

# RELATÓRIO ENERGÉTICO BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR

# 2025

E  
D  
I  
T  
O  
R  
A

B  
R  
A  
S  
I  
L

B  
I  
O  
M  
A  
S  
S  
A



**Biochar Biopellets Biocarbono Biometano  
Biogás Briquete Bioenergia Cana-de-açúcar  
com Captura e Armazenamento de Carbono  
Hidrogênio Verde**

# SUMÁRIO EXECUTIVO

## RELATÓRIO ENERGÉTICO

### BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR

INTRODUÇÃO.....	28
Declarações Prospectivas	
Apresentação do Relatório Energético da Biomassa da Cana-de-açúcar	
Escopo do Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar	
Metodologia do Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar	
CAPÍTULO I SETOR SUCROENERGÉTICO BRASILEIRO.....	62
Seção 1 Setor Sucroenergético.....	62
1.1. Panorama do Setor Sucroenergético Brasileiro	
1.1.1. Projeções de Dados de Produção Cana-de-açúcar Safra 2024/25	
1.1.2. Regiões Produtoras da Cana-de-açúcar	
1.1.3. Produtividade Nacional Lavouras de Cana-de-açúcar	
1.1.4. Importância Econômica da Cana-de-açúcar	
Seção 2 Cana-de-Açúcar e Cana Energia.....	80
1.2. Classificação da Cana-de-açúcar	

1.2.1. Características das Espécies da Cana-de-açúcar	
1.2.2. Variedades Comerciais de Cana-de-açúcar	
1.2.3. Morfologia da Cana-de-açúcar	
1.2.4. Diretrizes Gerais da Cana Energia	
Seção 3 Sistema de Colheita da Cana-de-Açúcar.....	95
1.3. Colheita da Cana-de-açúcar	
1.3.1 Colheita manual da Cana-de-açúcar	
1.3.2 Colheita mecanizada da Cana-de-açúcar	
1.3.3. Processamento da Cana-de-açúcar	
1.3.4. Qualidade da Cana-de-açúcar	
1.3.5. Importância da Qualidade da Cana para a Eficiência Industrial	
<b>CAPÍTULO II DADOS EMPRESARIAIS SETOR CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>120</b>
Seção 1 Dados Empresariais do Setor Cultivo da Cana-de-açúcar.....	120
2.1. Mercado Empresas de Cultivo da Cana-de-açúcar	
2.1.1. Empresas no Brasil que atuam no cultivo da cana-de-açúcar	
2.1.2. Macrolocalização e Mercado do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar	
2.1.3. Diagnóstico do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar - Mercado Empresarial	
2.1.3.1. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar	
2.1.3.2. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar por Estados	

2.1.3.3. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar Maiores Municípios

2.1.3.4. Dados Societários das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.5. Porte Empresarial das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.6. Regime tributário das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.7. Tempo de Abertura das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.8. Capital Social das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.9. Dados de Faturamento das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

2.1.3.10. Dados de Trabalho das Empresas do Setor Brasileiro Cultivo da Cana-de-açúcar

Seção 2 Dados Empresariais Setor Processamento da Cana-de-açúcar.....135

2.2. Mercado Empresas de Processamento da Cana-de-açúcar

2.2.1. Empresas no Brasil que atuam no Processamento da cana-de-açúcar

2.2.2. Macrolocalização e Mercado do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

2.2.3. Diagnóstico do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar - Mercado Empresarial

2.2.3.1. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

2.2.3.2. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar por Estados

2.2.3.3. Macrolocalização e Quantitativo de Empresas Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar Maiores Municípios

2.2.3.4. Dados Societários das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

- 2.2.3.5. Porte Empresarial das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.6. Regime tributário das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.7. Tempo de Abertura das Empresas do Setor Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.8. Capital Social das Empresas do Setor Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.9. Dados de Faturamento das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar
- 2.2.3.10. Dados de Trabalho das Empresas do Setor Brasileiro Processamento da Cana-de-açúcar

<b>CAPÍTULO III DADOS PRODUÇÃO CANA-DE-AÇÚCAR.....</b>	<b>150</b>
Seção 1 Área Plantada da Cana-de-açúcar.....	150
3.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar Safra 2024/25 no Brasil	
3.1.1. Regiões Produtoras de Cana-de-açúcar no Brasil	
3.1.1.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar na Região Norte	
3.1.1.1.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Amazonas	
3.1.1.1.2. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Pará	
3.1.1.1.3. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Tocantins	
3.1.1.2. Área Plantada da Cana-de-açúcar na Região Nordeste	
3.1.1.2.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Maranhão	
3.1.1.2.2. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Piauí	
3.1.1.2.3. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte	
3.1.1.2.4. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado da Paraíba	

3.1.1.2.5. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco	
3.1.1.2.6. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas	
3.1.1.2.7. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado de Sergipe	
3.1.1.2.8. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado da Bahia	
3.1.1.3. Área Plantada da Cana-de-açúcar na Região Centro Oeste	
3.1.1.3.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado de Goiás	
3.1.1.3.2. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso	
3.1.1.3.3. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul	
3.1.1.4. Área Plantada da Cana-de-açúcar na Região Sudeste	
3.1.1.4.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Espírito Santo	
3.1.1.4.2. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado de Minas Gerais	
3.1.1.4.3. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Rio de Janeiro	
3.1.1.4.4. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo	
3.1.1.5. Área Plantada da Cana-de-açúcar na Região Sul	
3.1.1.5.1. Área Plantada da Cana-de-açúcar no Estado do Paraná	
Seção 2 Produção de Cana-de-açúcar.....	170
3.2. Produção de Cana-de-açúcar Safra 2024/25 no Brasil	
3.2.1. Produção de Cana-de-açúcar por Regiões no Brasil	
3.2.1.1. Produção de Cana-de-açúcar na Região Norte	
3.2.1.1.1. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Amazonas	
3.2.1.1.1.1 Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Amazonas	
3.2.1.1.2. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Pará	
3.2.1.1.2.1 Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Pará	

- 3.2.1.1.3. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Tocantins
  - 3.2.1.1.3.1 Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Tocantins
- 3.2.1.2. Produção de Cana-de-açúcar na Região Nordeste
  - 3.2.1.2.1. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Maranhão
    - 3.2.1.2.1.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Maranhão
  - 3.2.1.2.2. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Piauí
    - 3.2.1.2.2.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Piauí
  - 3.2.1.2.3. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte
    - 3.2.1.2.3.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Rio Grande do Norte
  - 3.2.1.2.4. Produção de Cana-de-açúcar no Estado da Paraíba
    - 3.2.1.2.4.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar na Paraíba
  - 3.2.1.2.5. Produção de Cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco
    - 3.2.1.2.5.1. Mapa Localização das Unidades Produção Cana-de-açúcar em Pernambuco
  - 3.2.1.2.6. Produção de Cana-de-açúcar no Estado de Alagoas
    - 3.2.1.2.6.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar em Alagoas
  - 3.2.1.2.7. Produção de Cana-de-açúcar no Estado de Sergipe
    - 3.2.1.2.7.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar em Sergipe
  - 3.2.1.2.8. Produção de Cana-de-açúcar no Estado da Bahia
    - 3.2.1.2.8.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar na Bahia
- 3.2.1.3. Produção de Cana-de-açúcar na Região Centro Oeste
  - 3.2.1.3.1. Produção de Cana-de-açúcar no Estado de Goiás
    - 3.2.1.3.1.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar em Goiás
  - 3.2.1.3.2. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso

