### 4.9.1. Preparação do Minério de Ferro e do Carvão

#### 4.9.2. Redução do Minério de Ferro

#### 4.9.3. Altos-fornos a coque

#### 4.9.4. Altos-fornos a carvão vegetal

##### 4.9.4.1. Redução direta

##### 4.9.4.2. Refino

##### 4.9.4.3. Conformação Mecânica

### 4.10. Tipos de forno na produção de aço

#### 4.10.1 Alto-Forno e Aciaria a Oxigênio

#### 4.10.2 Forno a Arco Elétrico para Obtenção de Aço

# SUMÁRIO EXECUTIVO

## 4.11. Caminhos de descarbonização

4.11.1. Aumento de eficiência dos processos, integração energética e mássica

4.11.2. Reciclagem e aumento da incorporação de sucata

4.11.3. Aprimoramento tecnológico

## 4.12. Descarbonização do aço com substituição do carvão e coque por biomassa

4.12.1. Descarbonização do aço com substituição do sínter por biomassa

## 4.13. Descarbonização do aço com a produção de biocarvão - biocarbono

4.13.1. Potencial de uso de biocarbono em indústrias de ferro e aço

4.13.2. Comparação das propriedades físico-químicas do biocarbono com carvão e coque

## 4.14 Hidrogênio como alternativa de descarbonização do aço

4.14.1. Diretrizes gerais do Hidrogênio

4.14.1.1. Características

4.14.1.2. Classificação e produção

4.14.1.3. Distribuição

4.14.1.4. Consumo

4.14.1.5. Potenciais aplicações de hidrogênio verde

4.14.1.6. Perspectivas de custo de produção e distribuição

4.14.2. Garantir energia barata, confiável e renovável para produção localizada

## 4.15. Rotas tradicionais para produção de aço

4.15.1 Alto-Forno e Aciaria a Oxigênio

4.15.2 Forno a Arco Elétrico para Obtenção de Aço

## 4.16. Rotas produção de aço com baixas emissões de carbono

4.17. Redução direta do ferro por hidrogênio verde

4.17.1 Redução Direta do Minério de Ferro

4.17.2 Redução Direta do Minério de Ferro por Hidrogênio

4.17.3 Tecnologia HDRI-EAF na Produção de Aço

## 4.18. Produção de aço verde via rota H2 DRI EAF

4.18.1 Minérios e Energias Renováveis de Alta Qualidade para um Aço Verde de Baixo Custo

4.18.2 Competitividade de Mercado nas Próximas Décadas para Localidades Ideais

4.18.3 Produção Localizada com Uso da Energia de Rede

# SUMÁRIO EXECUTIVO

## **4.19. Caminhos descarbonização indústria siderúrgica**

### **4.19.1 O Cenário Nacional de Produção de Aço**

#### **4.19.1.1 O Potencial de Mitigação**

### **4.19.2 Políticas de Descarbonização do Setor Siderúrgico Brasileiro**

### **4.19.3 Principais Tecnologias Sustentáveis e Vantagens Competitivas do Brasil na Siderurgia**

#### **4.19.3.1 Eficiência Energética**

#### **4.19.3.2 Forno a Arco Elétrico**

#### **4.19.3.3 Gás Natural e Tecnologias de Redução Direta**

#### **4.19.3.4 Hidrogênio e Tecnologia de Redução Direta (HDRI)**

##### **4.19.3.4.1 Vantagens Competitivas**

##### **4.19.3.4.2 Desafios e Riscos**

#### **4.19.3.5 Captura e Armazenamento de Carbono**

#### **4.19.3.6 Compensação das Emissões de GEE**

#### **4.19.3.7 Produção de Aço por Eletrólise**

## **4.20. Desafios Econômicos e de Mercado**

### **4.20.1 Produção de "Aço Verde" e Outros Produtos Siderúrgicos Sustentáveis pelo Brasil**

### **4.20.2 Projeções de Emissões e de Produção de Aço no Brasil**

### **4.20.3 Perspectivas Quanto à Adoção de Tecnologias**

### **4.20.4. Oportunidades