

Avaliar e quantificar as reduções de emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) das propostas apoiadas pelo PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD) através do Projeto Siderurgia Sustentável

PRODUTO I

Avaliação dos processos tecnológicos das empresas e Levantamento preliminar das atividades de redução indireta de emissões

Projeto Siderurgia Sustentável
Julho 2021



CLIENTE**ENTREGÁVEL**

Produto I – Avaliação dos processos tecnológicos das empresas e levantamento preliminar das atividades de redução indireta de emissões

AUTORES

WAYCARBON

Henrique Pereira; henrique.pereira@waycarbon.com

Bruna Dias; bruna.dias@waycarbon.com

Raphael Miranda; raphael.miranda@waycarbon.com

Luana Ribeiro; luana.ribeiro@waycarbon.com

Gilberto Caldeira; gilbame@gmail.com

HISTÓRICO DO DOCUMENTO

Nome do documento	Data	Natureza da revisão
PNUDE21A_210714_Produto 1_v1	14/07/2021	Primeira versão.
PNUDE21A_210714_Produto 1_v2	27/07/2021	Correções para adequação a norma ABNT

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVOS.....	6
3. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	7
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS ROTAS TECNOLÓGICAS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL.....	7
3.1.1 FORNOS DE ALVENARIA.....	9
3.1.2 RETORTA DE CARBONIZAÇÃO CONTÍNUA.....	13
3.1.3 TECNOLOGIA DE FORNOS CONTAINER RIMA (FCR).....	14
3.1.4 FORNOS BRICARBRAS.....	15
3.1.5 TECNOLOGIA DRYING, PYROLISIS, COOLING (DPC)	15
3.1.6 TECNOLOGIA DE CARBONIZAÇÃO CONTÍNUA CARBOVAL	16
3.2 ANÁLISE DOS PROCESSOS TECNOLÓGICOS DAS EMPRESAS CONTEMPLADAS NO ESTUDO	18
3.2.1 ARCELORMITTAL	18
3.2.2 PLANTAR FLORESTAL.....	19
3.2.3 RIMA.....	19
3.2.4 VALLOUREC	20
3.2.5 RESUMO DAS REDUÇÕES DAS EMISSÕES DIRETAS ALCANÇADAS PELOS PROJETOS IMPLANTADOS NO ÂMBITO DO EDITAL JOF 0191/2017	21
4. LEVANTAMENTO PRELIMINAR DAS ATIVIDADES QUE SERÃO AVALIADAS.....	23
4.1 ETAPAS PARA A QUANTIFICAÇÃO DA EMISSÃO E REMOÇÃO DE GEE.....	23
4.2 DEFINIÇÃO DAS FRONTEIRAS	24
4.2.1 GASES DE EFEITO ESTUFA.....	24
4.3 MAPEAMENTO DAS FONTES DE EMISSÕES INDIRETAS DO PROCESSO DE CARBONIZAÇÃO	25
4.3.1 FONTES E SUMIDOUROS DE EMISSÕES NÃO CONSIDERADOS NESSE ESTUDO	26
4.4 METODOLOGIAS.....	26
5. PRÓXIMAS ETAPAS.....	28
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fornos cilíndricos de alvenaria do tipo “rabo quente”	10
Figura 2: Forno de encosta.	10
Figura 3: Forno de superfície.....	11
Figura 4: Forno retangular de alvenaria modelo RAC700.....	12
Figura 5: Sistema forno-fornalha.	13
Figura 6: Retorta Contínua.....	14
Figura 7: Forno FCR.....	15
Figura 8: Forno Bricarbras.	15
Figura 9: Tecnologia DPC.	16
Figura 10: Reator de carbonização contínua Carboval.....	17
Figura 11: Fluxograma de etapas metodológicas para a realização da quantificação das emissões indiretas	23
Figura 12: Fronteiras do Estudo	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das reduções das Emissões Diretas alcançadas	21
Tabela 2: GWP dos Gases de Efeito Estufa	25
Tabela 3: Fontes de emissão de acordo com etapa, categoria e dado controlado	26
Tabela 4: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 01.....	28
Tabela 5: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 02.....	29
Tabela 6: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 03.....	30
Tabela 7: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 04.....	31

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

AFOLU – *Agriculture, Forestry and Other Land Use*

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

GEE – Gases de Efeito Estufa

GLP – Gás liquefeito de petróleo

GPC – *Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

GWP - *Global Warming Potential*

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

WRI – World Resources Institute

1. INTRODUÇÃO

A WayCarbon, foi contratada pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) através do Termo de Referência da licitação JOF-0191/2017 para prestação de serviços técnicos especializados para coordenação e execução das atividades referentes à “Quantificação das emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) das propostas apoiadas pelo Projeto Siderurgia Sustentável”.