- 3.2.1.3.2.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Mato Grosso
- 3.2.1.3.3. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul
  - 3.2.1.3.3.1. Mapa Localização das Unidades de Produção Cana-de-açúcar no Mato Grosso Sul
- 3.2.1.4. Produção de Cana-de-açúcar na Região Sudeste
  - 3.2.1.4.1. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Espírito Santo
    - 3.2.1.4.1.1. Mapa Localização das Unidades Produção Cana-de-açúcar no Espírito Santo
  - 3.2.1.4.2. Produção de Cana-de-açúcar no Estado de Minas Gerais
    - 3.2.1.4.2.1. Mapa Localização das Unidades Produção Cana-de-açúcar em Minas Gerais
  - 3.2.1.4.3. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Rio de Janeiro
    - 3.2.1.4.3.1. Mapa Localização das Unidades Produção Cana-de-açúcar no Rio de Janeiro
  - 3.2.1.4.4. Produção de Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo
    - 3.2.1.4.4.1. Mapa Localização das Unidades Produção Cana-de-açúcar em São Paulo
- 3.2.1.5. Produção de Cana-de-açúcar na Região Sul
  - 3.2.1.5.1. Produção de Cana-de-açúcar no Estado do Paraná
    - 3.2.1.5.1.1. Mapa Localização das Unidades Produção Cana-de-açúcar no Paraná

Seção 3 Produção de Etanol.....200

- 3.3. Produção de Etanol Safra 2024/25 no Brasil
  - 3.3.1. Produção de Etanol por Regiões no Brasil
    - 3.3.1.1. Produção de Etanol na Região Norte
      - 3.3.1.1.1. Produção de Etanol no Estado do Amazonas
      - 3.3.1.1.2. Produção de Etanol no Estado do Pará
      - 3.3.1.1.3. Produção de Etanol no Estado do Tocantins

- 3.3.1.2. Produção de Etanol na Região Nordeste
  - 3.3.1.2.1. Produção de Etanol no Estado do Maranhão
  - 3.3.1.2.2. Produção de Etanol no Estado do Piauí
  - 3.3.1.2.3. Produção de Etanol no Estado do Rio Grande do Norte
  - 3.3.1.2.4. Produção de Etanol no Estado da Paraíba
  - 3.3.1.2.5. Produção de Etanol no Estado de Pernambuco
  - 3.3.1.2.6. Produção de Etanol no Estado de Alagoas
  - 3.3.1.2.7. Produção de Etanol no Estado de Sergipe
  - 3.3.1.2.8. Produção de Etanol no Estado da Bahia
- 3.3.1.3. Produção de Etanol na Região Centro Oeste
  - 3.3.1.3.1. Produção de Etanol no Estado de Goiás
  - 3.3.1.3.2. Produção de Etanol no Estado do Mato Grosso
  - 3.3.1.3.3. Produção de Etanol no Estado do Mato Grosso do Sul
- 3.3.1.4. Produção de Etanol na Região Sudeste
  - 3.3.1.4.1. Produção de Etanol no Estado do Espírito Santo
  - 3.3.1.4.2. Produção de Etanol no Estado de Minas Gerais
  - 3.3.1.4.3. Produção de Etanol no Estado do Rio de Janeiro
  - 3.3.1.4.4. Produção de Etanol no Estado de São Paulo
- 3.3.1.5. Produção de Etanol na Região Sul
  - 3.3.1.5.1. Produção de Etanol no Estado do Paraná

## **CAPÍTULO IV METODOLOGIA CÁLCULO BIOMASSA CANA-DE-AÇÚCAR..225**

**Seção 1 Pontas e Palhiço da Cana-de-açúcar.....225**

**4.1. Pontas e Palhiço da Cana-de-açúcar**

4.1.1. Composição Físico-química do Palhiço da Cana-de-açúcar	
4.1.2. Metodologia de Cálculo da Biomassa do Palhiço da Cana-de-açúcar	
4.1.3. Quantitativo da Biomassa do Palhiço da Cana-de-açúcar no Brasil	
4.1.4. Descritivo do Quantitativo de Biomassa do Palhiço da Cana-de-açúcar por Regiões e Estados	
Seção 2 Bagaço da Cana-de-açúcar.....	240
4.2. Bagaço da Cana-de-açúcar	
4.2.1. Composição Físico-química do Bagaço da Cana-de-açúcar	
4.2.2. Metodologia de Cálculo da Biomassa do Bagaço da Cana-de-açúcar	
4.2.3. Quantitativo da Biomassa do Bagaço da Cana-de-açúcar no Brasil	
4.2.4. Descritivo do Quantitativo de Biomassa do Bagaço da Cana-de-açúcar por Regiões e Estados	
Seção 3 Vinhaça da Cana-de-açúcar.....	255
4.3. Vinhaça da Cana-de-açúcar	
4.3.1. Composição Físico-química do Vinhaça da Cana-de-açúcar	
4.3.2. Metodologia de Cálculo da Biomassa da Vinhaça da Cana-de-açúcar	
4.3.3. Quantitativo da Biomassa da Vinhaça da Cana-de-açúcar no Brasil	
4.3.4. Descritivo do Quantitativo de Biomassa da Vinhaça da Cana-de-açúcar por Regiões e Estados	
Seção 4 Outros Resíduos da Cana-de-açúcar.....	270
4.4. Resíduos gerais da Cana-de-açúcar	
4.4.1. Água de Lavagem da Cana-de-açúcar	
4.4.1.1. Quantitativo da Biomassa da Água de Lavagem da Cana-de-açúcar no Brasil	

#### 4.4.2. Torta de Filtro da Cana-de-açúcar

##### 4.4.2.1. Quantitativo da Biomassa da Torta de Filtro da Cana-de-açúcar no Brasil

#### 4.4.3. Cinzas e Fuligem da Caldeira Industrial

#### 4.4.4. Óleo Fúsel

#### 4.4.5. Levedura Seca

## CAPÍTULO V PRODUÇÃO DISPONIBILIDADE DE RESÍDUOS DO CULTIVO E DO PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....290

### 5.1.1. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Amazonas

#### 5.1.1.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar

#### 5.1.1.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar

#### 5.1.1.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar

### 5.1.2. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Pará

#### 5.1.2.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar

#### 5.1.2.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar

#### 5.1.2.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar

### 5.1.3. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Tocantins

#### 5.1.3.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar

#### 5.1.3.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar

#### 5.1.3.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar

### 5.2. Diagnóstico de produção e disponibilidade de biomassa da cana-de-açúcar na Região Nordeste

#### 5.2.1. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Alagoas

##### 5.2.1.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar

- 5.2.1.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
- 5.2.1.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.2. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado da Bahia
  - 5.2.2.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.2.2.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.2.2.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.3. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Maranhão
  - 5.2.3.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.2.3.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.2.3.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.4. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado da Paraíba
  - 5.2.4.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.2.4.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.2.4.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.5. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco
  - 5.2.5.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.2.5.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.2.5.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.6. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Piauí
  - 5.2.6.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.2.6.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.2.6.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.7. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte

