

ESTUDO SETORIAL DESCARBONIZAÇÃO
INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

2025

E
D
I
T
O
R
A

B
R
A
S
I
L

B
I
O
M
A
S
S
A



BIOMASSA SUSTENTÁVEL HIDROGÊNIO
BIOCARVÃO ARMAZENAMENTO CARBONO
CENÁRIO NET ZERO AÇO VERDE

SUMÁRIO EXECUTIVO

ESTUDO SETORIAL

DESCARBONIZAÇÃO DAS INDÚSTRIAS SIDERÚRGICAS

INTRODUÇÃO.....	25
I. Declarações Prospectivas	
II. Apresentação do Estudo Setorial Descarbonização das Indústrias Siderúrgicas	
III. Objetivos do Estudo Setorial Descarbonização	
IV. Metodologia Geral do Estudo Setorial Descarbonização	
V. Conclusões Preliminares	
DIRETRIZES GERAIS DESCARBONIZAÇÃO INDUSTRIAL FERRO E AÇO.....	40
a. Diretrizes Gerais do Setor Siderúrgico Nacional	
b. Perspectivas Futuras Para a Indústria de Ferro e Aço	
c. Medidas do Governo Federal e a Expansão da Estrutura Produtiva no Brasil	
d. Diretriz do Processo de Produção de Ferro e Aço	
e. Produção Primária e Secundária de Ferro e Aço	
f. Diferentes Estágios na Produção Siderúrgica	
g. Tecnologias para Fornecimento de Calor e Energia	
h. Emissões Atuais e Uso de Energia	
i. Evolução do Consumo de Energia e Emissões de CO ₂	
j. Demanda de Calor e Energia	
k. Carbono e Combustíveis Utilizados no Processo	
l. Ambiente de Negócios do Setor Siderúrgico	
m. Estrutura de Mercado Industrial	
n. Estratégias de Negócios e Investimentos do Setor	

- o. Financiamento e Investimentos do Setor Siderúrgico
- p. Caminhos da Descarbonização Industrial das Siderurgias
- q. Aspectos Preliminares da Descarbonização
- r. Caminhos e Cenários da Descarbonização
- s. Caminho de Redução de 20-40% de CO₂
- t. Caminho de Redução de 40-60% de CO₂
- u. Caminho Técnico Máximo
- v. Custos do Caminho de Descarbonização
- x. Regras Gerais de Custos
- z. Cálculo dos Custos do Caminho de Descarbonização
- w. Resultados da Análise de Custos
- y. Análise de Sensibilidade
- aa. Evolução da Linha de Base
- ab. Análise do Potencial de Redução de Emissões
- ac. Tecnologias para Reduzir Emissões de Carbono
- ad. Biomassa Sustentável e Bioenergia
- ae. Intensidade de Carbono da Biomassa
- af. Hidrogênio Verde
- ag. Captura e Armazenamento de Carbono
- ah. Recuperação de Calor com Tecnologias Avançadas
- ai. Potencial de Descarbonização no Setor de Ferro e Aço
- aj. Facilitadores e Barreiras para a Descarbonização no Setor de Ferro e Aço
- ak. Divisão BF-BOF/EAF
- al. Eficiência do Material
- am. Estratégia de Descarbonização sem Captura de Carbono
- an. Estratégia de Descarbonização com Biomassa e sem Captura de Carbono
- ao. Estratégia de Descarbonização com Biomassa e Captura de Carbono
- ap. Opções de Curto Prazo

aq. Soluções de Retrofit e Reconstrução sem Captura de Carbono	
ar. Implicações de Facilitadores e Barreiras	
as. Conclusões Estratégicas	
as1. Estratégia, Liderança e Organização	
as2. Barreiras do Caso de Negócios	
as3. Custos Futuros de Energia	
as4. Segurança do Fornecimento de Energia	
as5. Contexto da Política Energética Industrial	
as6. Descarbonização da Rede Elétrica	
as7. Eletrificação do Calor e Bioeletricidade	
as8. Eficiência Energética e Recuperação de Calor	
as9. Disponibilidade de Combustível e Matéria-prima para Descarbonização	
as10. Estrutura de Mercado e Concorrência	
as11. Colaboração na Cadeia de Valor	
as12. Empregos Verdes no Setor Siderúrgico	
as13. Futuro do Aço é Verde	
I. SETOR INDUSTRIAL FERRO E AÇO.....	180
Seção 1 Mercado Global Ferro e Aço.....	180
1.1. Indústria Siderúrgica	
1.1.1. Produção Mundial de Ferro e Aço	
1.1.2. Diretrizes do Consumo Global de Aço	
1.1.3. Tamanho do Mercado Global de Processamento de Aço	
Seção 2 Setor Industrial Siderúrgico Brasileiro.....	200
1.2. Mercado Brasileiro de Produção e Consumo de Aço	
1.2.1. Usinas Integradas	
1.2.2. Usinas Semi-integradas	

