

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL  
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA

# LIVRO BIOCHAR BIOMASSA BAMBU

2025

E  
D  
I  
T  
O  
R  
A  
  
B  
R  
A  
S  
I  
L  
  
B  
I  
O  
M  
A  
S  
S  
A



**BIOMASSA BAMBU**

**SEQUESTRO CARBONO FERTILIZANTE  
ORGÂNICO AGRICULTURA REGENERATIVA**

# SUMÁRIO EXECUTIVO

## LIVRO BIOCHAR BIOMASSA BAMBU

INTRODUÇÃO.....23

Declarações Prospectivas

Apresentação do Livro Biochar da Biomassa Bambu

Exposição Fundamental Biochar Biomassa Bambu

Metodologia do Livro Biochar Biomassa Bambu

DIRETRIZES FUNDAMENTAIS.....49

Diretrizes Gerais de Produção de Biochar Biomassa Bambu

a. Diretrizes Gerais

b. Pirólise da Biomassa do Bambu

c. Tipos de pirólise para produção Biochar do Bambu

d. Composição do biochar da biomassa do Bambu

e. Utilização de biochar à base da biomassa do Bambu para diferentes aplicações

f. Remediação de poluentes

g. Biochar à base da biomassa do Bambu na adsorção de CO<sub>2</sub>

h. Biochar à base da biomassa do Bambu como aditivo em compósitos

- i. Biochar à base da biomassa do Bambu como catalisador
- j. Biochar à base da biomassa do Bambu na construção civil
- k. Biochar à base da biomassa do Bambu em corretivos de solo
- l. Utilização de técnica analítica na caracterização de biochar da biomassa do Bambu