Nesse estudo foram contemplados os projetos realizados pelas empresas; ArcelorMittal, Plantar Florestal, Rima e Vallourec.

Este relatório corresponde ao Produto 1 - Avaliação dos Processos Tecnológicos das Empresas e Levantamento Preliminar das Atividades de redução indireta de emissões. A estrutura desse produto e os capítulos em que cada um desses itens pode ser encontrado ao longo desse relatório estão listados abaixo:

- **Capítulo 1 – Introdução:** Apresenta o conteúdo e a estrutura do presente relatório;
- **Capítulo 2 – Objetivos:** Exposição clara e sucinta do objetivo geral e objetivos específicos do produto;
- **Capítulo 3 – Contextualização:** Apresenta uma descrição das principais rotas tecnológicas disponíveis para a produção de Carvão Vegetal e uma análise dos processos tecnológicos adotados pelas empresas contempladas no estudo;
- **Capítulo 4 - Metodologias:** Detalhamento de todas as emissões indiretas das propostas apoiadas pelo Projeto Siderurgia Sustentável, descrição de todas as informações que serão necessárias para a quantificação das emissões, exposição da metodologia para quantificação das emissões e premissas adotadas;
- **Capítulo 5 – Próximas etapas:** apresenta uma descrição concisa dos objetivos e atividades a serem desenvolvidas durante o projeto;
- **Capítulo 6 - Referências Bibliográfica:** Fontes de onde foram retiradas as informações desse trabalho.

2. OBJETIVOS

Avaliar as reduções de emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) das propostas apoiadas pelo Projeto Siderurgia Sustentável no âmbito do mecanismo de apoio com pagamento por desempenho. Além de ser uma oportunidade para fortalecer novos investimentos na produção sustentável de carvão vegetal, o desenvolvimento deste estudo visa ampliar a análise de quantificação das emissões, possibilitando uma visão mais ampla da cadeia de produção siderúrgica e tornando-a mais competitiva.

3. CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 Caracterização das principais rotas tecnológicas de produção de carvão vegetal

A América latina é um importante produtor de carvão vegetal. O continente está em segundo lugar, depois apenas da África, em uso total e per capita de carvão vegetal, sendo o Brasil o maior produtor mundial de carvão, responsável por 12% da produção global de 2015 (6,2 Mt). Diferentemente da África, por exemplo - onde o carvão vegetal é utilizado principalmente para consumo doméstico - na América Latina, o uso de carvão vegetal se dá principalmente pelo consumo industrial. No Brasil, mais de 90% do carvão vegetal é usado no setor industrial, com destaque para as indústrias metalúrgicas e de siderurgia (FAO, 2017).

Um importante uso do carvão vegetal se dá na rota siderúrgica integrada, como uma alternativa mais sustentável à utilização de carvão mineral. A produção de aço utiliza como insumos principais minério de ferro, carvão (mineral ou vegetal), sucata e energia elétrica, dependendo da rota tecnológica adotada. As usinas de rota integrada transformam o minério de ferro em aço e, posteriormente, o aço em laminado. Já a rota à redução direta utiliza o minério de ferro diretamente no forno elétrico. As usinas semi-integradas, por sua vez, possuem o início do processo na aciaria, utilizando sucata ferrosa e energia elétrica como insumos básicos (CARVALHO, 2012). Em 2010, cerca de 70% da produção mundial de aço foi produzida pela rota integrada e cerca de 29% pela rota da mini-mill (HEMBROM, ROY AND ROY, 2016), assim como no Brasil, que no mesmo ano obteve 78,4% de sua produção total de aço bruto por meio da rota integrada e 21,6% pela rota semi-integrada (CARVALHO, 2012).