globais para produção de aço verde à base de H2**

## **4.21. Diretrizes finais da descarbonização do aço**

### **4.21.1. Forno elétrico a arco (EAF)**

### **4.21.2. Redução direta de ferro (DRI)**

### **4.21.3. Novas abordagens**

### **4.21.4. Hidrogênio em BF-BOF e DRI**

### **4.21.5. Injeção de hidrogênio BF-BOF**

### **4.21.6. Hidrogênio em DRI**

### **4.21.7. DRI à base de gás**

### **4.21.8. Resumo da injeção de hidrogênio**

### **4.21.9. Biomassa sólida em BF-BOF e DRI**

### **4.21.10. Biomassa em BF-BOF**

- 4.21.11. Biomassa em DRI à base de carvão
- 4.21.12. Eletrificações diretas: exigência de fluxo de energia e pegada de carbono
- 4.21.13. Retrofit CCUS
- 4.22. Tecnologia de produção hidrogênio verde
  - 4.22.1. Tecnologia Hybrit
  - 4.22.2. Tecnologia H2G
  - 4.22.3. Tecnologia SALCOS
- 4.13 Hidrogênio como agente complementar
- 4.24. Futuro do aço é verde

## **V BIOCARBONO ENERGÉTICO DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIA FERRO E AÇO .....350**

- 5.1 Processos de conversão térmica
- 5.2 Pirólise
  - 5.2.1. Pirólise Lenta
- 5.3 Pirólise Rápida
  - 5.3.1 Reatores para a pirólise rápida
    - 5.3.1.1 Reator de leito fluidizado
    - 5.3.1.2 Leito fluidizado circulante
    - 5.3.1.3 Pirolisador de cone rotativo
    - 5.3.1.4 Reator ablativo
    - 5.3.1.5 Reator rosca sem fim
  - 5.3.2 Rendimentos de bio-óleo em reatores de pirólise rápida
- 5.4. Pirólise rápida de biomassa em reator de leito fluidizado
  - 5.4.1 Fluidodinâmica do leito fluidizado
    - 5.4.1.1 Influência das propriedades das partículas
    - 5.4.1.2 Regimes de fluidização
    - 5.4.1.3 Slugging e tendência de agregação das partículas
    - 5.4.1.4 Qualidade da fluidização
    - 5.4.1.5 Mistura e segregação de misturas binárias
    - 5.4.1.6 Algumas correlações para a previsão da velocidade de mínima fluidização

# SUMÁRIO EXECUTIVO

- 5.4.2 Reatores de leito fluidizado aplicados à pirólise rápida
- 5.4.3 Reações secundárias em reatores de leito fluidizado
  - 5.4.3.1 Mecanismos de reações na pirólise rápida
- 5.5. Produtos da pirólise rápida
  - 5.5.1. Bio-óleo
    - 5.5.1.1. Propriedades do bio-óleo
    - 5.5.1.2 Características do bio-óleo
    - 5.5.1.3 Teor de água no bio-óleo
    - 5.5.1.4 Densidade do bio-óleo
    - 5.5.1.5 Teor de sólidos
    - 5.5.1.6 Teor de oxigênio
    - 5.5.1.7 Poder calorífico
  - 5.5.2 Aplicações do bio-óleo
  - 5.5.3 Upgrading do bio-óleo
  - 5.5.4. Gases da carbonização
    - 5.5.4.1. Gás natural sintético
- 5.6. Biocarvão/Biocarbono
  - 5.6.1. Aspectos gerais de produção do biocarbono
    - 5.6.1.1. Tecnologia biogreen
      - 5.6.1.1.1. Propriedades reológicas e características de fluxo da matéria-prima
      - 5.6.1.1.2. Sistema industrial
      - 5.6.1.1.3. Sistema de secagem
      - 5.6.1.1.4. Sistema de pirólise
      - 5.6.1.1.5. Câmara de pirólise
      - 5.6.1.1.6. Sistema de refrigeração
      - 5.6.1.1.7. Sistema de transporte
    - 5.6.1.2. Tecnologia de Pirólise em Contêineres
  - 5.6.2. Biocarbono combustível energético para minimizar os gases de efeito estufa
  - 5.6.3. Biocarbono como substituto dos combustíveis fósseis
  - 5.6.4. Biocarbono, bio-óleo e gás sintético ao caminho de uma economia neutra em carbono