- 5.2.7.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
- 5.2.7.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
- 5.2.7.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.2.8. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado de Sergipe
  - 5.2.8.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.2.8.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.2.8.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.3. Diagnóstico de produção e disponibilidade de biomassa da cana-de-açúcar na Região Centro-oeste
  - 5.3.1. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado de Goiás
    - 5.3.1.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
    - 5.3.1.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
    - 5.3.1.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
  - 5.3.2. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso
    - 5.3.2.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
    - 5.3.2.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
    - 5.3.2.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
  - 5.3.3. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Mato Grosso do Sul
    - 5.3.3.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
    - 5.3.3.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
    - 5.3.3.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.4. Diagnóstico de produção e disponibilidade de biomassa da cana-de-açúcar no Sudeste

- 5.4.1. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado de Espírito Santo
  - 5.4.1.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.4.1.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.4.1.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.4.2. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Minas Gerais
  - 5.4.2.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.4.2.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.4.2.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.4.3. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Rio de Janeiro
  - 5.4.3.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.4.3.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.4.3.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.4.4. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo
  - 5.4.4.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
  - 5.4.4.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
  - 5.4.4.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar
- 5.5. Diagnóstico de produção e disponibilidade de biomassa da cana-de-açúcar na Região Sul
  - 5.5.1. Cenário de produção da cultura da cana-de-açúcar no Estado do Paraná
    - 5.5.1.1. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar
    - 5.5.1.2. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa do palhiço da cana-de-açúcar
    - 5.5.1.3. Quantitativo residual e disponibilidade da biomassa da vinhaça da cana-de-açúcar

CAPÍTULO VI APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	350
SEÇÃO 1 Rotas de Conversão de Biomassa da Cana-de-açúcar. ....	350
6.1. Rotas de Conversão da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.1.1. Palhiço da cana-de-açúcar: uma nova biomassa	
6.1.1.1. Recolhimento e processamento do palhiço	
6.1.1.2. Recolhimento e Processamento do Palhiço da Cana-de-açúcar	
6.1.1.3. Processamento do Palhiço Enfardado	
6.1.1.4 Sistemas de Limpeza da Cana-de-açúcar a Seco	
6.1.1.5. Queima de Palhiço e Bagaço	
6.1.1.6. Composição Química do Palhiço da Cana-de-açúcar	
6.1.1.7. Impactos do palhiço na operação das caldeiras	
6.1.1.8. Formação de depósitos e incrustações nas caldeiras de biomassa	
6.1.1.9. Sistemas de Lavagem e Drenagem do palhiço	
6.1.1.10. Uso de moendas no processamento do palhiço	
6.1.1.11. Estudos de Lixiviação do Palhiço em Escala de Bancada	
6.1.1.12. Processamento do Palhiço	
6.1.2 Pré-Tratamento e Preparação da Biomassa de Cana-de-açúcar	
6.1.2.1 Pré-tratamento da Térmico	
6.1.2.2 Pré-tratamento por explosão de vapor	
6.1.2.3 Pré-tratamento por micro-ondas	
6.1.2.4. Pré-tratamento por água quente líquida.	
6.1.2.5. Outros tipos de pré-tratamentos da biomassa do Cana-de-açúcar	
6.1.2.5.1. Tratamento por Lavagem	

- 6.1.2.5.2. Tecnologia de Lavagem
- 6.1.2.5.3. Efeito da Lavagem nas Propriedades
- 6.1.2.5.4. Lavagem do Palhiço da Cana-de-açúcar
- 6.1.2.5.5. Sistema de lavagem das partículas de Cana-de-açúcar
- 6.1.2.5.6. Propriedades dos Líquidos residuais
- 6.1.2.5.7. Propriedades da Biomassa lavada
- 6.1.2.5.8. Teor de cloro nos componentes da biomassa de Cana-de-açúcar
- 6.1.2.5.9. Teor de cloro nas partículas da Biomassa Cana-de-açúcar após a lavagem
- 6.1.2.5.10. Cloro presente no líquido residual da lavagem
- 6.1.3 Secagem da Biomassa de Cana-de-açúcar
  - 6.1.3.1. Secadores de Tambores Rotativo
  - 6.1.3.2. Secadores de Pás de Biomassa
  - 6.1.3.3. Secadores de Leito Fluidizado de biomassa
  - 6.1.3.4. Secador de Esteira de Biomassa
  - 6.1.3.5. Secadores de Bandeja
  - 6.1.3.6. Secadores Flash.
  - 6.1.3.7. Secadores de Vapor Superaquecido
  - 6.1.3.8. Secadores de Cascata
  - 6.1.3.9. Principais Componentes de um Secador de Biomassa.
  - 6.1.3.10. Critérios de Seleção de Secador de Biomassa
- 6.1.4. Moagem da Biomassa da Cana-de-açúcar

Seção 2 Tecnologias de Conversão da Biomassa da Cana-de-açúcar .....400

6.2.Tecnologias de Conversão da Biomassa da Cana-de-açúcar

- 6.2.1. Biocombustíveis Líquidos
- 6.2.2. Biocombustíveis Gasosos
- 6.2.3. Biocombustíveis Sólidos
- 6.2.4. Conversão Termoquímica da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.2.5. Pirólise ou Carbonização da Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.2.5.1. Biochar
  - 6.2.5.2. Extrato Pirolenhoso
  - 6.2.5.3. Gás sintético
  - 6.2.5.4. Biocarbono
  - 6.2.5.5. Bio-óleo
- 6.2.6. Liquefação Hidrotérmica da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.2.7. Gaseificação da Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.2.7.1. Gaseificador de Leito Fixo
  - 6.2.7.2. Gaseificador Updraft
  - 6.2.7.3. Gaseificador Downdraft
  - 6.2.7.4. Gaseificador de Leito Fluidizado
- 6.2.8. Combustão da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.2.9. Cogeração da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.2.10. Torrefação da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.2.11. Incineração da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.2.12. Conversão Biológica da Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.2.12.1. Fermentação
- 6.2.13. Digestão Anaeróbica da Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.2.13.1. Biogás

6.2.13.2. Biometano	
6.2.13.3. Biofertilizante e Amônia Verde	
6.2.13.4. CO2 Industrial	
6.2.14. Compostagem Aeróbica	
6.2.15. Conversão Bioquímica da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.2.15.1. Hidrólise	
6.2.15.2. Transesterificação	
6.2.15.3. Gaseificação de Água Supercrítica	
6.2.15.4. Liquefação da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.2.15.5. Craqueamento	
6.2.16. Conversão Física da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.2.16.1. Briquetagem	
6.2.16.2. Extração	
6.2.16.3. Destilação	
6.2.16.4. Peletização da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.2.17. Tecnologias Híbridas da Biomassa da Cana-de-açúcar	
Seção 3 Biochar/Biocarbono Biomassa da Cana-de-açúcar. ....	470
6.3. Diretrizes Gerais Biochar	
6.3.1. Pirólise da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.3.2. Processos de Conversão Térmica pela Pirólise	
6.3.3. Processo de Degradação Térmica da Pirólise	
6.3.4. Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.3.4.1. Aspectos Gerais de Produção do Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar	

- 6.3.4.2. Fatores de Influência: Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.3.4.3. Biochar numa Economia Neutra em Carbono
- 6.3.4.4. Propriedades do Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.3.4.5. Estágio final de produção de Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.3.4.6. Rendimento dos combustíveis energéticos
- 6.3.4.7. Rendimento de Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.3.4.8. Caracterização da fração de Biochar da Biomassa da Cana-de-açúcar
- 6.3.4.9. Composição do biochar da palha e do bagaço de cana-de-açúcar
- 6.3.4.10. Utilização de biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar para diferentes aplicações
- 6.3.4.11. Remediação de poluentes
- 6.3.4.12. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de CO<sub>2</sub>
- 6.3.4.13. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar como aditivo em compósitos
- 6.3.4.14. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar como catalisador
- 6.3.4.15. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar na construção civil
- 6.3.4.16. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar em corretivos de solo
- 6.3.4.17. Biochar à base de bagaço de cana-de-açúcar como sequestro de carbono
- 6.3.5. Gás sintético
  - 6.3.5.1. Gases da carbonização
  - 6.3.5.2. Gás natural sintético – Syngas
- 6.3.6. Extrato Pirolenhoso
  - 6.3.6.1. Composição do Extrato Pirolenhoso
  - 6.3.6.2. Propriedades do extrato pirolenhoso.
  - 6.3.6.3. Processo Produção Extrato Pirolenhoso.