## CAPÍTULO I BAMBU.....66

### 1.1 Bambu

#### 1.1.1 Histórico do Bambu

#### 1.1.2 Considerações gerais do Bambu

#### 1.1.3. Vantagens e desvantagens dos Bambus

##### 1.1.3.1. Vantagens

##### 1.1.3.2. Desvantagens

### 1.2. Espécies e tipos de Bambus

#### 1.2.1 Espécies de bambu no Brasil

##### 1.2.1.1. Olyreae

##### 1.2.1.2. Olyra latifolia

##### 1.2.1.3. Raddia

##### 1.2.1.4. Outros gêneros de Bambu

## 1.2.2. Bambuseae

### 1.2.2.1. Merostachys

### 1.2.2.2. Chusquea

### 1.2.2.3. Guadua

### 1.2.2.4. Aulonemia

### 1.2.2.5. Outras espécies

## 1.2.3 Espécies prioritárias

### 1.2.3.1 Dendrocalamus latiflorus ou Bambusa mitis

### 1.2.3.2 Dendrocalamus giganteus

### 1.2.3.3 Dendrocalamus strictus

### 1.2.3.4 Dendrocalamus asper

### 1.2.3.5 Guadua angustifolia, ou taquaruçu

### 1.2.3.6 Guadua chacoensis

### 1.2.3.7. Taquara

#### 1.2.3.7.1. Bambusa taquara e Bambusa vulgaris

## 1.2.4. Plantio adensado de Bambusa vulgaris

## 1.3. Características estruturais e mecânicas dos Bambus

### 1.3.1 Variações dimensionais

## 1.4. Características de desenvolvimento dos Bambus

### 1.4.1. Velocidade de crescimento

### 1.4.2. Forma de crescimento

### 1.4.3. Maturidade

## 1.5. Cultivo do Bambu - produção e tratamento pós corte

### 1.5.1 Produção comercial do Bambu

### 1.5.2. Tratamento dos colmos colhidos

## 1.6 Valores gerais das características físicas e mecânicas

## 1.7. Características morfológicas e físicas e propriedades mecânicas dos Bambus

### 1.7.1. Rápido crescimento

### 1.7.2. Alta produtividade

### 1.7.3. Resistência mecânica das fibras do Bambu

### 1.7.4. Resistência a tração

### 1.7.5. Resistência a compressão

### 1.7.6. Tensão de cisalhamento

### 1.7.7. Leveza

1.7.8. Flexibilidade

1.7.9. Material alternativo e ecologicamente correto

1.8. Propriedades física e química do Bambu

1.8.1. Poder calorífico

1.8.2. Teor de umidade

1.8.3. Constituição Química

1.8.4 Massa Específica

1.8.5 Densidade

1.8.6 Teor de Minerais

1.8.7 Teor de Cinzas

1.8.8. Variações dimensionais

1.9. Características gerais dos Bambus

1.9.1. Rizomas dos Bambus

1.9.1.1. Tipo leptomorfo ou alastrante

1.9.1.2. Tipos paquimorfo, entouceirante ou moita

1.9.2. Colmos dos Bambus

1.9.3. Folhas caulinares

1.9.4. Frutos

1.9.5. Raízes

1.9.6. Galhos dos Bambus

1.9.7. Folhagens dos Bambus

1.9.8. Floração dos Bambus

1.9.9. Outras características

CAPÍTULO II TECNOLOGIA PIRÓLISE DO BAMBU.....140

2.1 Pirólise para a produção de energia

2.1.1 Aplicações da pirólise lenta

2.1.2. Influência das características da biomassa no rendimento e qualidade dos produtos da pirólise do Bambu

2.1.2.1 Composição química

2.1.2.2 Propriedades Morfológicas

2.1.3 Parâmetros operacionais que influenciam o processo de pirólise do Bambu

2.1.3.1. Temperatura de reação

2.1.3.2. Tempo de residência

2.1.3.3. Taxa de aquecimento

2.1.3.4. Tipo de atmosfera

2.1.3.5. Pressão

2.1.4. Avaliação das qualidades dos produtos sólido e líquido da pirólise do Bambu

2.1.4.1 Composição imediata

2.1.4.2 Composição elementar

2.1.4.3 Potencial hidrogeniônico, pH

2.1.4.4 Poder calorífico, PCS e PCI

2.1.4.5 Densidade energética

2.1.4.6 Análises termogravimétricas

2.1.5. Propriedades morfológicas do produto sólido do biocarvão de bambu

2.1.5.1. Área superficial específica

2.1.5.2. Distribuição e volume de poros

2.1.5.3. Propriedades morfológicas mediante microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2.1.6. Aplicações de bambu em processos de termoconversão

2.1.7. Conclusões

CAPÍTULO III TECNOLOGIA PRODUÇÃO BIOCHAR.....	171
SEÇÃO 1 Rotas de Conversão de Biomassa.....	171
3.1. Rotas de Conversão da Biomassa	
3.1.1 Pré-tratamento da Biomassa	
3.1.1.1 Pré-tratamento da Biomassa	
3.1.1.2 Pré-tratamento da Térmico	
3.1.1.3 Pré-tratamento por explosão de vapor	
3.1.1.4 Pré-tratamento por micro-ondas.	
3.1.1.5 Pré-tratamento por água quente líquida	
3.1.1.6 Outros tipos de pré-tratamentos da biomassa	
3.1.2 Secagem da Biomassa	
3.1.2 1. Secadores de tambores rotativo.	
3.1.2.2. Secadores de Pás de Biomassa	
3.1.2.3. Secadores de leito fluidizado de biomassa	
3.1.2.4. Secador de esteira de biomassa	
3.1.2.5. Secadores de bandeja	
3.1.2.6. Secadores Flash.	
3.1.2.7. Secadores de vapor superaquecido	
3.1.2.8. Secadores de cascata	
3.1.2.9. Principais componentes de um secador de biomassa.	

3.1.2.10. Critérios de seleção de secador de biomassa

3.1.3 Moagem da Biomassa

3.1.4 Processos de Conversão da Biomassa

3.1.5 Conversão Termoquímica

SEÇÃO 2 Processo de Pirólise .....197

3.2. Processos de Conversão Térmica pela Pirólise

3.2.1. Processo de degradação térmica do tipo pirólise em base seca

3.2.1.1. Fase gasosa (gás pirolítico)

3.2.1.2. Fase líquida (extrato pirolenhoso)

3.2.1.3. Fase sólida (material carbonáceo pirogênico ou biochar)

3.2.2. Classificação dos tipos de pirólise quanto ao ajuste das condições operacionais

3.2.2.1. Carbonização ou pirólise lenta

3.2.2.2. Pirólise convencional

3.2.2.3. Pirólise flash

3.2.2.4. Pirólise Rápida

3.2.2.5. Pirólise de Alta Temperatura

3.2.3. Mecanismos envolvidos no processo de pirólise em base seca

3.2.3.1. Tipos de pirólise em base seca quanto ao ajuste das condições operacionais

SEÇÃO 3 Reatores de Pirólise.....	210
3.3. Reatores para Pirólise	
3.3.1. Reatores sob modo de operação batelada	
3.3.2. Reatores sob modo de operação contínuo	
3.3.3. Planta de pirólise rápida em escala piloto	
3.3.3.1. Reator de leito fluidizado	
3.3.3.1. Reator Leito fluidizado circulante	
3.3.3.2. Pirolisador de cone rotativo	
3.3.3.3. Reator ablativo	
3.3.3.4. Reator rosca sem fim	
3.3.3.5. Variáveis de processo e aspectos operacionais de reatores pirolíticos	
3.3.3.6. Escala de processo dos reatores pirolíticos	
3.3.3.7. Distribuição dos produtos de pirólise (gás, líquido e sólido) em função da caracterização da biomassa e do ajuste de variáveis de processo	
SEÇÃO 4 Processo Pirólise Biochar .....	260
3.4. Pirólise para a produção de Biochar	
3.4.1. Aplicações da pirólise lenta	
3.4.1.1. Pirólise Rápida	
3.4.2. Influência das características da biomassa no rendimento e qualidade do Biochar	