Seção 3 Etapas do Processo de Produção de Ferro e Aço.....	210
1.3. Preparação do Minério de Ferro e do Carvão	
1.3.f1 Redução do Minério de Ferro	
1.3.2. Altos-Fornos a Coque	
1.3.3. Altos-Fornos a Carvão Vegetal	
1.3.4. Redução Direta	
1.3.5. Refino	
1.3.6. Conformação Mecânica	
Seção 4 Rotas Tecnológica de Produção de Ferro	225
1.4. Processo Produtivo de Pelotização	
1.4.1. Preparo da Matéria-prima	
1.4.2. Concentração e Filtragem	
1.4.3. Pelotamento e Formação das Pelotas Cruas	
1.4.4. Processamento Térmico e Forno de Endurecimento	
Seção 5 Processo Produtivo de Ferro-gusa.....	240
1.5. Preparo do Minério de Ferro	
1.5.1. Preparo do Carvão Vegetal	
1.5.2. Alto Forno	
1.5.3. Combustíveis e Redutores Sólidos	
1.5.4. Lingotamento	
1.5.5. Sistemas de Energia	
Seção 6 Processo Produtivo de Aço Plantas Integradas a Carvão Mineral e Vegetal.....	260
1.6. Usinas Integradas	
1.6.1. Processo de Redução no Alto-forno	
1.6.2. Coque Carvão Mineral	
1.6.3. Coque Metalúrgico Carvão Vegetal	
1.6.4. Sinterização	

1.6.5. Alto-forno	
1.6.6. Aciaria	
1.6.7. Laminação	
1.6.8. Flare	
1.6.9. Sistemas de Energia	
1.6.10. Produção do Aço Processo de Lingotamento Direto	
1.6.11. Lingotamento Contínuo	
Seção 7 Produção de Aço Plantas Reaproveitamento Sucata Metálica.....	280
1.7. Usinas Semi-integradas	
1.7.1. Refino	
1.7.2. Aciaria	
1.7.3. Laminação	
1.7.4. Tipos de Fornos Elétricos	
1.7.5. Forno a Arco Indireto	
1.7.6. Forno a Arco Direto	
1.7.7. Forno a Indução	
1.7.8. Forno de Resistência	
1.7.9. Preparo da carga e carregamento;	
1.7.10. Fusão da carga	
1.7.11.1 Refino oxidante	
1.7.12. Refino redutor	
1.7.13. Vazamento	
1.7.14. Aglomerados Auto-Redutores	
Seção 8 Métodos de Produção do Aço.....	300
1.8. BF-BOF (blast furnace – basic oxygen furnace)	
1.8.1. ST-EAF (scrap steel – electric arc furnace)	
1.8.2. ST-EAF (scrap steel – electric arc furnace)	

1.8.3. DRI-EAF (direct reduced iron – electric arc furnace)	
1.8.4. Tipos de Forno na Produção de Aço	
1.8.5. Alto-Forno e Aciaria a Oxigênio	
1.8.6. Forno Arco Elétrico para Obtenção de Aço	
II.EMISSIONES CO2 SETOR INDUSTRIAL SIDERÚRGICO.....	320
Seção 1 Inventário de GEE na Indústria Siderúrgica.....	320
2.1. Visão Geral Desenvolvimento Sustentável de Ferro e Aço	
2.1.1. Práticas Atuais para Gestão de Inventário de GEE	
2.1.2. Entradas	
2.1.3. Fabricação de Ferro e Aço	
2.1.4. Processamento	
2.1.5. Cadeia de valor	
2.1.6. Emissões GEE na Produção de Aço em Usina Integrada Via Alto Forno	
2.1.7. Emissões GEE na Produção de Coque.	
2.1.8 Emissões GEE no Alto Forno.	
2.1.9. Emissões GEE no Refino Primário	
2.1.10. Emissões GEE no Refino Secundário	
2.1.11. Emissões GEE na Produção do Forno Esponja Redução Direta	
2.1.12. Emissões GEE na Reciclagem da Sucata via Forno Elétrico a Arco.	
2.1.13. Oportunidades na Redução de Emissões da Indústria Siderúrgica	
III. FONTES DE ENERGIA PRODUÇÃO FERRO E AÇO	340
Seção 1 Energia Processo Produção de Pelotização.....	340
3.1. Produção e Etapas de Processo de Pelotização	
3.1.1. Fontes de Energia Processo Pelotização	
3.1.2. Principais Equipamentos Consumidores de Energia	
3.1.3. Eficiência Energética	