- 6.3.6.4. Utilizações do Extrato Pirolenhoso
- 6.3.6.5. Extrato Pirolenhoso como fertilizante e condicionador de solo
- 6.3.7. Vinagre de Madeira
- 6.3.8. Biocarbono Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.3.8.1. Aspectos Gerais Biocarbono Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.3.8.2. Biomassa da Cana-de-açúcar para Produção Biocarbono
  - 6.3.8.3. Principais Aspectos de Produção do Biocarbono Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.3.8.4. Produção e atualização de Biocarbono Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.3.8.5. Biocarbono de Alta Eficiência
  - 6.3.8.6. Biocarbono Energético
  - 6.3.8.7. Vantagens e Benefícios Biocarbono Biomassa da Cana-de-açúcar
  - 6.3.8.8. Tecnologia da Pirólise de Alta Temperatura
  - 6.3.8.9. Tecnologia Biogreen
    - 6.3.8.9.1. Propriedades Reológicas e Fluxo da Matéria-prima
    - 6.3.8.9.2. Sistema industrial
    - 6.3.8.9.3. Sistema de secagem
    - 6.3.8.9.4. Sistema de pirólise
    - 6.3.8.9.5. Câmara de pirólise
    - 6.3.8.9.6. Sistema de refrigeração
    - 6.3.8.9.7. Sistema de transporte
  - 6.3.8.10. Tecnologia de Pirólise em Contêineres
  - 6.3.8.11. Aplicações do Biocarbono em Processos de Fabricação de Aço

Seção 4 Biometano/Gás Natural Verde Biomassa Cana-de-açúcar.....	550
6.4. Biogás	
6.4.1. Digestão Anaeróbica da Biomassa Cana-de-açúcar	
6.4.2. Limpeza de Biogás	
6.4.3. Atualização de Biogás	
6.4.4. Tipos de Substratos Biomassa Cana-de-açúcar	
6.4.5. Logística e Avaliação dos Substratos	
6.4.6. Sistema de Purificação de Biogás e Geração de Biometano	
6.4.7. Produção de Biometano	
6.4.8. Produção CO2 Industrial	
6.4.9. Produção de Amônia Verde	
6.4.10. Biometano e Ecologização da Rede (Gás Natural Verde)	
6.4.11. Biometano da Cana-de-açúcar e Captura e Armazenamento de Carbono	
Seção 5 Biopellets Biomassa da Cana-de-açúcar. ....	580
6.5. Indústria 4.0 Produção Biopellets da Cana-de-açúcar	
6.5.1. Modularização Industrial de Biopellets da Cana-de-açúcar	
6.5.2. Diretrizes Gerais da Tecnologia Produção de BioPellets	
6.5.3. Sistema Industrial de Produção de Biopellets da Cana-de-açúcar	
6.5.4. Layout da Planta Industrial	
6.5.5. Fluxo de Produção de Biopellets de Cana-de-açúcar	
6.5.6. Dimensionamento da Unidade de Biopellets de Cana-de-açúcar	
6.5.7. Atividades e Área Prevista no Empreendimento de Produção de Biopellets	
6.5.8. Sistema Recepção Biomassa Cana-de-açúcar	

6.5.9. Sistema Preparação da Biomassa Cana-de-açúcar	
6.5.10. Sistema Secagem da Biomassa Cana-de-açúcar	
6.5.11. Sistema Moagem da Biomassa Cana-de-açúcar	
6.5.12. Sistema Peletização Biomassa Cana-de-açúcar	
6.5.13. Sistema Resfriamento Biopellets Cana-de-açúcar	
6.5.14. Sistema Expedição Embalagem Biopellets Cana-de-açúcar	
6.5.15. Sistema Elétricos e Automação Industrial	
6.5.16. Biopellets da cana-de-açúcar e Carbono Neutro	
6.5.17. Diretrizes Gerais das Vantagens na Produção e uso dos Biopellets da cana-de-açúcar	
6.5.18. Biopellets da cana-de-açúcar para a Descarbonização Industrial	
6.5.19. Bioeconomia e Baixo Carbono no uso de Biopellets da cana-de-açúcar	
6.5.20. Economia de escala na produção de Biopellets da cana-de-açúcar	
6.5.21. Economia Circular e Biopellets da cana-de-açúcar	
6.5.22. Logística Reversa na Produção de Biopellets da cana-de-açúcar	
Seção 6 Briquete Biomassa Cana-de-açúcar.....	640
6.6. Briquete da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.6.1. Processo Industrial de Briquetagem	
6.6.1.1. Preparação	
6.6.1.2. Mistura	
6.6.1.3. Pré-Compactação	
6.6.1.4. Compactação	
6.6.1.5. Tratamento Térmico	

6.6.2. Tecnologia Industrial de Produção de Brique de Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.6.3. Resíduos Compactáveis Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.6.4. Tipos de Sistema de Briquetagem Industrial	
6.6.5. Desenvolvimento Unidade Industrial de Brique de Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.6.6. Cominuição Industrial	
6.6.7. Processo de Peneiramento e Granulometria	
6.6.8. Processo de Secagem Industrial	
6.6.9. Exaustão e Depósito de Matéria-Prima Seca	
6.6.10. Processo Industrial de Briquetagem	
6.6.11. Armazenamento	
6.6.12. Expedição e Entrega do Brique de Biomassa da Cana-de-açúcar	
Seção 7 Captura e Armazenamento de Carbono e Bioenergia Cana-de-açúcar.....	680
6.7. Bioenergia Cana-de-açúcar com Captura e Armazenamento de Carbono	
6.7.1. Opções Tecnológicas para Remoção de CO <sub>2</sub>	
6.7.2. Tecnologia como Captura Pós-combustão - Drax Power Energy	
6.7.3. Captura e Armazenamento Direto de Carbono no Ar	
6.7.4. Emissões de CO <sub>2</sub> da produção e transporte de biomassa	
6.7.5. Uso de biomassa para BECCS	
6.7.6. Tecnologias Captura e Armazenamento de Carbono de Bioenergia	
6.7.7. Conversão de Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.7.8. Tecnologias Avançadas de Conversão	
6.7.9. Tecnologias de Captura de CO <sub>2</sub>	
6.7.10. Captura Pós-combustão	

6.7.11. Captura de Oxi-combustão	
6.7.12. Captura Pré-combustão	
6.7.13. Opções Tecnológicas Atuais e Futuras	
6.7.14. Modelo de Controle Ambiental Integrado	
6.7.15. Custos de Carbono	
6.7.16. Custo do Carbono Armazenado	
6.7.17. Custo do Carbono Evitado	
6.7.18. Desafios e Impactos da Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono	
6.7.19. Desafios e Barreiras para a Implantação da Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono	
6.7.20. Benefícios e Impactos da Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono	
Seção 8 Cogeração Biomassa da Cana-de-açúcar.....	720
6.8. Introdução	
6.8.1. Princípio da Cogeração Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.8.2. Implantação da Unidade de Cogeração Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.8.3. Sistemas de Cogeração de Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.8.4. Cogeração	
6.8.5. Ciclo de vapor	
6.8.6. Turbinas a Vapor	
6.8.7. Ciclo de Rankin Orgânico	
6.8.8. Motores Alternativos	
6.8.8.1. Motor Stirling	
6.8.8.2. Motor Ericsson	