### 3.4.3. Composição físico química da biomassa

#### 3.4.3.1. Propriedades Morfológicas

##### 3.4.3.1.1. Densidade básica

##### 3.4.3.1.2 Teor de umidade

##### 3.4.3.1.3. Poder calorífico

##### 3.4.3.1.4. Composição química elementar

### 3.4.4. Caracterização da biomassa

### 3.4.5. Pirólise da Biomassa

### 3.4.6. Modelos Cinéticos da pirólise

### 3.4.7. Parâmetros operacionais que influenciam o processo de pirólise

#### 3.4.7.1 Temperatura de reação

#### 3.4.7.2. Tempo de residência

#### 3.4.7.3. Taxa de aquecimento

#### 3.4.7.4. Tipo de atmosfera e Pressão

### 3.4.8. Pirólise em leito fixo

## CAPÍTULO IV BIOCHAR EXTRATO PIROLENHOSO GÁS.....284

## SEÇÃO 0 Bio-óleo .....284

### 4.0. Bio-óleo

#### 4.0.1. Propriedades do bio-óleo

#### 4.0.2. Características do bio-óleo

4.0.3. Teor de água no bio-óleo	
4.0.4. Densidade do bio-óleo	
4.0.5. Teor de sólidos	
4.0.6. Teor de oxigênio	
4.0.7. Poder calorífico	
4.0.8. Aplicações do bio-óleo	
4.0.9. Upgrading do bio-óleo	
SEÇÃO 1 Biochar .....	304
4.1. Biochar	
4.1.1. Aspectos gerais de produção do Biochar	
4.1.2. Fatores de influência: Biochar	
4.1.3. Biochar numa economia neutra em carbono	
4.1.4. Propriedades do biochar	
4.1.5. Biochar ativado	
4.1.5.1. Propriedades texturais do Biochar ativado	
4.1.5.2. Ativação do Biochar	
4.1.5.3. Ativação química e física	
4.1.5.4. Impregnação em solução	
4.1.5.5. Agentes de ativação	
4.1.5.6. Comportamento energético	

4.1.6. Estágio final de produção de Biochar	
4.1.7. Rendimento dos combustíveis energéticos	
4.1.7.1. Rendimento de Biochar	
4.1.7.2. Rendimento de gás	
4.1.8. Caracterização da fração de Biochar	
4.1.9. Estabilidade de Biochar e relação com aplicação sequestro de carbono	
SEÇÃO 2 Gás sintético.....	327
4.2. Gases da carbonização	
4.2.1. Gás natural sintético – Syngas	
SEÇÃO 3 Extrato Pirolenhoso .....	332
4.3. Extrato Pirolenhoso	
4.3.1 Políticas regulatórias uso extrato pirolenhoso Brasil, China e Japão	
4.3.2. Composição do Extrato Pirolenhoso	
4.3.3. Propriedades do extrato pirolenhoso.	
4.3.4. Processo Produção Extrato Pirolenhoso.	
4.3.5. Utilizações do Extrato Pirolenhoso	
4.3.5.1. Melhoria da produtividade e qualidade das culturas	
4.3.5.2 Extrato pirolenhoso como Adjuvante Agrícola	
4.3.5.3 Potencializador de herbicidas	

- 4.3.5.4 Melhorador de absorção de nutrientes.
- 4.3.5.5 Agente dispersante dos produtos agrícolas
- 4.3.5.6 Regulador de pH
- 4.3.6. Extrato Pirolenhoso como fertilizante e condicionador de solo
- 4.3.7. Extrato Pirolenhoso como estimulante do crescimento vegetal.
- 4.3.8. Extrato Pirolenhoso como manejo integrado de pragas e doenças
- 4.3.9. Extrato Pirolenhoso como ação Quelatizante
- 4.3.10. Indutor de Bioresistência Sistêmica
- 4.3.11. Aumento da Eficiência Fotossintética
- 4.3.12. Extrato Pirolenhoso como incremento na produção de proteínas e açúcares
- 4.3.13. Aplicações Industriais e Ambientais
- 4.3.14. Vantagens Ambientais.
- 4.3.15. Oportunidades de economia com o extrato pirolenhoso
- 4.3.16. Vinagre da Madeira