- 5.6.5. Valorização da biomassa com a tecnologia de pirólise
  - 5.6.5.1. Biocarbono para produção de calor / vapor
  - 5.6.5.2. Produção de biocombustíveis e combustíveis sólidos
  - 5.6.5.3. Produção de Bio-óleo de alta qualidade
  - 5.6.5.4. Produção de Ácido Pirolenhoso
  - 5.6.5.5. Gases sintéticos renováveis
  - 5.6.5.6. Valorização de lodo de esgoto
  - 5.6.5.7. Lodo para aquecimento
  - 5.6.5.8. Geração de energia com uso de plásticos
  - 5.6.5.9. Plásticos para aquecimento em substituição de combustível convencional em caldeiras
  - 5.6.5.10. Resíduos urbanos como fonte de aquecimento
  - 5.6.5.11. Resíduos plásticos para a produção de hidrogênio
  - 5.6.5.12. Resíduos plásticos e urbano para a produção de metano
  - 5.6.5.13. Uso energético da borracha de pneus
  - 5.6.5.14. Processos químicos
  - 5.6.5.15. Tratamento térmico de produtos químicos
  - 5.6.5.16. Valorização da madeira tratada
  - 5.6.5.17. Regeneração de carvão ativado
  - 5.6.5.18. Recuperação de alumínio
  - 5.6.5.19. Valorização de plantas aquáticas e algas
  - 5.6.5.20. Tratamento do lodo químico e da celulose
- 5.6.6. Biocarbono para descarbonização industrial
- 5.6.7. Biocarbono como substituto carvão
- 5.6.8. Vantagens e benefícios do biocarbono
  - 5.6.8.1. Aumento do valor energético da biomassa
  - 5.6.8.2. Menor conteúdo de umidade
  - 5.6.8.3. Combustão limpa
  - 5.6.8.4. Redução das emissões dos GEE
  - 5.6.8.5. Fácil implementação

# SUMÁRIO EXECUTIVO

- 5.6.8.6. Maior compatibilidade ambiental
- 5.6.8.7. Uso energético como combustível zero carbono para as siderúrgicas
- 5.6.8.8. Uso energético como combustível zero carbono para as cimenteiras
- 5.6.8.9. Matéria-prima para produção carvão ativado
- 5.6.8.10. Biocarbono utilizado na produção de briquete
- 5.6.9. Biocarbono como fonte de geração de energia elétrica
- 5.7. Biocarbono ativado
  - 5.7.1. Propriedades texturais do biocarbono ativado: área superficial e porosidade
  - 5.7.2. Ativação do biocarbono
    - 5.7.2.1. Ativação química e física
    - 5.7.2.2. Impregnação em solução
    - 5.7.2.3. Agentes de ativação
    - 5.7.2.4. Comportamento energético
- 5.8. Tecnologia de pirólise de alta temperatura
  - 5.8.1. Processo industrial de biocarbono
  - 5.8.2. Estágio final de produção de biocarbono
- 5.9. Tecnologia Briquete Carbonizado
- 5.10. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do eucalipto
  - 5.10.1 Eucalipto
  - 5.10.2 Pirólise de eucalipto
  - 5.10.3 Pirólise da Casca de Eucalipto
  - 5.10.4 Aparato experimental
  - 5.10.5. Planejamento de experimentos
  - 5.10.6 Separação e análise do bio-óleo
  - 5.10.7 Caracterização da casca de eucalipto
  - 5.10.8 Modelos Cinéticos da pirólise
  - 5.10.9 Pirólise da casca de eucalipto em leito fixo
  - 5.10.10 Resultado do Biocarbono de Eucalipto
- 5.11. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do algodão e café
  - 5.11.1 Borra residual do café

- 5.11.2 Semente de algodão
- 5.11.3 Prensagem da semente de algodão
- 5.11.4 Processo de obtenção de bio-óleo e biocarbono: pirólise rápida
- 5.11.5 Caracterização da biomassa e produtos do processo de pirólise
- 5.11.6 Pirólise da borra residual do café e semente de algodão
- 5.11.7 Estudo da biomassa e caracterização do biocarbono não ativado e ativado
- 5.11.8 Análise imediata, elementar e poder calorífico
- 5.11.9 Análise termogravimétrica
- 5.11.10 Espectroscopia na região do infravermelho
- 5.11.11 Análise e caracterização do biocarbono ativado
- 5.11.12 Análise do biocarbono por microscopia eletrônica de varredura
- 5.11.13 Biocarbono obtidos pela pirólise da borra residual do café
- 5.11.14 Biocarbono obtidos pela pirólise da semente de algodão
- 5.11.15 Análise dos resultados do Biocarbono algodão e café
- 5.12. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do amendoim
  - 5.12.1 Casca de amendoim
  - 5.12.2 Preparação do biocarbono ativado
  - 5.12.3 Ativação física/térmica e química
  - 5.12.4 Tratamento da casca de amendoim
  - 5.12.5 Análise química elementar da casca de amendoim
  - 5.12.6 Determinação do teor de umidade da casca de amendoim
  - 5.12.7 Determinação do teor de cinzas da casca de amendoim.
  - 5.12.8 Determinação do teor de materiais voláteis da casca de amendoim
  - 5.12.9 Análise dos resultados do Biocarbono da casca de amendoim
- 5.13. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do arroz
  - 5.13.1 Produção de arroz e potencial uso dos resíduos gerados
  - 5.13.2 Conversão termoquímica da biomassa do arroz pela pirólise
  - 5.13.3 Pirólise lenta da casca do arroz
  - 5.13.4 Produtos obtidos nos ensaios de pirólise da casca de arroz
  - 5.13.5 Rendimentos dos produtos obtidos na pirólise lenta