Na rota integrada, o coque é utilizado nos Altos Fornos como redutor principal da carga metálica (minério de ferro, pelotas, sínter e outros) gerando como produto o ferro-gusa, escória e o gás de alto forno. A escória tem inúmeras finalidades, dentre elas, a utilização para pavimentação de vias e fabricação de cimento, e o gás é destinado à central termelétrica para geração de energia elétrica ou é reutilizado no processo para geração de calor.

De acordo com Vale e Gentil (2008) apud Oliveira (2012), a carbonização tem por objetivo a eliminação, por meio da ação do calor, da maior parte do oxigênio e do hidrogênio presente na madeira, restando um produto com elevada concentração de carbono, denominado por carvão vegetal. Trata-se de um processo de decomposição térmica físico-química irreversível que ocorre em um ambiente fechado (forno) com baixa concentração ou exclusão total de oxigênio. O processo se inicia com a secagem da biomassa, seguida da fase de pirólise, e resulta na geração de gases condensáveis e não condensáveis, além do carvão vegetal (PINHEIRO *et al.*, 2006 apud SANTOS, 2017).

A biomassa se decompõe durante a pirólise para gerar gases, vapores, aerossóis e carvão. Os processos de carbonização geralmente usados no Brasil visam apenas a produção de carvão vegetal, os demais produtos não são aproveitados. Em alguns tipos de reatores, ainda pouco usados no Brasil, pode-se fazer

a queima dos gases e vapores gerados no processo, com ou sem aproveitamento da energia térmica gerada, para controle de emissões atmosféricas de GEE e poluentes. Outra opção, ainda menos comum no Brasil, é a bio-refinaria, que promove o resfriamento e condensação dos vapores e aerossóis, formando-se um líquido constituído por duas fases, sendo uma das fases de base orgânica (bio-óleo) e a outra de base aquosa (ácido pirolenhoso). As proporções de carvão vegetal, bio-óleo e gás produzidos dependem do processo de pirólise adotado, das espécies de madeira, teor de umidade e tamanho da lenha.

As etapas do processo de carbonização podem ser classificadas de acordo com a faixa de temperatura a qual a madeira é submetida. Em temperaturas entre 100°C e 200°C, ocorre a secagem da madeira através de processo endotérmico. Entre 200°C e 280°C, ainda em reação endotérmica, isto é, que absorve calor, ocorre a liberação de ácido acético, metanol, H₂O e CO₂, entre outros. Na faixa de 280°C a 500°C, a reação passa a ser exotérmica (libera calor) e ocorre liberação de gases como CO₂, CH₄ e alcatrões. Acima de 500°C ocorre liberação de pequenas quantidades de gases voláteis, especialmente o H₂ (TRUGILHO *et al.*, 2001 apud OLIVEIRA, 2012).

De acordo com Oliveira (2012), o rendimento gravimétrico é a relação entre a massa de carvão vegetal produzida e a massa de madeira utilizada. Esse rendimento é influenciado pelas características da madeira utilizada como matéria-prima, tipo de tecnologia empregada (tipos de fornos) e pelo nível de controle operacional disponível (controle da temperatura, controle da vazão de alimentação de ar, taxa de aquecimento, tempo de exposição da madeira ao calor e outros parâmetros).

O teor de GEE e o volume de gás gerado no processo, variam de acordo com a rota tecnológica de carbonização escolhida (BAILIS, 2009 apud SANTOS, 2017) e ainda é uma prática comum o lançamento dos gases da pirólise da madeira na atmosfera (BAILIS *et al.*, 2013 apud SANTOS, 2017). O metano é o principal GEE formado na carbonização. O CO₂ também é formado em grandes intensidades, mas quando a madeira é de origem renovável, as emissões de CO₂ podem ser consideradas climaticamente neutras, por terem sido advindas de um processo de fotossíntese. Outras emissões atmosféricas importantes da carbonização são o monóxido de carbono (CO), os compostos orgânicos voláteis (aldeídos, cetonas, fenóis e outros), que contribuem para degradação da qualidade do ar local e regional (precursores importantes do ozônio troposférico), mas que não são enquadrados como GEE.