CAPÍTULO V USO MERCADO CARBONO BIOCHAR.....360

SEÇÃO 1 Utilização Biochar.....360

5.1. Setores de aplicações do Biochar

5.1.1. Biochar na Pecuária

5.1.1.1. Agente de silagem

- 5.1.1.2. Aditivo/suplemento alimentar dos animais
- 5.1.1.3. Aditivo para cama de animais (avicultura-frango)
- 5.1.1.4. Tratamento de chorume
- 5.1.1.5. Compostagem de esterco
- 5.1.2. Biochar na Agricultura(tratamento de solos)
  - 5.1.2.1. Adubo ou Fertilizante de carbono
  - 5.1.2.2. Aditivo de composto
  - 5.1.2.3. Substituto de turfa em solo para vasos
  - 5.1.2.4. Proteção de plantas
  - 5.1.2.5. Fertilizante compensatório para oligoelementos
  - 5.1.2.6. Aditivo e remediação de solos
  - 5.1.2.7. Substratos de solo
  - 5.1.2.8. Filtrar pesticidas e fertilizantes
- 5.1.3. Biochar no setor de Construção
  - 5.1.3.1. Isolamento térmico
  - 5.1.3.2. Descontaminação do ar
  - 5.1.3.3. Descontaminação das fundações de terra
  - 5.1.3.4. Regulação da umidade
  - 5.1.3.5. Proteção contra a radiação eletromagnética
- 5.1.4. Biochar para tratamento de água

- 5.1.4.1. Tratamento de água de lagoas
- 5.1.4.2. Tratamento de água na piscicultura
- 5.1.5. Biochar na produção de Biogás e Hidrogênio
  - 5.1.5.1. Aditivo (fermentação) de biomassa para produção biogás
  - 5.1.5.2. Tratamento de lama (laticínios) para produção de biogás
- 5.1.6. Biochar para tratamento de águas residuais
  - 5.1.6.1. Filtro de carvão ativo
  - 5.1.6.2. Aditivo de pré-lavagem
  - 5.1.6.3. Sanitários de compostagem
- 5.1.7. Biochar para tratamento da água potável
  - 5.1.7.1. Microfiltros
- 5.1.8. Biochar para uso industrial
  - 5.1.8.1. Filtros de exaustão
  - 5.1.8.2. Controle de emissões
  - 5.1.8.3. Filtros de ar ambiente
  - 5.1.8.4. Materiais industriais
  - 5.1.8.5. Fibras de carbono
  - 5.1.8.6. Material plástico e polímeros
  - 5.1.8.7. Eletrônica em semicondutores
  - 5.1.8.8. Material para baterias

- 5.1.8.9. Metalurgia como redutor de metais
- 5.1.8.10. Cosméticos na confecção de sabonetes
- 5.1.8.11. Material para cremes para a pele
- 5.1.8.12. Aditivos terapêuticos para banho
- 5.1.8.13. Tintas e corantes
- 5.1.8.14. Tintas industriais
- 5.1.8.15. Produção de energia
- 5.1.8.16. Aditivo para a produção de pellets
- 5.1.9. Biochar para uso Medicinal
  - 5.1.9.1. Medicação para desintoxicação
  - 5.1.9.2. Transportador de princípios ativos farmacêuticos
  - 5.1.9.3. Cataplasma para picadas de insetos
- 5.1.10. Utilização Biochar no setor têxtil
  - 5.1.10.1. Aditivo de tecido para roupas funcionais
  - 5.1.10.2. Isolamento térmico para roupas funcionais
  - 5.1.10.3. Desodorante para sapatos
- 5.1.11. Utilização Biochar no Bem-estar
  - 5.1.11.1. Enchimento para colchões e travesseiros
  - 5.1.11.2. Escudo contra radiação eletromagnética em fornos de micro-ondas
- 5.1.11. Utilização Biochar na alimentação