# SUMÁRIO EXECUTIVO

- 5.13.6 Caracterização físico-química do biocarbono do arroz
- 5.13.7 Análise dos efeitos dos fatores sobre as variáveis
- 5.13.8 Análise dos resultados do Biocarbono da casca do arroz
- 5.14. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do coco verde
  - 5.14.1 Fibra do coco como matéria-prima
  - 5.14.2 Beneficiamento da casca de coco para obtenção da fibra
  - 5.14.3 Composição química da fibra do coco
  - 5.14.4 Pirólise da biomassa da fibra do coco
  - 5.14.5 Bio-óleo
  - 5.14.6. Biocarbono coco verde
  - 5.14.7 Análise dos resultados do Biocarbono da fibra do coco
- 5.15. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa da cana-de-açúcar
  - 5.15.1 Bagaço de cana-de-açúcar
  - 5.15.2 Processo de conversão da biomassa da cana-de-açúcar
  - 5.15.3 Pirólise da biomassa da cana-de-açúcar
  - 5.15.4 Rendimento da pirólise da biomassa da cana-de-açúcar
  - 5.15.5 Principais produtos obtidos na pirólise da biomassa da cana-de-açúcar
  - 5.15.6 Bio-óleo
  - 5.15.7 Biocarbono da biomassa da cana-de-açúcar
  - 5.15.8 Análise dos resultados do Biocarbono da biomassa da cana-de-açúcar
- 5.16. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do feijão
  - 5.16.1 Resíduo agrícola de Feijão-Caupi
  - 5.16.2 Caracterização da Biomassa do feijão
  - 5.16.3 Processos de conversão da Biomassa do feijão
  - 5.16.4 Pirólise da Vagem de Feijão
  - 5.16.5 Obtenção da Fração Líquida
  - 5.16.6 Extração Líquido-Líquido do bio-óleo
  - 5.16.7 Biocarbono da biomassa do feijão
  - 5.16.8 Análise dos resultados do Biocarbono da biomassa do feijão
- 5.17. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa da laranja

- 5.17.1 Processo de produção
- 5.17.2 Biomassa do bagaço da laranja
- 5.17.3 Pirólise da biomassa da laranja
- 5.17.4 Parâmetros e cinética da pirólise da laranja
- 5.17.5 Produtos e aplicações: biocarbono da biomassa da laranja
- 5.18. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa do milho
- 5.18.1 Sabugo de milho
- 5.18.2 Componentes do sabugo de milho.
- 5.18.3 Produtos da pirólise rápida da biomassa do milho
- 5.18.4 Características do bio-óleo da biomassa do milho
- 5.18.5 Upgrading do bio-óleo da biomassa do milho
- 5.18.6 Efeito dos parâmetros de reação na pirólise rápida de biomassa
- 5.18.7 Efeito do uso de sólidos inertes em um leito fluidizado
- 5.18.8 Biocarbono da biomassa do milho
- 5.18.9 Análise dos resultados do Biocarbono da biomassa do milho
- 5.19. Sistema industrial de produção Biocarbono biomassa da soja
- 5.19.1 Agroindústria da soja e geração de resíduos
- 5.19.2 Etapas de produção e beneficiamento da soja
- 5.19.3 Biomassa da casca de soja
- 5.19.4 Sistema de conversão térmica da biomassa da soja
- 5.19.5 Pirólise rápida em reator de leito fluidizado
- 5.19.6 Reações secundárias
- 5.19.7 Bio-óleo
- 5.19.8 Biocarbono
- 5.19.9 Aplicações do biocarbono da biomassa da soja
- 5.19.10 Análise dos resultados do Biocarbono da biomassa da soja

# DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS – BIOMASSA -BIOCARBONO - HIDROGÊNIO

Catologação na Fonte Brasil. ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável

Descarbonização das Indústrias Siderúrgicas – Biomassa – Biocarbono - Hidrogênio

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. 2024

Conteúdo: 1. Análise da Biomassa do Brasil– 3. Descarbonização das Indústrias Siderúrgicas – Biomassa – Biocarbono – Hidrogênio 3. Projeções de Produção de– Biomassa – Biocarbono - Hidrogênio

II. Título. CDU 621.3(81)“2030” : 338.28 CDU 620.95(81) CDD333.95 (1ed.)

Todos os direitos reservados a Brasil Biomassa e Energia Renovável

Copyright by Celso Marcelo de Oliveira

Tradução e reprodução proibidas sem a autorização expressa do autor.