Medidas simples na produção de carvão vegetal podem gerar grandes reduções de emissões de GEE e outros gases/vapores. A formação do metano, que é o único GEE da carbonização, é diretamente correlacionada com o rendimento gravimétrico do processo: quanto maior o percentual de conversão da madeira em carvão vegetal, menor é a formação de gases e vapores, e, portanto, menor será a formação do metano. As metodologias de cálculo de emissões em processos de carbonização no UNFCCC CDM são baseadas no rendimento gravimétrico. Com base em dados da literatura e modelagem, verifica-se

que a adoção de mudança de fornos tradicionais para fornos modernos mais eficientes poderia reduzir as emissões de GEE. Ainda, a melhoria de tecnologia, combinando a produção de carvão à queima de gases para cogeração de calor ou eletricidade, ou a condensação de vapores com aproveitamento dos produtos líquidos condensáveis, poderia contribuir ainda mais na redução das emissões (FAO, 2017).

Apesar de ainda serem tecnologias emergentes, grandes empresas brasileiras com processos dependentes do carvão vegetal têm investido em pesquisa e desenvolvimento na busca por tecnologias que sejam capazes de obter maior rendimento da madeira, maior homogeneidade do carvão, menor tempo no processo de produção e ganho de escala, além do aproveitamento dos gases da pirólise para cogeração de energia elétrica (VILELA *et al.*, 2014 apud SANTOS, 2017).

As principais tecnologias utilizadas no Brasil para a produção de carvão vegetal são apresentadas a seguir:

3.1.1 Fornos de Alvenaria

A produção brasileira de carvão vegetal ocorre em sua maioria com a utilização de fornos de alvenaria (OLIVEIRA, 2012). Os pequenos e médios produtores, responsáveis por cerca de 80% da produção de carvão vegetal no país, utilizam principalmente fornos de alvenaria dos tipos; “rabo quente”, superfície e encosta.

Forno “rabo quente”

O modelo “rabo quente” é o mais simples entre os fornos de alvenaria e o mais difundido dentre os pequenos produtores, pois é um modelo de baixo custo e fácil manuseio. O controle da carbonização é realizado de forma subjetiva, baseando-se principalmente na coloração dos gases liberados no processo, o que dificulta o controle de temperatura interna do forno e, conseqüentemente, a qualidade do carvão produzido (OLIVEIRA, 2021).

Os fornos circulares de alvenaria possuem capacidades de processamento de madeira que variam de 7 m³ (fornos tipo rabo quente) a 70 m³ (fornos cilíndricos de sete metros de diâmetro) de volume sólido, ou de 4 a 40 toneladas de madeira base seca. Este tipo de tecnologia possui ciclo total de carbonização variando entre sete e doze dias (fornos tipo rabo quente e circular, respectivamente), rendimento gravimétrico entre 24% e 29%, capacidade individual de produção que varia de 50 toneladas (rabo quente) a 350 toneladas (cilíndrico) de carvão vegetal por ano (CGEE, 2015).

Esses fornos não possuem em sua concepção um sistema auxiliar para combustão dos gases gerados no processo. Por isso, o GEE metano é gerado sem controle e emitido na atmosfera.



Figura 1: Fornos cilíndricos de alvenaria do tipo “rabo quente”.

Fonte: CGEE, 2015.

Forno de encosta

Diferentemente do forno “rabo quente”, o forno de encosta é utilizado em regiões de topografia acidentada, pois ele aproveita o desnível do terreno, apoiando a cúpula sobre a borda do terreno, que assume a função de parede do forno. As entradas de ar são posicionadas na cúpula (MENDES *et al.*, 1982 apud OLIVEIRA, 2012).

Esse modelo de forno possui rendimento gravimétrico de 32% e ciclo de carbonização de cinco a nove dias (BAR FILHO, 2008 apud OLIVEIRA 2012). A elevação do rendimento desse modelo de forno comparado a outros fornos de alvenaria, se justifica pelo contato direto de parte do forno com o solo, o que resulta em menores perdas térmicas para o ambiente. Por outro lado, o resfriamento ocorre mais lentamente, o que aumenta o ciclo de produção.