3.1.4. Tipos de Combustíveis Utilizados no Processo de Pelotização	
3.1.5. Combustíveis Energéticos no Processo de Pelotização	
3.1.6. Antracito	
3.1.7. Combustíveis Energéticos no Processo de Pellet Feed	
3.1.8. Tecnologias Eficientes	
3.1.9. Oportunidades de Eficiência Energética	
3.1.10. Tipos de Fornos Processos de Pelotização	
Seção 2 Energia Processo Produção de Ferro-Gusa.....	370
3.2. Produção e Etapas de Processo de Ferro-Gusa	
3.2.1. Fontes de Energia Processo de Produção de Ferro-Gusa	
3.2.2. Principais Equipamentos Consumidores de Energia	
3.2.3. Aquecimento Direto – Gás do Alto-forno	
3.2.4. Aquecimento Direto - Carvão Vegetal	
3.2.5. Combustíveis Energéticos no Processo de Ferro-Gusa	
3.2.6. Combustíveis Processo de Alto-Fornos	
3.2.7. Gás de Alto-forno	
3.2.8. Tecnologias Mais Eficientes	
3.2.9. Eficiência Energética	
3.2.10. Redução do Consumo de Carvão Vegetal	
3.2.11. Injeção de Oxigênio no Alto-forno	
3.2.12. Injeção de Gás Natural no Alto-forno	
3.2.13. Aproveitamento Energético do Pó de Balão/Coletor	
Seção 3 Energia Processo Produtivo de Aço Plantas Integradas.....	390
3.3. Produção de Aço via Plantas Integradas	
3.3.1. Produção e Etapas de Processo Produção Aço Plantas Integradas	
3.3.2. Fontes de Energia Processo	
3.3.3. Combustíveis Energéticos	

- 3.3.3.1. Processo de Coqueria
- 3.3.3.2. Processo de Sinterização
- 3.3.3.3. Processo de Alto-forno
- 3.3.3.4. Processo de Aciaria
- 3.3.3.5. Processo de Laminação
- 3.3.3.6. Processo de Flare
- 3.3.4. Tecnologias Mais Eficientes
- 3.3.5. Eficiência Energética

Seção 4 Energia Processo Produtivo de Aço Plantas Integradas - Coque Metalúrgico Sem Coqueria.....410

3.4. Produção e Etapas de Processo Produtivo de Aço Plantas Integradas Coque Metalúrgico Sem Coqueria

- 3.4.1. Fontes de Energia Processo
- 3.4.2. Combustíveis Energéticos
 - 3.4.2.1. Processo de Sinterização
 - 3.4.2.2. Processo de Pelotização
 - 3.4.2.3. Processo de Alto-forno
 - 3.4.2.4. Processo de Aciaria
 - 3.4.2.5. Processo de Laminação
 - 3.4.2.6. Processo de Flare
- 3.4.3. Tecnologias Mais Eficientes
- 3.4.4. Eficiência Energética

Seção 5 Energia Processo Produtivo de Aço Plantas Integradas Reaproveitam Sucata.....440

3.5. Produção e Etapas de Processo Produtivo de Aço em Plantas Integradas Reaproveitam Sucata

- 3.5.1. Fontes de Energia Processo

3.5.2. Combustíveis Energéticos	
3.5.2.1. Processo de Aciaria	
3.5.2.2. Processo de Laminação	
3.5.3. Tecnologias Mais Eficientes	
3.5.4. Eficiência Energética	
IV. DESCARBONIZAÇÃO INDUSTRIAL.....	460
Seção 1 Diretrizes Gerais da Descarbonização Industrial.....	460
4.1. Crise Climática e Energética	
4.1.1. Mudanças Climáticas e Efeito Estufa	
4.1.2. Impactos das Mudanças Climáticas na Energia	
4.1.3. Principais Impactos Climáticos na Energia	
4.1.4. Perturbações no Fornecimento de Energia	
4.1.5. Interrupções na Transmissão de Energia Elétrica	
4.1.6. Tensão no Sistema Energético	
4.1.7. Aumento da Poluição Atmosférica e Alterações Climáticas	
4.1.8. Energia e Economia	
4.1.9. Transição Energética.	
4.1.10. Eletricidade 4.0	
4.1.11. Metas Climáticas e Estratégias para o Desenvolvimento Sustentável	
4.1.12. Redução dos Gases de Efeito Estufa	
4.1.13. Priorizar Energias Renováveis	
4.1.14. Cenário Net-Zero	
Seção 2 Panorama Mundial dos Compromissos Neutralidade Carbono.....	490
4.2. Introdução	
4.2.1. Acordo de Paris	
4.2.2. COP 26 Biomassa Sustentável e Descarbonização Industrial	