Nenhuma parte deste estudo pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou meio, incluindo fotocópia, gravação ou informação, ou por meio eletrônico, sem a permissão ou autorização por escrito do autor. Lei 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Edição eletrônica no Brasil e Portugal em versão eletrônica

© 2024 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável .

Proibida a reprodução com ou sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio impresso e eletrônico.

## DESCARBONIZAÇÃO INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS – BIOMASSA -BIOCARBONO – HIDROGÊNIO

**Edição 2024 Total de páginas 500**

**Valor do investimento para aquisição do estudo R\$ 4.000,00**

Para mais detalhes para aquisição pelo e-mail [diretoriabrazilbiomassa@gmail.com](mailto:diretoriabrazilbiomassa@gmail.com)

Também pelo Whats Empresarial (41) 998173023 da ABIB Brasil Biomassa

Desenvolvido pelo comitê Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável. Pela equipe técnica da Brasil Biomassa Consultoria Mapeamento Engenharia e Tecnologia

Av. Candido Hartmann, 570 24 andar Conj. 243 Champagnat Curitiba Paraná



**BIOCARBONO**

# MERCADO GLOBAL BIOCARBONO

---

O setor industrial de siderurgia e cimentos com a produção de biocarbono (substituto do carvão e coque) também deve crescer significativamente nos próximos anos, pois o biocarbono é um produto promissor para combustão, e que pode ser produzido por pirólise usando fontes de energia renováveis. O tamanho do mercado global de pirólise e gaseificação de biomassa foi avaliado em US\$ 12,9 bilhões e espera-se que se expanda a uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 4,4% de 2024 a 2028, de acordo com um relatório da Grand View Research.

A Brasil Biomassa é especializada no desenvolvimento de projetos sustentáveis para o setor sucroenergético para a produção de biogás e biometano (mapeamento de substratos), biocarbono, bio-óleo e syngás (descarbonização aço e cimento) e na produção biopellets (maio planta mundial de biopellets desenvolvida para Cosan Biomassa – Grupo Raizen São Paulo).

**Mais detalhes consulte-nos Whats**

O biocarbono que é um combustível neutro em carbono que pode substituir o carvão fóssil e o coque. É produzido dentro do processo de pirólise e carbonização da biomassa da cana-de-açúcar (bagaço e palha) bruta realizada em condições de temperatura e tempo de residência controlados.

O biocarbono pode oferecer uma alternativa sustentável e livre de fósseis para indústrias como a metalurgia, siderúrgica de produção de aço e as cimenteiras.

De acordo com a avaliação do ciclo de vida, a produção de 1 kg de biocarbono reduz aproximadamente 1,86 kg de emissões de CO<sub>2</sub>e. A maioria dos impactos potenciais do biocarbono no aquecimento global são causados pelas emissões atmosféricas do processo de pirólise. No entanto, as emissões do processo de pirólise são biogênicas.

A maior parte das emissões de gases de efeito estufa de fontes fósseis são causadas pelo fornecimento de biomassa de madeira (0,0539 kg CO<sub>2</sub> eq) e seu transporte para a planta (0,0744 kg CO<sub>2</sub> eq). Mas em compensação com a biomassa (zero carbono) e o produto (biocarbono, bio-óleo e os gases quentes) temos uma redução nas emissões de carbono.

O biocarbono com uso de biomassa da cana-de-açúcar, permite que grandes usuários industriais (cimentos e siderúrgicas) troquem o carvão fóssil/gás natural/coque com emissões elevadas dos gases de efeito estufa por um novo biocombustível neutro em GEE.

## BIOCARBONO BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR

A unidade de pirólise é contínua e utiliza biomassa residual da cana-de-açúcar. A técnica única de pirólise controlada permite o uso da biomassa e uma carbonização precisamente e controlada. A temperatura e o tempo de residência podem ser ajustados com precisão para que o biocarbono resultante seja de qualidade uniforme. O biocarvão é puro e de alta qualidade.