### 5.1.11.1. Conservação de alimentos

## SEÇÃO 2 Cadeia Suprimento Biochar.....433

### 5.2. Cadeia de suprimentos e benefícios do Biochar

#### 5.2.1. Benefícios e demanda de Biochar

#### 5.2.2. Benefícios privados: Melhoria da produtividade agrícola e do solo

##### 5.2.2.1. PH do solo e capacidade de troca catiônica

##### 5.2.2.2. Fornecimento e retenção de nutrientes

##### 5.2.2.3. Fornecimento de nutrientes

##### 5.2.2.4. Retenção de nutrientes

##### 5.2.2.5. Ciclagem de nutrientes

##### 5.2.2.6. Co-compostagem; benefícios para a produção de composto

##### 5.2.2.7. Melhorar a retenção de água e a capacidade de retenção de água

#### 5.2.3. Benefícios sociais: Mitigação das alterações climáticas

##### 5.2.3.1 Tecnologia potencial de armazenamento de carbono

##### 5.2.3.2 Mudanças no uso do solo e compensações de combustíveis fósseis

##### 5.2.3.3 Desafios na obtenção dos benefícios do biochar

#### 5.2.4. Análise de oferta

##### 5.2.4.1. Custos principais elementos da cadeia de abastecimento da pirólise

##### 5.2.4.2. Aquisição de matéria-prima

##### 5.2.4.3. Transporte de matéria-prima

- 5.2.4.4. Pré-tratamento da matéria-prima
- 5.2.4.5. Custo da pirólise — construção e operação
- 5.2.4.6. Pirólise simples
- 5.2.4.7. Pirólise avançada
- 5.2.4.8. Estado atual da indústria do biochar
- 5.2.5. Futuro do Biochar
  - 5.2.5.1. Análise biorregional e correspondência espacial
  - 5.2.5.2. Integração do biochar com a gestão florestal
  - 5.2.5.3. Investimento público, extensão e educação
  - 5.2.5.4. Integração do biochar com iniciativas de saúde do solo
  - 5.2.5.5. Testes e padronização

SEÇÃO 3 Biochar e Mercado Crédito de Carbono.....460

- 5.3. Mercado de Carbono
  - 5.3.1. Mercado Regulado
  - 5.3.2. Mercado Voluntário
  - 5.3.3. Tipos de créditos de carbono
  - 5.3.4. Estruturas operacionais do mercado
  - 5.3.5. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
  - 5.3.6. Características das Reduções Certificadas de Emissão
  - 5.3.7. Geração de Crédito de Carbono

5.3.8. Metodologia utilizada	
5.3.9. Estimativa de Emissões Reduzidas e Absorções de CO2	
5.3.10. Geração de créditos de carbono	
5.3.11. Teor de carbono total	
5.3.12. Emissão de CO2	
5.3.13.. Biochar e Mecanismo de Mercado de Carbono	
5.3.13.1. Biochar: Uma Tecnologia de Emissões Negativas	
5.3.13.2. Sequestro de carbono	
5.3.13.3. Uso do biochar antes do seu armazenamento permanente no reservatório de carbono do solo	
5.3.13.4. Mercado de remoção de carbono	
5.3.13.5. Estudos de caso e projetos	
5.3.13.6. Conclusões	
SEÇÃO 4 Certificação Internacional Biochar .....	501
5.4.1. Certificação da “International Biochar Initiative”	
5.4.2. Certificação da “European Biochar Certificate”	
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA.....	515

Livro Biochar Biomassa Bambu

Catálogo na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. 2025

Conteúdo: 1. Análise da biomassa do bambu como matéria-prima para a produção de Biochar no Brasil 2. Projeções de Produção de Biochar dos Tipos de Bambu 3. Bambu no Brasil e o Potencial de Produção e de Aproveitamento Sustentável 4. Cultivo do Bambu - produção e tratamento pós corte e Atividade Comercial do Bambu 5. Biochar como Sequestro de Carbono, Adubo Ecológico e Fertilizante para Agricultura Regenerativa 6. Tecnologia Industrial de Pirólise Biomassa do Bambu para Produção Biochar, bio-óleo, gás sintético, extrato pirolenhoso e vinagre de madeira 7. Análise Mercado de Produção e de Consumo de Biochar. 8. Aproveitamento sustentável (bioeconomia e economia circular) dos Resíduos da Biomassa do Bambu. 9. Impacto e Projeções de Uso/Consumo de Biochar de Bambu. 10. Requisitos Ambientais, e Permissões. 11. Certificações Internacionais do Biochar 12. Biochar 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

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

Edição eletrônica no Brasil e Portugal em versão eletrônica

© 2025 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável

Edição 2025 Total 618 páginas.

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



## DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS

Este Livro Biochar Biomassa do Bambu contém certas declarações prospectivas que dizem respeito a eventos futuros ou desempenho futuro do mercado de produção e consumo de Biomassa para a produção de biochar. 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 Livro.

Objetiva-se com o Livro Biochar Biomassa do Bambu em gerar expectativas dentro de uma tendência de mercado de produção da biomassa para a produção de biochar. 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 Livro Biochar Biomassa do Bambu.

DIRETORIA EXECUTIVA



## Apresentação do Livro Biochar da Biomassa do Bambu

Em nome da Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável e dos numerosos colaboradores que ajudaram no desenvolvimento do primeiro Livro Biochar Biomassa do Bambu que tem por objetivo uma avaliação pormenorizada do setor na produção de um produto sustentável (Biochar) no Brasil.