Esses fornos, não possuem em sua concepção um sistema auxiliar para combustão dos gases gerados no processo. Por isso, o GEE metano é gerado e emitido sem controle.

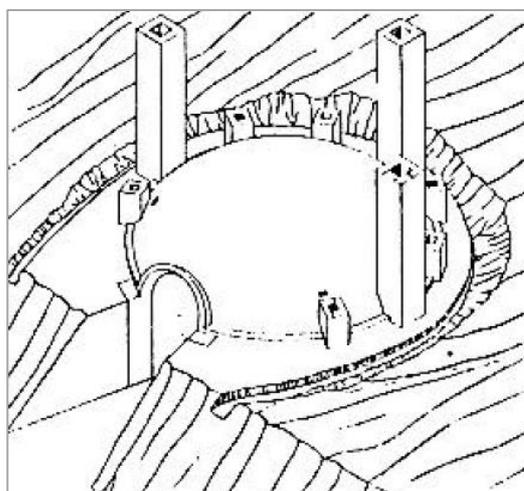


Figura 2: Forno de encosta.

Fonte: Centro Tecnológico de Minas Gerais, 2015 apud Brito, 1990.

Forno de superfície

A estrutura do forno de superfície se assemelha ao forno “rabo quente” com a diferença que há a presença de uma chaminé lateral para a retirada dos gases gerados durante a carbonização da biomassa. As entradas de ar encontram-se na parede e na cúpula do forno. Este modelo apresenta melhores condições para a propagação da carbonização, que acaba ocorrendo com mais homogeneidade e maior controle do operador. Desta forma, apresenta também melhor rendimento gravimétrico, comparado a outros modelos de fornos de alvenaria, entre 28% e 34% (OLIVEIRA, 2015).

Há também a versão do forno de superfície com câmara de combustão externa, que tem por objetivo realizar a queima de uma certa quantidade de material para a secagem da madeira e acendimento do forno. Com esse processo, a carbonização pode ser controlada pela quantidade de ar que entra pela câmara de combustão. Assim, não ocorre a queima no interior do forno e há um melhor aproveitamento do espaço interno, melhorando o rendimento gravimétrico (OLIVEIRA, 2015).

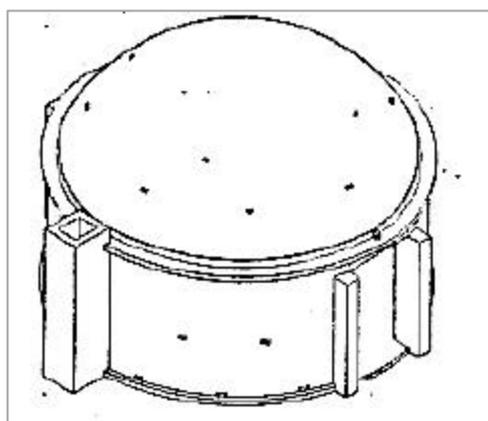


Figura 3: Forno de superfície.

Fonte: Centro Tecnológico de Minas Gerais, 2015 apud Brito, 1990.

Forno retangular

A partir de 1980, grandes empresas do setor siderúrgico iniciaram a construção de grandes fornos retangulares de alvenaria com o objetivo de mecanizar as operações de carregamento da lenha e retirada do carvão dos fornos, utilizando pás carregadeiras. Estas modificações objetivaram o aumento de produtividade e a melhoria das condições de trabalho dos operadores. Os fornos retangulares possuem capacidade de processamento de madeira que variam de 150 m³ para fornos FR190 (fornos retangulares de 13 metros de comprimento e 4 metros de largura) a 450 m³ de volume sólido para fornos RAC700

(fornos retangulares de 26 metros de comprimento e 8 metros de largura), correspondentes a 80 a 250 toneladas de madeira (base seca), respectivamente.

Embora existam tecnologias que melhorem a qualidade do carvão produzido por esse tipo de forno, devido ao seu tamanho, esse tipo de forno possui uma cinética de carbonização bastante irregular em seu interior, produzindo um carvão com qualidade química e física muito variável (SAMPAIO *et al.*, 2016).