4.2.3. First Movers Coalition e Descarbonização Industrial	
4.2.4. Agenda Climática.	
4.2.5. Declaração de Glasgow e Bioenergia Sustentável	
4.2.6. Participação do Setor Industrial nas Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa.	
4.2.7. COP 28 e Descarbonização Industrial	
Seção 3 Mercado Global de Descarbonização.....	520
4.3. Diretrizes Gerais do Mercado Global de Descarbonização.	
4.3.1. Tamanho do Mercado Global de Descarbonização	
4.3.2. Tendências do Mercado de Descarbonização	
4.3.3. Fatores de Crescimento do Mercado de Descarbonização	
4.3.4. Investimentos em Tecnologia de Descarbonização	
4.3.5. Mercado e Investimentos em Projetos Descarbonização Ásia Pacífico	
4.3.6. Mercado e Investimentos em Projetos Descarbonização Europa	
4.3.7. Mercado e Investimentos em Projetos Descarbonização da América do Norte	
4.3.8. Principais Players Mercado	
Seção 4 Panorama Brasileiro Compromissos Neutralidade Carbono,.....	550
4.4. Brasil e os Compromissos para Neutralidade Carbono	
4.4.1. Visão e Princípios Fundamentais	
4.4.2. Transição Economia Competitiva, Circular, Resiliente e Neutra em Carbono	
4.4.3. Trajetórias para Neutralidade de Carbono em 2050	
4.4.4. Papel da Economia Circular na Transição para Neutralidade	
4.4.5. Benefícios da Neutralidade Carbono para Qualidade Ar e Saúde Pública	
4.4.6. Contribuição para Resiliência e Capacidade Nacional de Adaptações	
4.4.7. Vulnerabilidades e Impactos das Alterações Climáticas	
4.4.8. Inovação e Conhecimento Sustentável	
4.4.9. Financiamento e Aumento nos Níveis de Investimentos	

4.4.10. Economia com Importação de Combustíveis Fósseis	
4.4.11 Impacto Geração de Empregos Verdes e Aumento do PIB	
4.4.12. Transição Justa e Coesa	
4.4.13 Condições de Governança e Interação Objetivos de Neutralidade Carbono	
Seção 5 Descarbonização Industrial.....	580
4.5. Diretrizes Gerais da Descarbonização Industrial	
4.5.1 Descarbonização Global	
4.5.2 Visão Mundial da Descarbonização Industrial.	
4.5.3. Soluções Tecnológicas para Descarbonização	
4.5.4. Setores Industriais Intensivos em Energia	
4.5.4.1. Redução da Demanda e Potencial de Eficiência Energética de Setores Intensivos em Energia	
4.5.5. Fundamentos da Descarbonização Industrial	
4.5.5.1. Eletrificação e Bioeletricidade	
4.5.5.2. Troca de Combustível Energético	
4.5.5.3. Eficiência Energética	
4.5.6 Importância da Descarbonização Industrial	
4.5.7 Desafios Futuro da Descarbonização Industrial	
Seção 6 Descarbonização Industrial nos Estados Unidos.....	600
4.6. Descarbonização Industrial nos Estados Unidos	
4.6.1. Emissões dos Gases Efeito Estufa nos Estados Unidos	
4.6.2. Legislações USA Mudanças Climáticas	
4.6.3. Financiamentos e Investimentos Descarbonização Industrial	
4.6.4. Geração de Empregos Verdes nos Estados Unidos	
4.6.5. Ações Federais Descarbonização Industrial	
4.6.6. Ações Estaduais Descarbonização Industrial.	