O Brasil está sob pressão para melhorar sua produtividade agrícola para acompanhar as demandas de uma população crescente com dietas cada vez mais intensivas em recursos. Essa melhoria de produtividade deve ocorrer em um cenário de metas de redução de intensidade de carbono. O desafio do setor agroindustrial vai exigir uma enorme quantidade de adubos e fertilizantes e o biochar pode ser uma solução ao setor.

O bambu é uma gramínea lenhosa pertencente à família Poaceae, ocorrendo extensivamente tanto em florestas quanto em áreas rurais, bem como em terras agrícolas e margens de rios. Devido à sua forma de crescimento, atua como um escudo ambiental natural e tem sido explorado como material de construção, como alternativa ao combustível de madeira, como substituto da madeira e até mesmo como substituto de produtos florestais não-madeireiros.

Devido à sua resistência e durabilidade, as últimas aplicações do bambu são típicas nas áreas do mundo onde o fornecimento de madeira não consegue mais atender à demanda.

De qualquer forma, somente nos últimos anos o interesse pelo bambu agrícola explodiu na África, América do Sul e até mesmo na Europa. Coletivamente, como uma agricultura regenerativa e como uma fonte renovável de energia, o bambu representa uma cultura maravilhosa para a produção de Biochar.

Tem necessidades mínimas de nutrientes, é relativamente rápido de se estabelecer e, uma vez que cresce com vigor incomparável, usando suas raízes tenazes para elevar o lençol freático e conter a erosão. Devido a essas características e principalmente graças ao seu rápido crescimento em relação às plantas lenhosas, o bambu é uma fonte ótima para produzir biochar de forma mais eficiente e ecologicamente correta do que a madeira.

O bambu é capaz de proliferar sem a necessidade de seguir regras rigorosas para cultivo, colheita, propagação e corte. O bambu pode tolerar uma ampla faixa de temperaturas ( $-28-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), é capaz de explorar eficientemente a água e o solo à sua disposição e não precisa de fertilizantes ou pesticidas.

Sabe-se que a possível quantidade de teor de carbono no biochar derivado de uma determinada planta depende diretamente de sua atividade metabólica (fotossíntese), por meio da qual ingere  $\text{CO}_2$  e libera oxigênio ( $> 30\%$ ) de volta para a atmosfera, reduzindo assim o aquecimento global.

Nesse sentido, devido à sua taxa de crescimento inigualável, o bambu produz mais biomassa e captura mais carbono atmosférico por hectare do que qualquer outra coisa, removendo assim mais carbono do céu e adicionando-o ao solo.

Embora a utilidade do bambu como absorvente não seja muito conhecida, o que é cultivado em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo pode ser usado como matéria-prima renovável, como já ocorre em muitos países, especialmente na Ásia (China, Índia e Tailândia), América Central (Costa Rica, México e Honduras) e América do Sul (Peru, Equador e Colômbia).

Foi relatado que as plantações de bambu podem armazenar quatro vezes mais carbono do que as florestas de madeira e que, portanto, são consideradas uma alternativa potencial como um estoque de carbono durável. O bambu, como a madeira, é um modelo natural promissor para dispositivos de base biológica que aproveitam sua arquitetura hierárquica e propriedades mecânicas e elétricas anisotrópicas.

O biochar de bambu foi reconhecido como um material regenerativo de fisioabsorção, econômico e ecologicamente correto para captura de carbono. Além disso, o biochar, sendo um material carbonoso poroso em crescimento com alta área de superfície, tem sido usado para combustível de biomassa, captura de carbono e adsorção de contensão.

Comparado à composição da madeira, a fibra de bambu tem diferentes orientações fibrilares cercadas por camadas estreitas e largas alternadas.

A parede celular secundária é composta principalmente de celulose e lignina, com ligação covalente ligando ácidos fenólicos de lignina a materiais polissacarídeos.

Os colmos de bambu crescem e amadurecem em um período de tempo muito curto, o que pode permitir um fornecimento contínuo de fibra, dando-lhe uma vantagem sobre as árvores. As propriedades mecânicas e térmicas do bambu aumentam sua competitividade contra outras formas de biomassas lenhosas.

Por várias razões, o bambu é uma opção superior a outras madeiras para produção de biochar, incluindo resistência, respeito ao meio ambiente, resistência à água, custo, proteção do solo e contribuição para a qualidade do ar. Esses benefícios foram a força motriz por trás de vários usos para este material, incluindo purificação, absorvedores de ondas eletromagnéticas e purificadores de água.

Esses benefícios são influenciados pelos procedimentos de ativação e carbonização usados para fazer biochar de bambu. A madeira de bambu verde é torrada a uma temperatura constante para criar biochar ativado quando o biochar é exposto ao oxigênio usando o método de pirólise. Recentemente, os processos pirolíticos para produção de carvão vegetal ganharam atenção significativa. Além de seu uso típico como combustível, novas aplicações surgiram no setor agrícola, onde atualmente é empregado para melhorar as propriedades físicas e químicas dos solos.