A conversão térmica da biomassa, que é feita sob o processo de condições livres de oxigênio, permite remover compostos orgânicos voláteis e componentes da celulose da matéria-prima e criar um biocombustível sólido e uniforme com características semelhantes aos do carvão fóssil.



## **BIOCARBONO BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR**

Ao contrário da biomassa bruta, o biocarbono possui maior densidade de energia, alto teor de carbono, propriedades hidrofóbicas e resistência significativa à degradação biológica. Graças a isso, o biocarbono pode oferecer uma alternativa sustentável e livre de fósseis para indústrias como a metalurgia, onde usar biomassa bruta como agente redutor em alto-forno normalmente não seria possível devido ao alto teor de umidade da biomassa, baixo carbono fixo e alto teor de matéria volátil e oxigênio. Esses combustíveis estão ganhando cada vez mais atenção nas indústrias intensivas em carbono e o lançamento de novas instalações de produção de Biocarbono para o uso de combustíveis sólidos livres de fósseis.





# BIO-ÓLEO

## BIOCARBONO - BIO-ÓLEO

Outro subproduto do processo é o de produção da biomassa da cana-de-açúcar é o bio-óleo ou óleo de pirólise que é uma substância líquida obtida no processo de pirólise e posterior resfriamento. O óleo de pirólise continua sendo uma fonte interessante de bioquímicos e compostos renováveis que atendem a um interesse significativo do mercado.

No projeto que desenvolvemos de pirólise com a biomassa da cana-de-açúcar tivemos um biocarbono e o bio-óleo de óleos de alta qualidade para uso energético.

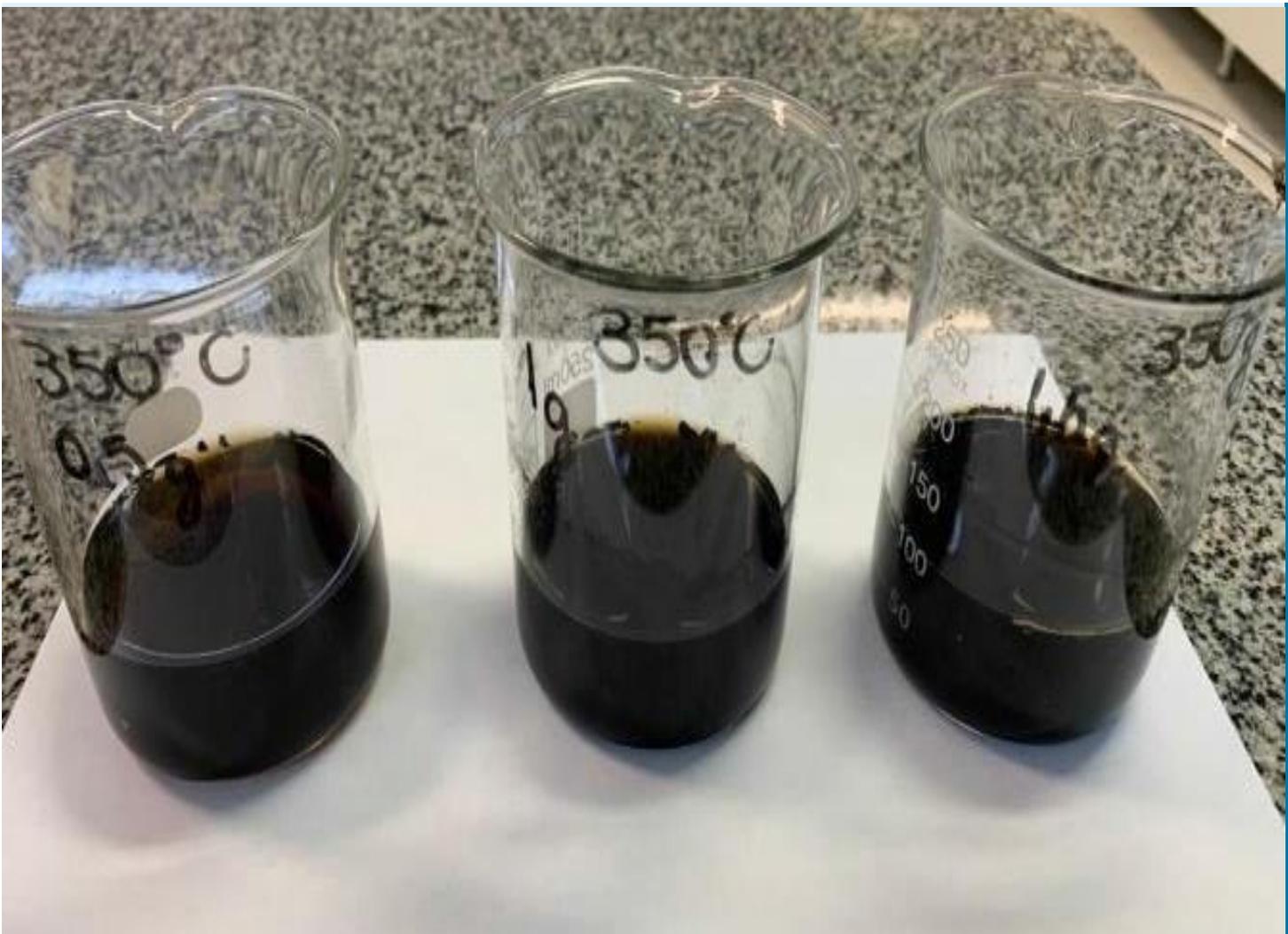
Caracterizado por uma complexa mistura de muitos compostos orgânicos, o bio-óleo proveniente da pirólise da biomassa, é um produto altamente oxigenado formado a partir da despolimerização e fragmentação dos principais constituintes da biomassa: celulose, hemicelulose e lignina.