4.6.7. Descarbonização Setor Siderúrgico dos Estados Unidos	
Seção 7 Descarbonização Industrial na União Europeia.....	620
4.7. Descarbonização Industrial na União Europeia	
4.7.1. Emissões CO2 Países membros União Europeia.	
4.7.2. Lei da Indústria Líquida Zero	
4.7.3. Banco Europeu de Hidrogênio	
4.7.4. Investimentos para Descarbonização Industrial.	
4.7.5. Mercado de Trabalho e Empregos Verdes	
4.7.6. Perspectivas dos Setores	
4.7.7. Perspectiva Tecnológica e Eletrificação.	
4.7.1. Perspectiva do Sistema Energético	
4.7.8. Independência energética, novos riscos e oportunidades	
4.7.9. Descarbonização Setor Siderúrgico na União Europeia	
Seção 8 Descarbonização Industrial na Asia Pacífico.....	650
4.8. Descarbonização Industrial Asia Pacífico	
4.8.1. Descarbonização Industrial da China	
4.8.2. Descarbonização Setor de Energia China	
4.8.3. Descarbonização Setor de Metais China	
4.8.4. Descarbonização Setor de Refino e Petroquímica China	
4.8.5. Descarbonização Construção, Cimento e Transporte China	
4.8.6. Descarbonização Indústria Siderúrgica da China	
IV. DESCARBONIZAÇÃO SETOR INDUSTRIAL FERRO E AÇO.....	670
Seção 1 Descarbonização Industrial Siderúrgico.....	670
5.1. Diretrizes Gerais da Descarbonização Indústria Siderúrgica	
5.1.1. Caminhos da Descarbonização do Setor Ferro e Aço.	

- 5.1.2. Aumento de Eficiência dos Processos, e Integração Energética
- 5.1.3. Reciclagem e Aumento da Incorporação de Sucata
- 5.1.4. Coque de Carvão Vegetal
- 5.1.5. Descarbonização da Rota BF BOF de Tecnologia Convencional.
- 5.1.6. Transição para o Aço Verde: Projetos de Redução
- 5.1.7. Aprimoramento Tecnológico Setor Siderúrgico
- 5.1.8. Tecnologia Redução Direta de Ferro e Forno Elétrico Arco ArcelorMittal
- 5.1.9. Tecnologias Inteligentes de Baixo Carbono.
- 5.1.10. Tecnologia Industrial Vale/Tecnored Biocarbono Descarbonização da Indústria Siderúrgica
- 5.1.11. Captura, Utilização e Armazenamento de Carbono nas Indústrias Siderúrgicas
- 5.1.12. Diretrizes Finais da Descarbonização da Indústria Siderúrgica

- Seção 2 Descarbonização Industrial Ferro e Aço Biomassa Florestal e Madeira710
- 5.2. Biomassa Origem Sustentável
- 5.2.1. Biomassa Energética Florestal
- 5.2.1.1. Biomassa Florestal Residual
- 5.2.1.2. Biomassa de Exploração Florestal
- 5.2.1.3. Biomassa Processo Industrial Madeira
- 5.2.2. Diretrizes do Suprimento de Biomassa Florestal e da Madeira
- 5.2.2.1. Requisitos Fornecimento Biomassa Suprimento Energético
- 5.2.2.2. Diretrizes de Abastecimento de Biomassa Florestal e da Madeira
- 5.2.2.3. Cadeia de Suprimento de Biomassa Florestal e da Madeira
- 5.2.2.4. Custo da Cadeia de Suprimento de Biomassa Florestal e da Madeira
- 5.2.2.5. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos
- 5.2.2.6. Abordagem de Projeção da Cadeia de Suprimento de Biomassa
- 5.2.2.7. Modelo de Sistema de Fornecimento. Biomassa ao Setor Siderúrgico
- 5.2.3. Biomassa Florestal e Madeira Fonte de Energia ao Setor Siderúrgico
- 5.2.4. Descarbonização Ferro Aço com Substituição do Carvão por Biomassa

5.2.5. Descarbonização Ferro Aço com Substituição do Gás Natural por Biomassa

5.2.6. Descarbonização Ferro Aço com Substituição do Coque por Biomassa

5.2.7. Descarbonização Ferro Aço com Substituição do Sínter por Biomassa

Seção 3 Descarbonização Industrial Ferro e Aço Biomassa Agroindustrial.....740

5.3. Biomassa Agricultura e do Beneficiamento Agroindustrial

5.3.1. Culturas da Agricultura para Geração de Energia Produção Ferro e Aço

5.3.1.1. Algodão Herbáceo Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.2. Amendoim Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.3. Arroz Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.4. Café Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.5. Feijão Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.6. Milho Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.7. Soja Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.1.8. Trigo Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.2. Biomassa Cana-de-Açúcar Combustível Energético ao Setor Siderúrgico

