

BRASIL BIOMASSA E ENERGIA RENOVÁVEL

**LIVRO TECNOLOGIA INDUSTRIAL BIOCHAR
BIOMASSA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**



EDITORA BRASIL BIOMASSA

2026

SUMÁRIO EXECUTIVO

LIVRO TECNOLOGIA INDUSTRIAL BIOCHAR BIOMASSA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO

INTRODUÇÃO.....	23
-----------------	----

Declarações Prospectivas

Apresentação do Livro Biochar da Resíduos Sólidos Urbano

Exposição Fundamental Biochar Resíduos Sólidos Urbano

Metodologia do Livro Biochar Resíduos Sólidos Urbano

DIRETRIZES FUNDAMENTAIS BIOCHAR BIOMASSA RSU.....	51
---	----

Seção 1 Diretrizes Gerais de Produção de Biochar RSU.....	51
---	----

I. Características dos Resíduos Sólidos Urbano

II. Tecnologia de Produção de Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano

III. Processo Termoquímico da Pirólise de Resíduos Sólidos Urbano

IV. Pirólise Lenta

V. Pirólise Assistida por Micro-ondas

VI. Pirólise Ablativa

VII. Gaseificação dos Resíduos Sólidos Urbano

VIII. Carbonização Autossustentável

IX. Aspecto Financeiro da Tecnologia de Produção de Biochar

X. Características do Biochar dos Resíduos Sólidos Urbano

XI. Ativação de Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano

XII. Ativação Física

XIII. Ativação por Vapor do Steam

XIV. Ativação de CO₂

XV. Ativação Química

XVI. Ativação Ácida - Ativação de H₃ PO₄

XVII. Ativação Alcalina - Ativação de KOH

XVIII. Ativação de NaOH

XIX. Impregnação de Metais

XX. Ativação de MgCl₂

XXI. Efeito do Método de Ativação nas Propriedades do Biochar de Resíduos Sólidos Urbano

XXII. Utilização de Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano para Diferentes Aplicações

XXIII. Biochar à Base da Biomassa de Resíduos Sólidos Urbano na Remediação de Poluentes

XXIV. Biochar à Base da Biomassa de Resíduos Sólidos Urbano na Adsorção de CO₂

- XXV. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano como Aditivo em Compósitos
- XXVI. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano como Catalisador
- XXVII. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano na Construção Civil
- XXVIII. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano em Aplicação ambiental - Corretivos de Solo
- XXIX. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano em Aplicação Industrial - Produção de biodiesel
- XXX. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano em Deionização Capacitiva
- XXXI. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano para Tratamento de Água
- XXXII. Biochar à Base de Resíduos Sólidos Urbano para Sequestro de Carbono
- XXXIII. Utilização de Técnica Analítica de Biochar Resíduos Sólidos Urbano

CAPÍTULO I RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO.....110

1.1. Resíduos Sólidos Urbano

1.1.1 Resíduos sólidos: conceituação e classificação

1.1.1.1. Caracterização dos Resíduos Sólidos

1.1.1.2. Caracterização

1.1.1.3. Identificação

1.1.2 Classificação dos Resíduos

- 1.1.2.1. Classificação normativa
- 1.1.2.2. Classificação dos resíduos gerados no Brasil
- 1.1.3 Gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos
- 1.1.4 Gestão e gerenciamento integrados de resíduos sólidos
- 1.1.5 Gerenciamento e rotas tecnológicas para os resíduos sólidos
- 1.1.6 Geração dos Resíduos Sólidos
- 1.1.7 Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos
- 1.1.8 Tratamento
 - 1.1.8.1 Triagem/Reciclagem
 - 1.1.8.2 Compostagem
 - 1.1.8.3 Incineração
- 1.1.9 Aterro Sanitário
- 1.1.10. Grupos de Geradores
- 1.1.11. Acondicionamento dos Resíduos Sólidos
 - 1.1.11.1. Resíduos Domiciliares
 - 1.1.11.1.1. Resíduos domiciliares não perigosos
 - 1.1.11.1.2. Resíduos domiciliares perigosos

- 1.1.11.2. Resíduos Comerciais
- 1.1.11.3. Resíduos Públicos
- 1.1.11.4. Resíduos de Serviços de Saúde
- 1.1.11.5. Resíduos de Coleta Seletiva
- 1.1.11.6. Resíduos de Construção e Demolição
- 1.1.12. Resíduos Sólidos Especiais
 - 1.1.12.1. Resíduos sólidos industriais
 - 1.1.12.2. Resíduos de serviços de transportes
 - 1.1.12.3. Resíduos agrossilvipastoris
- 1.1.13. Logística Reversa