6.8.9. Ciclo Combinado

6.8.10. Bioeletricidade Biomassa da Cana-de-açúcar

Seção 9 Hidrogênio Baixo Carbono Biomassa Cana-de-açúcar.....740

6.9 Hidrogênio Verde

6.9.1. Diretrizes gerais do Hidrogênio Verde

6.9.1.1. Características do Hidrogênio Verde

6.9.1.2. Classificação e Produção do Hidrogênio Verde

6.9.1.3. Distribuição do Hidrogênio Verde

6.9.1.4. Consumo do Hidrogênio Verde

6.9.1.5. Potenciais Aplicações de Hidrogênio Verde

6.9.1.6. Perspectivas de Custo de Produção e Distribuição do Hidrogênio Verde

6.9.2. Tecnologia de Produção do Hidrogênio Verde

6.9.3. Hidrogênio Verde como agente complementar

6.9.4. Hidrogênio Verde e Captura e Armazenamento de Carbono

6.9.5. Hidrogênio Verde como Combustível de Baixo Carbono

Seção 10 Torrefação da Biomassa da Cana-de-açúcar..... 780

6.10. Introdução

6.10.1. Biomassa da Cana-de-açúcar

6.10.2. Torrefação da Biomassa

6.10.2.1. Classificação da Torrefação

6.10.2.1.1. Torrefação a seco

6.10.2.1.2. Torrefação úmida

6.10.2.1.3. Torrefação a vapor

6.10.2.2. Características químicas da torrefação	
6.10.2.3. Características mecânicas da torrefação	
6.10.2.4. Valor calorífico	
6.10.2.5. Degradação biológica	
6.10.2.6. Moabilidade e reatividade	
6.10.2.7. Balanço de massa e energia da torrefação	
6.10.2.8. Propriedades da Biomassa Torrificada	
6.10.2.9. Biomassa Torrificada Zero Carbono	
6.10.2.10. Utilização da biomassa torrificada	
6.10.3. Pré-tratamento Térmico da Biomassa da Cana-de-açúcar pela Torrefação	
6.10.3.1. Características da Mudança nos Conteúdos Orgânicos Processo de Torrefação	
6.10.4. Parâmetros de Torrefação	
6.10.4.1. Temperatura	
6.10.4.2. Tempo de reação (duração)	
6.10.4.3. Tamanho de partícula	
6.10.5. Vantagens da Torrefação da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.10.5.1. Biomassa Torrificada um Produto Altamente Energético	
6.10.6. Processo de Torrefação da Biomassa da Cana-de-açúcar	
6.10.6.1. Variação das Propriedades da Biomassa devido à Torrefação	
6.10.7. Processo de Torrefação e Efeito da Temperatura	
6.10.8. Rendimento de massa e energia	
6.10.9. Propriedades Biomassa Torrificada da Cana-de-açúcar	
<b>BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA.....</b>	<b>820</b>

## Relatório Energético Biomassa Cana-de-açúcar

Catologação na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. Edição 2025

Conteúdo: 1. Análise de Produção e de Disponibilidade Biomassa da Palha, Vinhaça e do Bagaço da Cana-de-açúcar no Brasil 2. Rotas de Conversão Energética (Palhiço com redução de cloro e sistema enfardamento) da Biomassa da Cana-de-açúcar. 3. Análise Mercado de Produção e Disponibilidade Biomassa da Palhiço, Bagaço e Vinhaça da Cana-de-açúcar Brasil, Regiões e Estados. 4. Biochar (extrato pirolenhoso e vinagre da madeira) Biomassa da Cana-de-açúcar para Sequestro de Carbono, Fertilizante Ecológico e para Agricultura Regenerativa 5. Biocarbono (bio-óleo e gás sintético) Biomassa da Cana-de-açúcar combustível industrial (Alumínio, Cerâmica, Cimentos e Siderúrgica) 6. Biometano/Gás Natural Verde Biomassa Cana-de-açúcar 7. Biopellets Carbono Neutro Biomassa da Cana-de-açúcar 8. Briquete Ecológico da Biomassa da Cana-de-açúcar 9. Bioenergia Cana-de-açúcar com Captura e Armazenamento de Carbono 10. Sistemas de Cogeração de Biomassa da Cana-de-açúcar 11. Hidrogênio Baixo Carbono Biomassa Cana-de-açúcar 12. Torrefação da Biomassa da Cana-de-açúcar fins energético. 13. Aproveitamento Energético da Biomassa e Crédito de Carbono.

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

© 2025 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável Edição 2025 Total 950 páginas.

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



## DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS

Este Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar contém certas declarações prospectivas que dizem respeito a eventos futuros ou desempenho futuro do mercado de produção e consumo de Biomassa da cana-de-açúcar. Estas declarações prospectivas são baseadas em previsões e estudos técnicos e dados de mercado das principais entidades internacionais sobre as expectativas de desenvolvimento e da estrutura do Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar.

Objetiva-se com o Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar em gerar expectativas dentro de uma tendência de mercado de produção e de aproveitamento energético da biomassa da cana-de-açúcar. Se as expectativas geradas e premissas revelarem-se incorretas por mudança de fatores e de mercado, então os resultados reais podem diferir materialmente da informação prospectiva contida neste documento. Além disso, declarações prospectivas, por sua natureza, envolvem riscos e incertezas que poderiam causar os resultados reais difiram materialmente daqueles contemplados no estudo. Assim utilizamos as declarações prospectivas de informações como apenas uma advertência no desenvolvimento do Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar.

DIRETORIA EXECUTIVA



## Apresentação do Relatório Energético da Biomassa da Cana-de-açúcar

Em nome da Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável e dos numerosos colaboradores que ajudaram no desenvolvimento do primeiro Relatório Energético Biomassa da Cana-de-açúcar que tem por objetivo uma avaliação pormenorizada do setor da cana-de-açúcar na produção de um produto sustentável e energético (descarbonização industrial) no Brasil.

A cana-de-açúcar, uma importante cultura comercial no Brasil, desempenha um papel crucial no fornecimento não apenas de açúcar, mas também de etanol. Os subprodutos da cana-de-açúcar encontram utilidade como ração animal em vários países. O cultivo da cana-de-açúcar se expandiu para regiões com climas quentes em todo o mundo. O maior contribuinte para a produção global de cana-de-açúcar é o continente americano, incluindo países como Brasil, México, EUA respondendo por cerca de 51% da produção total, seguido pela Ásia (41,6%), África (5%) e Oceania (1,7%).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma produção impressionante de cana-de-açúcar na safra 2024/2025 de 689,8 milhões de toneladas, principalmente atribuída às condições climáticas favoráveis e ao aumento da produtividade das safras. Este aumento significativo na produção destaca ainda mais o papel notável do Brasil na indústria global de açúcar.

O maior desafio do setor sucroenergético é o aproveitamento dos tipos de biomassa residual gerado desde a colheita até o processamento nas usinas. A cana-de-açúcar é considerada uma das grandes alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e seus respectivos subprodutos.