5.3.2.1. Cana-de-açúcar Produção e Disponibilidade e Resíduos

5.3.3. Substituição Coque por Biomassa Agricultura no Setor Siderúrgico

Seção 4 Descarbonização Industrial Ferro e Aço Biocarvão=Biocarbono.....770

5.4 Introdução

5.4.1. Ferro e Aço - Processos Altamente Intensivos em Carbono

5.4.2. Carvão Energético e Redutor Produção Siderúrgica

5.4.3. Técnicas de Produção Ferro e Aço

5.4.4. Biocombustíveis Biocarvão Bio-óleo Gás de Síntese

5.4.5. Processos Termoquímicos Produção de Biocarvão

5.4.5.1. Torrefação

5.4.5.2. Pirólise Lenta

5.4.5.3. Gaseificação

5.4.5.4. Carbonização Hidrotérmica	
5.4.6. Conversão Biomassa Produção de Biocarvão	
5.4.7. Aspectos Gerais de Produção Biocarvão	
5.4.8. Tecnologia Biogreen	
5.4.8.1. Propriedades e Características de Fluxo da Matéria-prima	
5.4.8.2. Sistema Industrial - Secagem - Pirólise - Refrigeração - Transporte	
5.4.8.3. Tecnologia de Pirólise em Contêineres	
5.4.9. Produção de Biocombustíveis e Combustíveis Sólidos	
5.4.10. Produção de Bio-óleo de Alta qualidade	
5.4.11. Gases Sintéticos Renováveis	
5.4.12. Aplicações do Biocarvão em Processos de Fabricação de Aço	
5.4.12.1. Altos-fornos	
5.4.12.2. Fabricação de Coque	
5.4.12.3. Biocoque Renovável	
5.4.12.4. Sinterização e Biocarvão	
Seção 5 Descarbonização Industrial Ferro e Aço Hidrogênio Verde.....	800
5.5. Hidrogênio	
5.5.1. Hidrogênio Verde para Descarbonização da Produção de Ferro e Aço	
5.5.2. Rotas de Produção do Hidrogênio	
5.5.3. Transporte e Armazenamento	
5.5.4. Tecnologia Hybrit	
5.5.5. Tecnologia H2GS.	
5.5.6. Tecnologia SALCOS	
5.5.7. Energia do Hidrogênio	
5.5.8. Mercado Nacional de Hidrogênio	
5.5.9. Oportunidades Globais Produção de Aço Verde à base de H 2	
5.5.10. Diretrizes Gerais do Hidrogênio na Siderurgia	
5.5.11. Mudança na Estrutura Energética da Produção de Aço	

- 5.5.12. Transição Gradual de Carbono para Hidrogênio Como Agente Redutor
- 5.5.13. Siderurgia de Baixo Carbono – Bioeletricidade Hidrogênio
- 5.5.14. Vantagens Siderúrgicas Sinérgicas do Eletro-hidrogênio
- 5.5.15. Diretrizes Gerais do Hidrogênio na Siderurgia
- 5.5.16. Hidrogênio como Agente Complementar
- 5.5.17. Uso final e a Transversalidade do Hidrogênio
- 5.5.18. E-fuels e Derivados do Hidrogênio

Bibliografia Recomendada.....850

Brasil Biomassa Consultoria Engenharia Tecnologia.....870

Estudo Setorial Descarbonização das Indústrias Siderúrgica – Biomassa Biocarvão
Hidrogênio Verde – Captura de Carbono
Catalogação na Fonte Brasil.

Brasil Biomassa e Energia Renovável. Curitiba. Paraná. 2025

Conteúdo: 1. Análise do Setor Industrial de Produção de Ferro e Aço no Brasil 2. Emissões de CO₂ das Indústrias Siderúrgicas 3. Caminho e Cenários da Descarbonização e Projeções para Reduções de CO₂. 4. Consumo Energético Produção Ferro e Aço e Alternativas Energéticas para Descarboização 5. Tecnologias para Redução das Emissões de Carbono 6. Tecnologia e Projeções de Produção de Biomassa Sustentável Florestal e da Madeira 7. Tecnologia e Projeções de Produção de Hidrogênio Verde 8. Tecnologia e Projeções de Produção de Captura e Armazenamento de Carbono 9. Recuperação de Calor com Tecnologias Avançadas 10. Descarbonização do Setor Siderúrgico nos Estados Unidos, União Europeia, China e Brasil. 11. Fundamentos da Descarbonização Industrial e Transição para o Aço Verde: Projetos de Redução

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

© 2025 ABIB Brasil Biomassa e Energia Renovável

Edição 2025 Total 1.000 páginas.