## BIOCARBONO - BIO-ÓLEO

Apresenta uma coloração marrom escuro, possui odor característico de fumaça, além de ser um produto viscoso e com características que o tornam imiscível em combustíveis fósseis. O bio-óleo tem sido intensamente estudado e os processos de obtenção aprimorados com o intuito de obter um melhor rendimento e qualidade deste combustível renovável.

Uma das propriedades fundamentais a se considerar em uma aplicação como combustível é o poder calorífico de 14 - 18 MJ/kg. Isto pode ser justificado pelo alto conteúdo de oxigênio presente no bio-óleo. Em contrapartida, a densidade do bio-óleo é superior em relação aos derivados do petróleo. O bio-óleo proveniente da degradação térmica da biomassa apresenta uma série de aplicações. Entre as mais interessantes está a possibilidade de uso deste para a produção de energia.





# SYNGÁS

## BIOCARBONO – GÁS SINTÉTICO - SYNGÁS

O processo de pirólise de alta temperatura com a biomassa da cana-de-açúcar que desenvolvemos é realizado na ausência de oxigênio resulta na produção de gás de síntese calorífico em valores de aquecimento excepcionais, até mesmo 36 MJ / Nm<sup>3</sup>. Os gases mais ricos em energia são obtidos a partir de matérias-primas com alto valor calorífico - plásticos, polímeros, frações caloríficas de resíduos urbanos.

O gás sintético gerado que sai do reator (produção biocarbono) é uma mistura quente de fases condensáveis e não condensáveis. A composição dessa mistura depende do material de origem (matéria-prima) e das condições de operação da pirólise. Os gases da pirólise normalmente contêm quantidades significativas de metano, hidrogênio, monóxido de carbono e dióxido, bem como hidrocarbonetos superiores que aumentam seu valor calorífico e um combustível para as indústrias química e energética.



## BIOCARBONO – GÁS SINTÉTICO - SYNGÁS

No estado quente, o gás sintético contém gases condensáveis e permanentes e pode ser considerado uma alternativa, ou fonte de energia renovável, e como combustível para queimadores de gás de síntese de alta temperatura.

Syngas, também chamado de gás de síntese, é uma mistura de moléculas contendo hidrogênio, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, vapores de água, bem como outros hidrocarbonetos e compostos condensáveis. É um produto principal da gaseificação e produto majoritário da pirólise em alta temperatura, presente em qualquer biomassa, resíduos e resíduos. Quando produzido na pirólise, é gerado pela vaporização de compostos voláteis da matéria-prima graças ao calor, que induz um conjunto de reações complexas. A principal aplicação do gás de síntese produzido é normalmente a geração de energia e calor. Isso pode ser realizado em plantas autônomas combinadas de calor e energia (CHP) ou por meio da combustão conjunta do gás produzido em usinas de energia em grande escala.





# HIDROGÊNIO

# MERCADO GLOBAL HIDROGÊNIO

---

O mercado global de hidrogênio verde pode valer US\$ 12 trilhões até 2050, impulsionado por investimentos em tecnologias que produzem hidrogênio a partir de fontes renováveis de energia como a biomassa, de acordo com um relatório da Wood Mackenzie. Até 2050, o hidrogênio representará apenas 5% da demanda global por energia. O Brasil tem potencial de exportação que pode chegar 5 bilhões de dólares por ano.