A agroindústria sucroalcooleira nacional, diferentemente do que ocorre nos demais países, opera numa conjuntura positiva e sustentável. Pelo conceito de bagaço entende-se apenas o caule macerado, não incluindo a palhada e os ponteiros, que representam 55% da energia acumulada no canavial. Este potencial fabuloso de palha é pouco aproveitado, sendo, na maioria dos casos, queimado no campo.

Nas últimas décadas, houve um aumento notável na produção de cana-de-açúcar, impulsionado pela crescente demanda por açúcar, etanol derivados dessa cultura versátil. Conseqüentemente, a indústria açucareira gera uma quantidade significativa de resíduos agrícolas.

Existem recursos potenciais inexplorados associados à colheita e ao processamento da cana-de-açúcar, a biomassa sem uso comercial e energético (folhas, pontas e palhiço) deixado no campo e o bagaço da cana-de-açúcar como excedente das usinas, principalmente naquelas que não utilizam para cogeração. Neste sentido é extremamente adequado o aproveitamento energético como descrevemos neste relatório.



A queima de lixo (biomassa sem uso) da cana-de-açúcar no campo tem sido alvo de escrutínio nos últimos anos devido à invasão urbana e preocupações com a qualidade do ar, e o excesso de lixo (folhas, pontas e palhiço) deixado no campo também pode reduzir a produtividade da cultura da soca devido às temperaturas mais baixas do solo e à maior umidade do solo.

As usinas de cana-de-açúcar também detêm um excesso (não uso em cogeração) de bagaço. Sem a utilização adequada, o bagaço é comumente descartado como resíduo sólido ou utilizado como fonte de combustível para o processo de moagem. Para cada tonelada de cana-de-açúcar, aproximadamente 280 kg de bagaço úmido são produzidos, destacando a quantidade substancial desse resíduo.



A biomassa do bagaço da cana-de-açúcar tem o potencial de ser transformada em energia, materiais e produtos químicos finos. As pontas e folhas da cana-de-açúcar que costumam ser deixadas no campo podem representar até 30% da biomassa total (FAO, 2006), considerando o volume total de biomassa produzida por unidade de área plantada.

A quantidade de resíduos decorrente da colheita da cana-de-açúcar depende de variados fatores, entre os quais: o sistema com ou sem queima da cana na pré-colheita, a altura dos ponteiros, a variedade plantada, a idade da cultura e seu estágio de corte, o clima, o solo, o uso ou não de vinhoto na fertirrigação do campo, entre outros, que exercem influência importante nas características, quantidade e qualidade da palha.

E neste relatório enumeramos as alternativas energética com o uso da biomassa da cana-de-açúcar.

O valor médio da produção de matéria seca que estima os resíduos secos potenciais da cana-de-açúcar, denominados palha, é de 140 kg por tonelada de cana colhida, com 50% de umidade, considerando as diversas variedades de cana-de-açúcar plantadas.



A produtividade média de cana-de-açúcar no Brasil é de 85 toneladas por hectare, sendo que para cada tonelada de cana processada são gerados cerca de 140 kg de palha e 140 kg de bagaço em base seca, ou seja, 12 toneladas de palha e 12 toneladas de bagaço. A palha de cana-de-açúcar representa 15% do peso dos colmos da cana madura, ou 12% quando seca.

A Brasil Biomassa desenvolveu uma série de projetos e plantas industriais para o aproveitamento da biomassa da cana-de-açúcar.

Temos um quantitativo de disponibilidade de resíduos de 327.855.000 ton./ano da palha e bagaço um poder calorífico 13,4 MJ/kg que podem ser utilizados na produção do biochar.

Essas duas matérias-primas orgânicas (palhiço e bagaço) podem ser convertidas termoquimicamente em biochars, biocarbono e biopellets e briquetes como produtos energéticos para captura e armazenamento de carbono, a capacidade de retenção de água e melhorar a produtividade da cana-de-açúcar.



Os benefícios são esperados tanto para os produtores de cana-de-açúcar quanto para os usineiros por meio da produção de subprodutos valiosos da pirólise de resíduos de bagaço e do palhiço da cana-de-açúcar, bem como o aprimoramento do papel da indústria da cana-de-açúcar nos mercados de energia renovável.

Uma extensa pesquisa desenvolvida neste relatório revelou uma via promissora para melhorar a recuperação de energia por meio da conversão de resíduos da cana-de-açúcar em novos produtos energéticos. Essa transformação é obtida empregando técnicas termoquímicas e bioquímicas após o processo de desvolatilização da biomassa. Esses métodos inovadores oferecem uma oportunidade atraente para aproveitar maior potencial energético de sobras da cana-de-açúcar, abrindo caminho para a utilização sustentável e eficiente de recursos.



A versatilidade do bagaço de cana-de-açúcar abre inúmeras possibilidades para sua aplicação em vários setores, fornecendo alternativas sustentáveis e ecologicamente corretas em várias indústrias.

O desafio do setor agroindustrial vai exigir uma enorme quantidade de adubos e fertilizantes e o biochar e a amônia verde pode ser uma solução ao setor. Uma solução sustentável e multifuncional para mudanças climáticas pode ajudar a construir resiliência em comunidades locais de alto risco e sensíveis ao impacto das mudanças climáticas.

Em face do aumento das temperaturas globais, eventos climáticos extremos e a necessidade resultante de agricultura adaptada, o biochar e a amônia verde oferecem uma solução interseccional para questões em torno da degradação do solo, remoção de carbono, desafios de uso da terra, insegurança alimentar e desenvolvimento econômico.

Desde 2022, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) defende que as tecnologias de remoção de dióxido de carbono (CDR) são um complemento necessário às reduções de emissões para atingir um futuro líquido zero e limitar o aquecimento global a 2°C ou menos.

O biochar é uma das tecnologias de CDR reconhecidas pelo IPCC e também é uma das soluções mais acessíveis e prontas para o mercado. A tecnologia de remoção de carbono do biochar foi responsável por 94% dos créditos de remoção de carbono entregues em 2023.

Nosso Relatório faz uma extensa pesquisa de análise de produção e de disponibilidade biomassa da palha, vinhaça e do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil, Regiões e Estados para a produção energética de biochar (extrato pirolenhoso e vinagre da madeira) para sequestro de carbono, fertilizante ecológico e para agricultura regenerativa, do biocarbono (bio-óleo e gás sintético) como combustível industrial (alumínio, cerâmica, cimentos e siderúrgica), do biometano/gás natural verde, de biopellets carbono neutro, do briquete ecológico, da bioenergia com captura e armazenamento de carbono, aos sistemas de cogeração, ao hidrogênio baixo carbono e da torrefação da biomassa da cana-de-açúcar fins energético.

Uma questão a ser abordada no Relatório envolve o levantamento em termos de produção e a quantidade de matéria-prima que encontra disponível para acesso imediato no Brasil

Assim sendo, o relatório pretende em abordar uma questão fundamental de disponibilidade de biomassa para a produção de produtos energéticos e inovadores em todo o território nacional.

A partir do entendimento de que é necessário reduzir ou eliminar os impactos ambientais negativos dos processos e produtos de diversos setores, aliando isso à melhoria social e econômica, a biomassa da cana-de-açúcar passou a ser considerada uma fonte potencial de matéria-prima para a produção de novos produtos energéticos, como retratamos no relatório.