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

PREFÁCIO



Em nome da Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável e dos numerosos colaboradores no desenvolvimento do Estudo Setorial Descarbonização das Indústrias Siderúrgica – Biomassa Biocarvão Hidrogênio Verde – Captura de Carbono, tenho o prazer de apresentar o primeiro estudo setorial da série Descarbonização Industrial (Alumínio, Amônia/Fertilizantes, Avicultura, Cerâmica, Cervejaria, Cimentos, Cooperativas Agrícolas, Farmacêutica, Frigoríficos, Laticínios, Papel e Celulose, Processamento Milho e Soja, Química e Vidro) desenvolvido pela Brasil Biomassa sobre o potencial para um futuro de baixo carbono nos setores industriais mais intensivos em calor no Brasil.

As alterações climáticas apresentam-se como um dos maiores desafios para a humanidade neste século. Vivemos numa época onde somos sobrecarregados com informações sobre o impacto dos combustíveis fósseis no nosso planeta, que podem ter consequências negativas sobre a atividade humana, ao nível social, econômico e ambiental.

O aço é um material de suma importância para a civilização humana e isto é fato já consolidado, conhecido de todos. No entanto, mais recente é a preocupação e necessidade de descarbonização da indústria siderúrgica em alinhamento às metas globais de redução de gases do efeito estufa.



A metalurgia de ferro produz grandes quantias desses gases, como o dióxido de carbono, CO_2 . O metano, CH_4 , outro tipo de GEE, é parte dos recursos energéticos secundários e é queimado a CO_2 nas unidades metalúrgicas. Pode-se reduzir o conceito mais amplo de pegada de carbono na indústria de ferro a uma emissão integrada de CO_2 , que é a soma das emissões de CO_2 , aparecendo conseqüentemente em todos os processos da cadeia tecnológica, começando com a extração de matéria prima e terminando com o produto final.

Quanto ao consumo de energia, o setor de aço é o segundo maior consumidor industrial de energia. O combustível mais usado no setor siderúrgico no mundo é o carvão, representando 74% do uso de energia do setor.

Além do carvão, coque, eletricidade e gás natural respondem por quase toda a demanda energética restante do setor. Notavelmente, 16% da demanda global por carvão é representada pelo carvão coque, um insumo na produção de aço

Deste modo, esta temática da descarbonização revela-se importante para a atividade industrial do setor siderúrgico, cuja intervenção pode aumentar ou reduzir o seu impacto. Para abordar esta temática constitui-se necessário analisar as alterações climáticas, no sentido de compreender as causas que levam ao aquecimento global e averiguar de que modo se constitui possível uma redução significativa das emissões de gases de efeito de estufa, impondo-se a descarbonização empresarial em vários setores da economia, em particular no setor de produção de ferro e aço.



A descarbonização deve promover uma mudança na mentalidade e comportamento das pessoas assim como na atuação das empresas. Neste contexto, a descarbonização industrial ganha assim importância estratégica, nomeadamente em sustentabilidade e responsabilidade social para fazer face às alterações climáticas.

A sustentabilidade é tida como fator chave para a vantagem competitiva das organizações e considerada não apenas desejável, mas imperativa, num tempo marcado pelas alterações climáticas e aplicação das políticas ambientais.

Este estudo setorial avalia todas as alternativas técnicas para a descarbonização industrial do setor siderúrgico, para as reduções de emissões de CO₂ na produção de ferro e aço, da mudança de fonte de energia para bioeletricidade com uso da biomassa e principalmente das novas inovadoras tecnologias de biocarvão (bio-óleo e gás sintético), hidrogênio verde e captura e armazenamento de carbono para o setor industrial de produção de ferro e aço.