Os fornos de FR190 possuem ciclo total de produção médio de 13 dias, o rendimento gravimétrico variando entre 32% e 35% e capacidades de produção média de 750 toneladas de carvão vegetal por ano. Já os fornos RAC700, possuem ciclo total de produção médio de 18 dias, o rendimento gravimétrico variando entre 32% e 35% e capacidades de produção média de 2.000 toneladas de carvão vegetal por ano, quando equipados com tecnologias para controle de temperaturas, vazão de ar e *softwares* de gerenciamento do processo de carbonização (CGEE, 2015).



Figura 4: Forno retangular de alvenaria modelo RAC700.

Fonte: Aperam Bioenergia, 2016

Forno Fornalha (MF1-UFV)

O forno MF1-UFV, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa em parceria com a empresa ArcelorMittal Bioenergia, é um forno retangular acoplado a uma fornalha para combustão dos gases gerados no processo de carbonização. A entrada de ar ocorre por quatro aberturas de cada lado do forno e o controle da carbonização é realizado por termopares instalados na cúpula do forno. Possui rendimento gravimétrico médio de 29%, ciclo de carbonização médio de 5 dias e teores de atijo e finos de carvão menores que 4% (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Magalhães (2007) apud Oliveira (2015), as fornalhas são projetadas visando a maior eficiência da combustão e possibilidade de aproveitamento da energia térmica liberada durante o processo de combustão. Os queimadores incineram os gases gerados no processo de carbonização, transformando a poluição em energia na forma de calor. Assim, na carbonização da madeira são gerados gases não condensáveis como CO, CO₂, H₂ e CH₄ e, com a queima completa desses gases, as emissões seriam constituídas apenas por CO₂ e vapor d'água (OLIVEIRA, 2015). As emissões de GEE são reduzidas consideravelmente, uma vez que o potencial de aquecimento global do CH₄, por exemplo, corresponde a 25 vezes a emissão do CO₂. O processo reduz a emissão de metano (CH₄) em 94% e as emissões de monóxido de carbono (CO) em 97%.

No caso da obtenção de carvão vegetal a partir da utilização de madeira renovável, a emissão de CO₂ é considerada biogênica, isto é, neutra em relação aos impactos climáticos, pois o CO₂ é gerado por meio de um ciclo biológico (absorvido anteriormente pela fotossíntese), diferentemente do que ocorre na queima de um combustível fóssil, por exemplo.

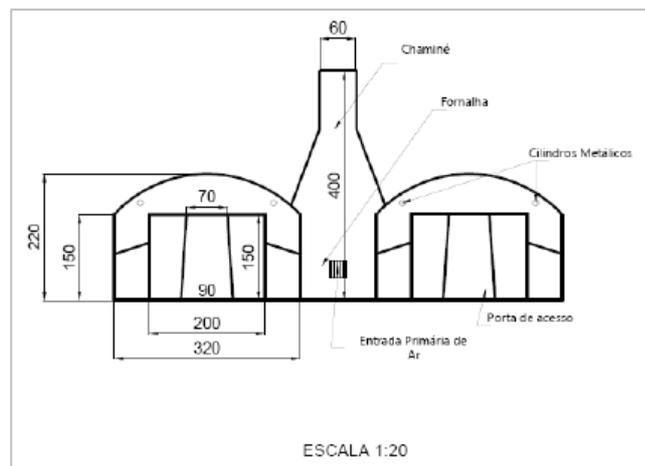


Figura 5: Sistema forno-fornalha.

Fonte: Oliveira, 2012.

3.1.2 Retorta de Carbonização Contínua

Os sistemas de recirculação de gases ou aquecimento indireto, chamados de retorta, são fornos que utilizam uma fonte externa de calor para aquecer a biomassa contida em uma câmara fechada. Podem ser de funcionamento contínuo ou em batelada (ASSIS, 2007).