A descarbonização industrial no Brasil poderá ocorrer de forma diferente em diferentes setores industriais, dependendo das características locais, da viabilidade das opções de descarbonização pode ser fortemente influenciada pelo preço e disponibilidade de biomassa da cana-de-açúcar, eletricidade renovável e locais de armazenamento de carbono.

Portanto, diferentes estratégias e caminhos para reduzir as emissões em todos os setores devem ser explorados. E no relatório avaliamos os tipos de biomassa da cana-de-açúcar.

Finalmente, o Relatório avalia as principais tecnologia para aproveitamento da biomassa da colheita e do processamento da cana-de-açúcar. Enumeramos as tecnologias:.

1. Tecnologia de aproveitamento da palha da cana-de-açúcar para a produção de Biochar (extrato pirolenhoso e vinagre da madeira) para sequestro de carbono, fertilizante ecológico e para agricultura regenerativa.

A alta demanda por fornecimento de energia em uma população mundial crescente requer o uso de alternativas não fósseis como chave fundamental para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e limitar o aquecimento global. A produção de biocombustíveis líquidos é uma ação importante para conter o aquecimento global, pois representa uma tecnologia madura, escalável e bem desenvolvida, com comprovada baixa pegada de carbono.

Nas últimas décadas, a colheita pré-queima foi quase abolida, e o sistema mecanizado verde foi adotado em quase 97% das áreas de cana-de-açúcar no centro-sul do Brasil.

Como consequência, grandes quantidades de palha, variando de 10 a 20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, foram depositadas nos canaviais, disponibilizando aproximadamente 80 milhões de toneladas de palha por ano. A manutenção da palha na superfície do solo promove mudanças substanciais no sistema de produção de cana-de-açúcar, como melhorias na qualidade do solo e nos estoques de carbono (C), e aumento das emissões de N<sub>2</sub>O do solo. Assim, além de gerar diversos benefícios ao sistema solo-planta-atmosfera, a manutenção da palha na superfície do solo também representa uma valiosa matéria-prima que pode ser convertida em biocombustíveis avançados, uma questão de interesse de várias empresas.

Uma das rotas potenciais para produzir biocombustíveis avançados usando biomassa lignocelulósica é a pirólise, através da qual a biomassa é exposta a altas temperaturas em níveis baixos ou nulos de oxigênio para ser convertida em bio-óleo, biogás e biochar. O bio-óleo pode ser usado na produção de biocombustíveis avançados (ou seja, combustíveis de aviação sustentáveis), o biogás é usado no fornecimento de energia e o biochar é aplicado principalmente em solos agrícolas. O biochar é um material carbonizado rico em C aromático que tem sido usado como um corretivo do solo em campos agrícolas para fornecer vários serviços ecossistêmicos.

Um impacto ambiental positivo dessa prática é a redução potencial das emissões de  $N_2O$ , um gás traço emitido em baixas quantidades, mas com um potencial de aquecimento global 273 vezes maior que o dióxido de carbono ( $CO_2$ ).



A palha de cana-de-açúcar tem sido considerada uma matéria-prima promissora e econômica para a produção de bioenergia por meio da pirólise. O biochar à base de palha é um subproduto da pirólise de biomassa que tem o potencial de mitigar as emissões de óxido nitroso.

2. Tecnologia de aproveitamento da vinhaça e da torta de filtro da cana-de-açúcar para a produção de Biometano. A produção de etanol de cana-de-açúcar gera cerca de 360 bilhões de litros de vinhaça, um efluente líquido com uma demanda química média de oxigênio de 46.000 mg/L. A vinhaça ainda contém cerca de 11% da energia original do caldo de cana, mas essa energia química é diluída. Esse resíduo, geralmente descartado ou aplicado na fertirrigação, é um substrato adequado para digestão anaeróbica.

Com um potencial de biometano variando de 215 a 324 L de metano produzido por quilo de matéria orgânica na vinhaça, a DA poderia melhorar a produção de energia das biorrefinarias de cana-de-açúcar.



A vinhaça é um coproduto necessário da destilação, gerado em grandes quantidades (10–15 L por litro de etanol). É rico em resíduos orgânicos e minerais, levando a um tremendo problema ambiental, e também a muitas oportunidades de processamento. O aumento da circularidade em direção a biorrefinarias de desperdício zero torna diferentes aplicações de vinhaça cada vez mais atraentes, como fertilizante, ração animal ou fonte de energia por meio de DA. Este último é cada vez mais importante, com pesquisa ativa e implementação recente em larga escala.

A vinhaça da cana-de-açúcar é um subproduto da indústria da cana-de-açúcar e pode ser usada para geração de biometano.

Esse processo envolve microrganismos quebrando a matéria orgânica na vinhaça na ausência de oxigênio, produzindo metano e dióxido de carbono, bem como um resíduo rico em nutrientes que pode ser usado como fertilizante. O biometano pode ser usado como uma fonte renovável de energia para eletricidade e transporte.

3. Tecnologia de aproveitamento do palhiço e do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de Biopellets. A crescente valorização de matérias-primas lignocelulósicas renováveis e econômicas representa uma abordagem viável, sustentável e ecologicamente correta para a produção de biopellets como fontes alternativas de energia

A biomassa da cana-de-açúcar tem o potencial de ser uma fonte de energia alternativa sustentável, acessível, renovável e ecologicamente correta. Devido a várias desvantagens, incluindo sua facilidade de absorção e liberação de água, alto teor de umidade e baixo valor calorífico, a biomassa da palha da cana-de-açúcar deve ser pré-tratada por meio de moagem ou secagem.

Um dos problemas com que o setor energético está lidando atualmente é o armazenamento de grandes quantidades de combustível de biomassa da cana-de-açúcar. Para resolver esse problema, a biomassa da cana-de-açúcar (palha bagaço) é convertida em combustíveis sólidos, como biopellets, para facilitar o manuseio, o transporte e o armazenamento.



Além disso, os biopellets da cana-de-açúcar são uma maneira rápida e fácil de gerar energia de biomassa zero carbono, que é eficiente e renovável.

4. Tecnologia Bioenergia da Cana-de-açúcar com Captura e Armazenamento de Carbono é uma tecnologia essencial para reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa (GEE). No relatório avaliamos os detalhes desta tecnologia como uma cadeia de suprimentos multifacetada que tem a vantagem de permitir emissões negativas enquanto gera energia.

Sua versatilidade é ilustrada pela possibilidade de usar toda a gama de matérias-primas de biomassa da cana-de-açúcar e muitas vias de conversão. É uma tecnologia altamente adaptável, pois pode ser aplicada a uma variedade de indústrias como a do setor sucroenergético..

Uma vez que o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) tenha sido capturado, ele deve ser transportado e armazenado, ou mesmo reutilizado. No entanto, a reutilização pode às vezes resultar em nenhuma emissão negativa, pois o CO<sub>2</sub> é liberado na atmosfera em curto prazo.