O Brasil pode se tornar um dos maiores produtores globais de GH2 devido ao baixo custo derivado de seus recursos naturais e sua rede elétrica limpa e integrada, o que reduz a necessidade de investimento de capital (capex). Para completar esse quadro favorável, a demanda interna de GH2 pode representar cerca de 60% da oferta total. Isso cria um potencial mercado adicional para o GH2 de até US\$ 5 e 20 bilhões em 2030 e 2040.

A Brasil Biomassa é especializada no desenvolvimento de projetos sustentáveis para o setor sucroenergético para a produção de biogás e biometano (mapeamento de substratos), biocarbono, bio-óleo e syngás (descarbonização aço e cimento) e na produção biopellets (maio planta mundial de biopellets desenvolvida para Cosan Biomassa – Grupo Raizen São Paulo).

**Mais detalhes consulte-nos Whats**

Sendo uma fonte de energia sustentável, o hidrogênio é uma alternativa promissora aos combustíveis fósseis. Por ser um combustível limpo e amigo do ambiente, que produz água em vez de gases com efeito de estufa após a combustão. Seu alto rendimento energético de 122 kJ/g, que é 2,75 vezes maior que o do combustível hidrocarboneto. O hidrogênio pode ser usado diretamente para produzir eletricidade através de células de combustível. O hidrogênio pode ser gerado principalmente a partir da biomassa da cana-de-açúcar e água por processos químicos ou biológicos. Biologicamente, o hidrogênio pode ser produzido pelas rotas fotossintéticas e fermentativas, que são mais ecológicas e menos intensivas em energia em comparação com processos termoquímicos e eletroquímicos

A cana-de-açúcar é uma das culturas industriais mais importante no Brasil. O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo do processo de extração da cana-de-açúcar. Como o bagaço representa aproximadamente 23% a 25% da massa da cana-de-açúcar O uso mais comum do bagaço de cana-de-açúcar é a produção de energia por combustão direta em caldeira industrial que pode causar problemas ambientais pelas emissões de CO<sub>2</sub>. Embora a usina utiliza o bagaço como fonte de energia térmica este resíduo pode ser utilizado como um produto energético alternativo, como o hidrogênio.

O hidrogênio converte eletricidade e energia inutilizável em uma fonte de energia química altamente versátil e limpa. É a melhor forma de descarbonizar a ecologia química industrial, incluindo a metalurgia limpa, os combustíveis para veículos (convencionais e emergentes, incluindo o hidrogênio diretamente), os fertilizantes, os plásticos e os produtos químicos de base. Embora possa ser transportado, como gás ou líquido altamente comprimido, ou como amônia líquida, uma das melhores maneiras de utilizá-lo é conectar um produtor de hidrogênio diretamente ao usuário final.

## HIDROGÊNIO VERDE BIOMASSA BAGAÇO E VINHAÇA

A vinhaça é um resíduo resultante da produção de etanol. Geralmente é utilizado como fertilizante na fertirrigação de culturas, principalmente de cana-de-açúcar, por ser rico em potássio. Transportar esse resíduo até a área de plantação da cana-de-açúcar é um processo caro e trabalhoso para as usinas. Sem contar que se for distribuída incorretamente, a vinhaça pode prejudicar a cultura e o solo, além de vazar para o lençol freático. Existe tecnologia nacional de aproveitamento da vinhaça na produção de hidrogênio. A composição da vinhaça é 95% água e com aplicação de um reator para desintegrar as moléculas de água e gerar oxigênio e hidrogênio verde. Outra vantagem do reator é que ele deixa a vinhaça mais concentrada – onde para cada litro de etanol são produzidos cerca de 10 litros de vinhaça.

O hidrogênio verde também pode alimentar veículos com motor de célula de combustível, que é um dos tipos de veículos totalmente elétricos que circulam agora nas rodovias do mundo, especialmente no Japão. O outro modo são veículos elétricos alimentados por baterias recarregáveis através de pontos de conexão especiais. No motor de um veículo com célula de combustível, o hidrogênio reage com o oxigênio que vem do meio ambiente. A energia elétrica liberada alimenta o veículo e o processo deixa apenas calor e água pura como resíduos. Atualmente, este hidrogênio é obtido mundialmente a partir do gás natural, o que deixa pegadas de CO<sub>2</sub>. Surge assim a importância de encontrar formas de produzir hidrogênio verde.