Neste caso, trata-se de forno com funcionamento contínuo e consiste em um forno cilíndrico metálico disposto verticalmente, equipado com sistema de queima de gases. A madeira é cortada em peças de 20 a 40 cm de comprimento e o abastecimento se dá pelo topo do forno, descendo por gravidade até a base, em contracorrente com os gases queimados da própria pirólise. Ocorre então, no queimador, a combustão parcial da fumaça produzida continuamente durante o processo de pirólise. Esses gases

aquecidos e sem oxigênio, são realimentados no reator, o que permite alcançar altos rendimentos gravimétricos (CGEE, 2015).

As retortas contínuas podem ser consideradas como sendo o mais eficiente sistema de carbonização de madeira em operação no mundo, com rendimentos que podem chegar a 38% para um carbono de 75% (RAAD, 2004 apud CGEE, 2015). Atualmente, no Brasil, a ArcelorMittal e a Vallourec Florestal investiram na retorta contínua, porém algumas barreiras como investimento inicial e custo-benefício para viabilidade do investimento acabam impedindo que essa tecnologia seja adotada em larga escala no país (CGEE, 2015).



Figura 6: Retorta Contínua.

Fonte: Daniel Barcellos, 2020.

3.1.3 Tecnologia de Fornos Container Rima (FCR)

São fornos cilíndricos metálicos, desenvolvidos pela empresa Rima Industrial S/A (MG), com início em 2001, possuindo capacidade de processamento de 5 m³ por fornada, velocidade de conversão de apenas 5 kg/h e rendimento gravimétrico variando entre 25 e 28%. Com o passar dos anos e de estudos de otimização e melhoria, a versão mais atual (5ª versão) possui capacidade industrial de 52 m³, velocidade de conversão de 700 kg/h e rendimento gravimétrico superior a 35%.

O forno FCR é alimentado com cavacos de madeira. Utiliza-se pás carregadeiras para abastecimento do silo e a carbonização ocorre por exaustão forçada. A energia necessária para o processo é obtida da queima das fumaças no interior do forno. Como o processo ocorre com elevada taxa de aquecimento, a formação de gases é facilitada, com isso, a combustão ocorre mais facilmente que em comparação com a madeira sólida (CGEE, 2015).



Figura 7: Forno FCR.

Fonte: CGEE, 2015.

3.1.4 Fornos Bricarbras

Este modelo de forno foi desenvolvido pela empresa Bricarbras e trata-se de fornos de cilindros metálicos que se movem pela unidade de produção via pontes rolantes. O sistema utiliza para pré-secagem a queima de fumaças provenientes da carbonização em fornalhas de alvenaria. O carregamento da madeira é manual e a descarga do carvão é mecanizada. Os fornos são equipados com controle de temperatura e o rendimento gravimétrico médio é de 33%. Este tipo de tecnologia possui, porém, algumas barreiras como alto custo de investimento, carga ainda manual da madeira e valor do custo operacional superior a valores obtidos para os fornos retangulares. Precisaria comercializar subprodutos como alcatrão e pirolenhoso para se tornar competitivo economicamente (CGEE, 2015).



Figura 8: Forno Bricarbras.

Fonte: CGEE, 2015.

3.1.5 Tecnologia Drying, Pyrolysis, Cooling (DPC)

Tecnologia desenvolvida pela empresa *DPC Thermal Processing*. O processo DPC consiste em fornos retangulares metálicos equipados com uma ou duas caçambas em estrutura de chapa de aço carbono (capacidade em torno de 24 m³ de madeira por caçamba), que recebem gases obtidos da queima das

fumaças da carbonização da madeira através de um queimador projetado para este tipo de forno. Para a produção do carvão vegetal ocorre primeiramente a torrefação da madeira, na qual a umidade é reduzida a menos de 10%. Em seguida, ocorre o processo de pirólise e ao final, o resfriamento total do carvão. Os gases resultantes da pirólise são utilizados como fonte de energia, o que aumenta os índices de rendimento gravimétrico e produz um carvão de qualidade química bem mais homogênea que os processos em fornos de alvenaria e combustão parcial interna. Este tipo de tecnologia também apresenta algumas barreiras para implantação, sendo a principal delas a falta de uma planta operando em larga escala ou mesmo em uma escala mínima que possa oferecer um custo-benefício competitivo com o mercado de produção de carvão (CGEE, 2015).