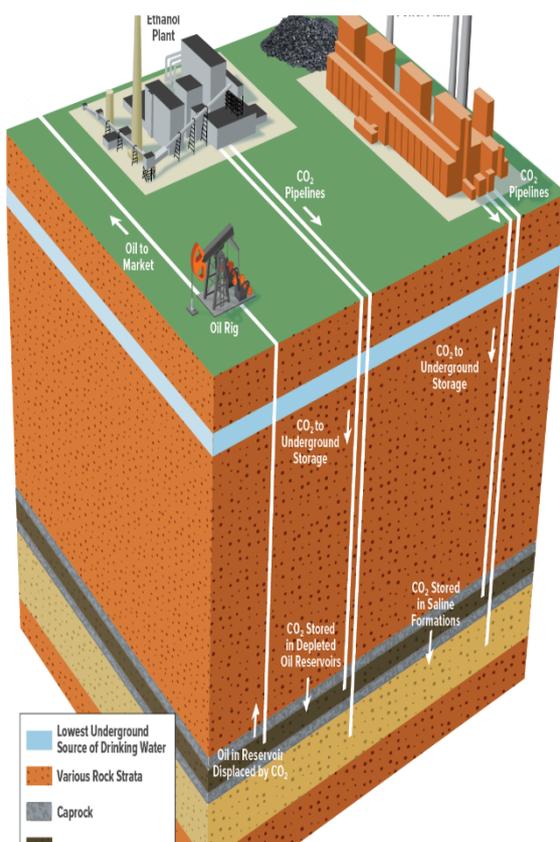
Num contexto em que limitar o aquecimento global se tornou uma questão urgente, os projetos de captura de carbono ao setor sucroenergético precisam de ser encorajados e apoiados para garantir que podem continuar a enfrentar os desafios do futuro.

A captura pós-combustão opera em baixas pressões e é adequada para gases de combustão de baixas concentrações de CO<sub>2</sub>, mostrando altas eficiências de laboratório a escala comercial.

Essa tecnologia pode reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> das usinas de cana-de-açúcar.

O projeto está focado na tecnologia de captura baseada para determinar a viabilidade de capturar gases de combustão diretamente versus a necessidade de concentrar o CO<sub>2</sub> para melhor captura.

Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono, o Beccs consiste em uma tecnologia que combina a geração de energia a partir de recursos renováveis – como a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar – com a captura de gás carbônico gerado no processo, que é tratado e depois armazenado em uma formação geológica.



Assim, enquanto as iniciativas tradicionais de captura e armazenamento de carbono (CCS) estão associadas à queima de combustíveis fósseis – como o gás natural –, os sistemas Beccs vão um passo além ao contribuir para emissões negativas de gases de efeito estufa, ou seja, liberando a menor quantidade possível desses gases e reabsorvendo as emissões restantes

5. Tecnologia Biocarvão/Biocarbono Bio-óleo e Gás sintético com uso da biomassa da cana-de-açúcar. O biocarvão ou biocarbono recentemente ganhou atenção como um substituto potencial para o carvão em processos siderúrgicos e alumínio devido ao seu potencial de captura de carbono.

Os biocombustíveis produzidos a partir de biomassa residual da cana-de-açúcar, como biocarvão, bio-óleo ou gás de síntese, podem ser uma substituição propícia para combustíveis fósseis. O biocarvão recebeu muito interesse como um substituto potencial devido à sua alta combustibilidade, alto conteúdo energético, melhor mobilidade e capacidade reduzida. Além disso, a principal vantagem de usar biomassa ou biocarvão como combustível é sua neutralidade de carbono. No relatório avaliamos os detalhes de produção de biocarvão/biocarbono, bio-óleo e gás sintético da biomassa (palha e bagaço) da cana-de-açúcar.



6. Tecnologia de Hidrogênio Verde com uso do bagaço da cana-de-açúcar. Combustíveis alternativos de baixas ou zero emissões de CO<sub>2</sub> como a biomassa da cana-de-açúcar são uma solução viável para substituir combustíveis fósseis. A combustão de Hidrogênio é responsável por zero emissões de CO<sub>2</sub>. O Hidrogênio verde é um substituto ao gás natural como retratamos no relatório. O etanol de segunda geração pode ser uma excelente matéria-prima para produzir hidrogênio verde, uma vez que é produzido a partir da fermentação da biomassa da cana-de-açúcar e é um método de emissão zero.

Pesquisas sobre a utilização efetiva do bagaço e da palha da cana-de-açúcar demonstraram avanços significativos na produção de biohidrogênio. A integração de estratégias inovadoras de pré-tratamento, como hidrólise ácida, tratamentos oxidativos e sacarificação enzimática, provou ser essencial para melhorar a recuperação de açúcar e a eficiência dos processos de fermentação.

Estudos sobre a produção sequencial de hidrogênio e metano, bem como o uso da dinâmica microbiana para otimizar a fermentação, ressaltam ainda mais a versatilidade da cana-de-açúcar como matéria-prima de biohidrogênio.

A mudança global em direção ao biohidrogênio representa uma oportunidade para o Brasil alavancar sua extensa infraestrutura de cana-de-açúcar.

No entanto, concretizar esse potencial requer abordar barreiras tecnológicas e logísticas, incluindo a otimização de cadeias de suprimentos, desenvolvimento de tecnologias avançadas de conversão e expansão de colaborações de pesquisa como no presente relatório.

Ao investir nessas áreas, o Brasil pode fortalecer seu papel na formação do futuro da produção de biohidrogênio

Depois dos combustíveis fósseis, a biomassa e a energia solar são consideradas a fonte de longo prazo para a produção de energia de hidrogênio. Usando biomassa da cana-de-açúcar como alimentação, a produção de hidrogênio verde pode ser feita por tecnologia de gaseificação para o desenvolvimento de energia sustentável.

A biomassa da cana-de-açúcar é a melhor maneira de produzir hidrogênio verde, que é mais limpo e econômico, e é considerado uma das maneiras sustentáveis . Utilizamos em teste industrial o bagaço de cana-de-açúcar como biomassa para a produção de hidrogênio. Desenvolvemos três modelos de processos de gaseificação de biomassa: fluidizado, leito fixo integrado e processo de água supercrítica. Eles são mais eficazes em matérias-primas ricas em lignina e produzem alta produção de gás de síntese.

Hidrogênio desempenha um papel cada vez maior na economia verde. Estima-se que esta transição reduza as emissões de CO<sub>2</sub> em até 30% até 2030.

O objetivo final do estudo setorial é descrever as abordagens mais comuns de uso da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de bioeletricidade com opção de mitigação relevantes para o setor industrial. Essas opções variam do aumento da eficiência energética e do uso da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de geração de energia térmica (aquecimento, calor e vapor) ao desenvolvimento e implantação de novas tecnologias de emissões negativas ou zero carbono.



A coalimentação de hidrogênio junto com biomassa da cana-de-açúcar para aquecimento industrial é uma abordagem emergente que está sendo explorada por várias indústrias como parte dos esforços para reduzir as emissões de carbono e fazer a transição para fontes de energia mais sustentáveis. O hidrogênio poderia teoricamente ser usado como um agente redutor.

Isso permite a redução sem a produção de quaisquer gases de efeito estufa.

Uma grande quantidade de hidrogênio precisa ser adicionada à reação a uma taxa estável, enquanto a água produzida pela reação deve ser constantemente removida. Altas temperaturas são necessárias para a reação, no mesmo o ponto de fusão.

Neste relatório ampliamos o leque de opções de uso energético da biomassa da cana-de-açúcar com as tecnologia de produção de biocarvão/biocarbono, bio-óleo e gás de síntese como um substituto do carvão, óleo diesel e o gás natural. Bem como a utilização do biometano e do hidrogênio verde como um substituto do gás natural.

Esforços estão em andamento para desenvolver e implementar processos de baixo carbono e neutros em carbono, aumentar o uso de fontes de energia renováveis, avançar na pesquisa de novos materiais e tecnologias e envolver as partes interessadas para impulsionar iniciativas de sustentabilidade com uso da biomassa residual da cana-de-açúcar.

**AUTOR DO RELATÓRIO ENERGÉTICO**