Esse processo rompe moléculas da biomassa e reorganiza as ligações químicas para formar o biochar, como também outros compostos concentrados em carbono, por exemplo os bio-óleos, extrato pirolenhoso e vinagre da madeira e gases de síntese que podem ser reaproveitados para fins energéticos.

O biocarvão (biochar, em inglês) é um produto sólido com elevada concentração de carbono, altamente estável e resistente à decomposição biológica. É obtido a partir da pirólise da biomassa bambu um processo termoquímico caracterizado pelo aquecimento da matéria-prima a altas temperaturas na ausência de oxigênio.



O fluxo de carbono global pode ser caracterizado, de forma simples, em 3 principais atividades: emissão, que seria a liberação de carbono na atmosfera, através de atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis; redução, que envolve a diminuição das emissões de carbono na atmosfera por meio de práticas mais sustentáveis, como o uso de energia renovável; e remoção, que consiste em retirar carbono da atmosfera.

O biochar de bambu, além de ser uma opção de remoção de carbono reconhecida cientificamente, também é uma solução baseada na natureza (NBS – nature based solution) que pode proporcionar diversos benefícios ambientais, além do sequestro de carbono.

Quando aplicado na agricultura, o biochar age como uma esponja de carbono que retém água e nutrientes, atuando como um condicionador de solo capaz de gerar ganhos de produtividade e redução no uso de fertilizantes.

Para o clima, além do biochar remover permanentemente carbono da atmosfera, ele pode gerar também redução das emissões de outros GEE do solo, principalmente o óxido nitroso [N<sub>2</sub>O] e metano [CH<sub>4</sub>] dos fertilizantes e da decomposição da matéria orgânica do solo.

Uma vez que as emissões do setor agroindustrial são de difícil abatimento e representam mais de 30% das emissões globais, o biochar se mostra como uma alternativa promissora para mitigação das mudanças climáticas .

A utilização desse material, comumente conhecido como biochar (carvão ativado de origem de biomassa), aumenta o conteúdo de matéria orgânica do solo ao mesmo tempo em que modifica os níveis de acidez (pH). Da mesma forma, altera os coeficientes de troca catiônica, permitindo melhorar o rendimento em diversos tipos de culturas.

Devido à sua estrutura porosa, o biochar também é usado como aditivo em regiões de baixa pluviosidade, onde estabiliza efetivamente os níveis de umidade do solo.

Além disso, a incorporação de biochar como um agente estruturante e material base para nutrientes durante o processo de compostagem otimiza a degradação da matéria orgânica, ao mesmo tempo em que reduz as emissões de amônia e gases de efeito estufa. Também é conhecido por sua eficácia na redução da absorção de metais pesados em solos agrícolas contaminados e, como aditivo, é considerado uma estratégia de mitigação das mudanças climáticas, dada sua capacidade de sequestrar carbono sólido em campos agrícolas por centenas e até milhares de anos.



Desenvolvemos dois testes industriais (São Paulo e Minas Gerais) utilizando o aproveitamento da biomassa residual de bambu na produção de biochar, bio-óleo, extrato pirolenhoso, vinagre de madeira e de gás sintético onde comprovamos a plena viabilidade de produção do biochar ativado.

Os resultados indicam que aproximadamente 1 kg de biomassa residual bambu é necessário para produzir 0,54 kg de biochar. O projeto industrial desenvolvido pela Brasil Biomassa em São Paulo e em Minas Gerais foi utilizando o sistema industrial de pirólise conduzida em um ambiente livre de oxigênio produzindo aproximadamente 30% mais carvão em comparação com a pirólise rápida (12%) ou gaseificação (10%). Os resultados obtidos são consistentes e o sistema de pirólise lenta é o mais adequado para a produção de biochar.

Os dois projetos desenvolvidos pela Brasil Biomassa em São Paulo e Minas Gerais utilizaram a biomassa residual de bambu e veio em demonstrar a viabilidade de produzir biochar de alta qualidade, com propriedades favoráveis e empregando um reator simples de câmara dupla. Os resultados indicam que nos testes industriais com a biomassa de bambu fornecem parâmetros adequados para utilização de energia e produção de biochar ativado para uso como adubo no solo.



Os resultados do biochar produzido via pirólise lenta em temperaturas entre 400 e 500 °C demonstram melhorias em relação aos valores obtidos da biomassa original do bambu.

Os rendimentos do biochar variaram entre 30% e 40%, com alto teor de carbono fixo, apresentando o maior valor em  $77 \pm [2,51]\%$ . A relação H/C de 0,03 em todos os dois biochars, em comparação com 0,13 na biomassa de bambu, indica aromaticidade e maturação adequada.