CAPÍTULO II BIOMASSA RSU PRODUÇÃO BIOCHAR.....160

- 2.1. Introdução
 - 2.1.1. Viabilidade da utilização de RSU para produção de biochar
 - 2.1.1.1. Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbano
 - 2.1.1.2. Alternativas de Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbano
 - 2.1.2. Aterro sanitário com geração de energia e biochar

2.1.2.1. Termovalorização ou incineração com geração de energia

2.1.2.2. Compostagem

2.1.3. Caracterização do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.3.1. Rendimento do biochar

2.1.3.2. Propriedades aproximadas do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.3.3. Composições elementares do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.3.4. Funcionalidade de superfície do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.4. Aplicações do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.5. Oportunidades e desafios futuros

2.1.5.1. Perspectivas ambientais do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.5.2. Perspectivas econômicas do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.5.3. Limitações do biochar derivado de Resíduos Sólidos Urbano

2.1.6. Emissões de Gases de Efeito Estufa

2.1.6.1. Aterro Sanitário x Termovalorização

2.1.6.2. Fatores de emissões para a movimentação dos Resíduos Sólidos Urbano

2.1.6.3. Emissões no tratamento final dos Resíduos Sólidos Urbano

2.1.6.4. Fatores de emissão de gases de efeito estufa para os cenários estabelecidos

CAPÍTULO III TECNOLOGIA PRODUÇÃO BIOCHAR RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO.....230

SEÇÃO 1 Rotas de Conversão de Resíduos Sólidos Urbano.....230

3.1. Rotas de Conversão da Biomassa dos Resíduos Sólidos Urbano

3.1.1 Pré-tratamento

3.1.1.1 Pré-tratamento da Resíduos Sólidos Urbano

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 Resíduos Sólidos Urbano

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 dos Resíduos Sólidos Urbano
- 3.1.4 Processos de Conversão da Biomassa
- 3.1.5 Conversão Termoquímica

SEÇÃO 2 Processo de Pirólise Resíduos Sólidos Urbano.....260

- 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.....280

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 Resíduos Sólidos Urbano.....300

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.....350

SEÇÃO 1 Biochar Resíduos Sólidos Urbano.....350

4.1. Biochar dos Resíduos Sólidos Urbano

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.....	400
4.2. Gases da carbonização	
4.2.1. Gás natural sintético – Syngas	
SEÇÃO 3 Extrato Pirolenhoso	410
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 AdjResíduos Sólidos Urbanonte 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
- 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 MERCADO CARBONO BIOCHAR RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.450

SEÇÃO 1 Utilização Biochar dos Resíduos Sólidos Urbano.....450

- 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.....550

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 funcionamento 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. Custo 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.....590

- 5.3. Mercado de Carbono
 - 5.3.1. Mercado Regulado
 - 5.3.2. Mercado Voluntário
 - 5.5.3. 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 CO ₂	
5.3.10. Geração de créditos de carbono	
5.3.11. Teor de carbono total	
5.3.12. Emissão de CO ₂	
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	640
5.4.1. Certificação da “International Biochar Initiative”	
5.4.2. Certificação da “European Biochar Certificate”	
BRASIL BIOMASSA CONSULTORIA ENGENHARIA TECNOLOGIA.....	650

Livro Biochar Biomassa dos Resíduos Sólidos Urbano

Catálogo na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. Edição 2026

Conteúdo: 1. Análise do Potencial e de Disponibilidade Resíduos Sólidos Urbano como matéria-prima para a produção de Biochar no Brasil 2. Projeções de Produção de Biochar Resíduos Sólidos Urbano. 3. Biochar para Sequestro de Carbono, Fertilizante Ecológico e para Agricultura Regenerativa 4. Tecnologia Industrial de Pirólise Resíduos Sólidos Urbano para produção Biochar, bio-óleo, gás sintético, extrato pirolenhoso e vinagre de madeira 5. Análise Mercado de Produção e Consumo de Biochar. 6. Aproveitamento Sustentável (bioeconomia e economia circular) dos resíduos da Resíduos Sólidos Urbano. 7. Requisitos Ambientais, Certificações e Permissões do biochar. 8. Impacto e Projeções de Uso e Consumo de Biochar Resíduos Sólidos Urbano 9. Certificações Internacionais do Biochar 10. Biochar Resíduos Sólidos Urbano 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

© 2026 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável Edição 2026 Total 700 páginas.

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



DECLARAÇÕES PROSPECTIVAS

Este Livro Biochar Resíduos Sólidos Urbano contém certas declarações prospectivas que dizem respeito a eventos futuros ou desempenho futuro do mercado de produção e consumo de Resíduos Sólidos Urbano para a produção 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 Resíduos Sólidos Urbano 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 Livro. Assim utilizamos as declarações prospectivas de informações como apenas uma advertência no desenvolvimento do Livro Biochar Resíduos Sólidos Urbano.

DIRETORIA EXECUTIVA