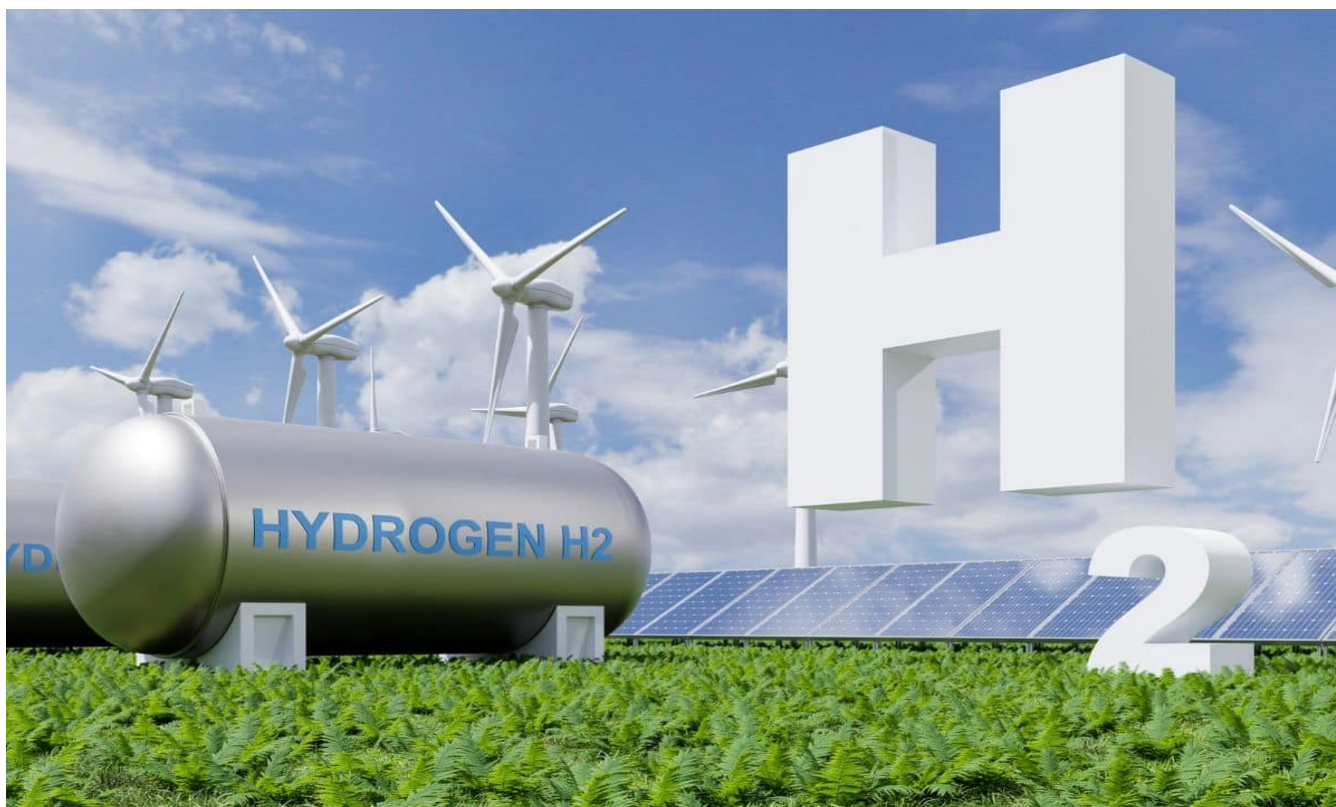
Este Estudo setorial investiga como a indústria siderúrgica poderá descarbonizar o processo produtivo e industrial, reduzindo as emissões de CO₂, aumentando a eficiência energética, permanecendo competitiva no mercado.

As mudanças na economia internacional e a necessidade de descarbonizar significam que as empresas do setor siderúrgico no Brasil, venham em enfrentar os desafios crescentes, bem como encontrar novas oportunidades. O Brasil está comprometido em mudar para uma economia de baixo carbono, incluindo os setores mais intensivos em energia. Esses setores consomem uma quantidade considerável de energia, mas também desempenham um papel essencial na entrega da transição para uma economia de baixo carbono, bem como na contribuição para o crescimento e no reequilíbrio da economia.

O Estudo setorial visa:

- Melhorar a compreensão do potencial de redução de emissões de setores industriais de produção de ferro e aço, os custos e desafios relativos de opções alternativas de geração e de redução do consumo de energia.
- Estabelecer uma base de evidências das novas tecnologias para descarbonização industrial do setor siderúrgico e para identificar conclusões estratégicas e próximos passos potenciais para ajudar a entregar uma descarbonização econômica no médio a longo prazo (durante o período de 2030 a 2050)

A indústria do aço precisa reduzir suas emissões em 50% até 2050 para atingir as ambições do Acordo de Paris e estar alinhada com as metas de emissões zero para 2070. Este desafio ainda é agravado pelo aumento da demanda de aço vinculado ao crescimento populacional e da economia. Com respeito às emissões futuras do setor global de aço, é esperado que elas aumentem, atingindo 2,7Gt CO₂ por ano em 2050 (7% mais emissões que em 2019) se nenhuma medida for tomada a fim de melhorar o processo produtivo.



Portanto, cada tópico do estudo visa apresentar evidências, análises e conclusões existentes no mercado nacional e internacional para que o setor possa tomar medidas subsequentes com relação a questões como redução e eficiência energética, alternativas de reduções de GEE, descarbonização e tecnologias de biocarvão, hidrogênio e de captura e armazenamento de carbono.

Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa e Energia Renovável