Os principais elementos inorgânicos nos dois biochars mostram um aumento em comparação à biomassa original. A alta presença de cálcio (Ca) e potássio (K) evidencia uma vantagem para uso no solo.

Os altos valores de carbono fixo permitem a utilização do biochar para remediação e enriquecimento do solo, sequestro de carbono, como elementos de filtragem ou outra aplicação versátil, como compostagem de resíduos sólidos orgânicos, descontaminação de água e esgoto, servindo como catalisadores e ativadores, bem como em materiais de eletrodo e modificadores.

De acordo com a definição fornecida pela International Biochar Initiative (IBI), o biochar (BC) é “o material sólido obtido da conversão termoquímica de biomassa em um ambiente com oxigênio limitado”.



O biochar é 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 oferece 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.

A comunidade científica internacional, representada pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima), já constatou que medidas de mitigação das mudanças climáticas focadas apenas na redução de emissões de GEE não serão suficientes para conter o aquecimento global a níveis seguros para a sociedade implicando assim na necessidade da adoção de práticas de remoção de carbono, capazes de retirar efetivamente carbono da atmosfera.

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.

O biochar se diferencia do carvão vegetal principalmente devido à sua aplicação como corretivo de solos agrícolas capaz de aumentar a produtividade e reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE) provenientes da biomassa que, de outra forma, se decomporia rapidamente (IPCC 2022).

Desde o início do século XXI, a produção e utilização de biochar para fins agrícolas e ambientais se tornaram um foco de pesquisa internacional em função do sequestro de carbono. O biochar é aplicado para diminuir a adversidade e os riscos ambientais dos fertilizantes químicos.

Foi comprovado que o biochar melhora a fertilidade do solo, reduz a necessidade de fertilizantes minerais, aumenta os rendimentos e a qualidade das colheitas e protege as águas subterrâneas e a atmosfera da poluição, incluindo a contaminação por óleo. Esta substância sólida rica em carbono tem sido investigada principalmente desde sua descoberta na bacia amazônica em Terra Preta, e é referida como um modelo para agricultura sustentável.

A carbonização hidrotérmica, caracterizada pela sua facilidade de operação e capacidade de produzir de biochar com uma estrutura de poros abundante e alta área de superfície específica, está ganhando destaque por seus benefícios ambientais.

Além disso, o método de carbonização por micro-ondas oferece vantagens como aquecimento uniforme, rapidez e baixo consumo de energia.

O biochar, caracterizado por alta estabilidade e uma estrutura de poros bem definida, possui grupos funcionais de superfície que o tornam um adsorvente excepcional, particularmente no tratamento de águas residuais contaminadas com metais pesados . O cromo, um poluente altamente tóxico de águas residuais industriais, representa riscos significativos para o meio ambiente e a saúde humana.

Biochar é um material sólido rico em carbono e sintetizado por carbonização hidrotérmica ou por pirólise lenta de biomassa. Esses processos produzem biochar com uma natureza alcalina notável que é favorável ao tratamento de solos ácidos.

Os processos envolvem principalmente a decomposição térmica de biomassa, como óleo de palma, casca de semente de algodão, casca de laranja, bambu e vários resíduos orgânicos sob condições anaeróbicas.

A aplicação de biochar como meio de remediação e fortalecimento do solo tem sido estudada na última década devido à sua eficiência e custo-benefício.

Nosso Livro avalia que os sistemas de produção de biochar de bambu podem gerar energia e, quando apropriado, devem recuperar e usar o calor do processamento, bem como utilizar subprodutos de gás de síntese e bio-óleo (extrato pirolenhoso e vinagre de madeira).

Os sistemas de biochar proporcionam um uso na agricultura e pecuária, reduzindo a prática de queima de plantações, oferecem desenvolvimento econômico com recursos que, de outra forma, seriam desperdiçados e ajudam a melhorar a produtividade agrícola por meio da melhoria da saúde do solo e da retenção de água. Uma questão a ser abordada no Livro é a quantidade de matéria-prima de bambu que encontra disponível para a produção de biochar com acesso imediato no Brasil .

Assim sendo, o estudo pretende em abordar uma questão fundamental de disponibilidade de biomassa do bambu para a produção de biochar em todo o território nacional. As quantidades reais de produção e de disponibilidade dependerá da demanda do mercado e dos avanços técnicos e da política de produção de biochar e da geração e dos créditos de carbono. Este Livro é o esforço dos profissionais da Brasil Biomassa. Trabalhamos com informações científicas confiáveis e este Livro é o primeiro documento para ajudar as empresas e os profissionais para a produção de biochar com a biomassa do Bambu.

Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável