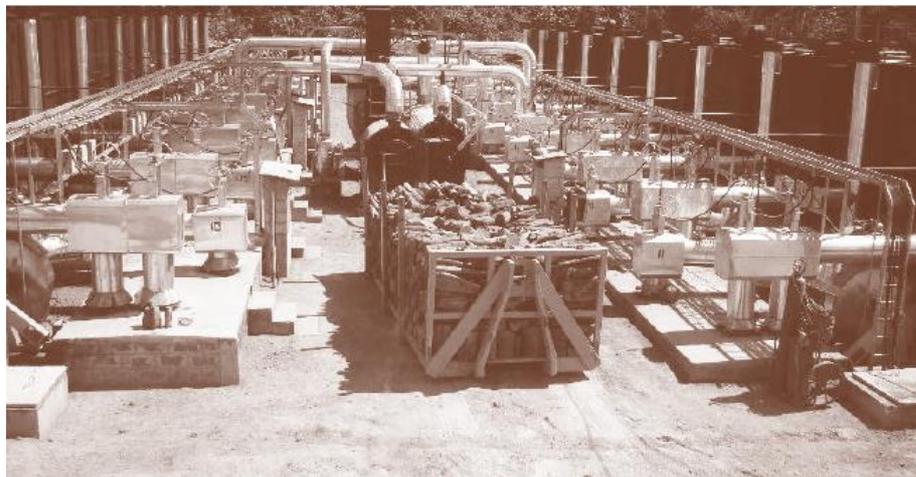


Figura 9: Tecnologia DPC.

Fonte: CGEE, 2015. .

3.1.6 Tecnologia de Carbonização Contínua Carboval

Utilizando como referência o processo Lambiotte, a empresa Vallourec desenvolveu o processo de carbonização contínua denominado Tecnologia de Carbonização Contínua Carboval. Segundo Sampaio *et al.* (2016), para a produção de carvão vegetal por este método, utiliza-se a madeira em toretes de 20 cm de comprimento, que são levadas diretamente para o pátio pavimentado da planta industrial, onde acontecem, em sequência: a secagem dos toletes até o atingimento de níveis de umidade de aproximadamente 30% em base seca (essa secagem dura em média 30 dias e é realizada de maneira artificial, utilizando o calor sensível dos gases gerados no processo de carbonização). A carbonização e o resfriamento primário ocorrem no mesmo forno, já o resfriamento secundário ocorre em silos externos que possuem dupla função; passivação do carvão vegetal e armazenamento para posterior carregamento por gravidade nos caminhões que o levarão para a siderurgia.

No reator Carboval, o processo é automatizado, permitindo o controle da temperatura e vazão dos gases recirculados, tempo de carbonização etc. Tornando possível o ajuste do processo de forma a obter-se rendimento gravimétrico e parâmetros de qualidade desejados para o carvão vegetal siderúrgico. O carvão produzido por este modelo de forno possui grande homogeneidade das qualidades físicas e químicas, uma vez que todas as peças de madeira são submetidas às mesmas condições de tempo e temperatura dentro do forno. Outros dois pontos também reforçam a competitividade deste sistema: O aproveitamento dos resíduos florestais e do material volátil da madeira para termogeração, que traz a possibilidade de redução expressiva dos custos produtivos através de crédito com a venda de energia elétrica e a redução de consumo específico de carvão vegetal nos altos fornos, que reduz os custos de produção do ferro gusa.

Possui um ciclo de produção de 40 horas, sendo distribuído em; 10 horas de carbonização, 6 horas de resfriamento primário e 24 horas de resfriamento secundário. Alcançando uma produção de aproximadamente 22 t/ dia. O rendimento gravimétrico para esta tecnologia é de 42% (SAMPATIO *et al.*, 2016).



Figura 10: Reator de carbonização contínua Carboval.

Fonte: Sampaio *et al.*, 2016.

3.2 Análise dos processos tecnológicos das empresas contempladas no estudo

3.2.1 ArcelorMittal

I. Análise do Processo de Carbonização e suas fontes de emissão

A empresa adotou a rota tecnológica de carbonização com fornos retangulares. Conforme exposto no capítulo 3.1, os fornos retangulares, possuem limitações quanto ao controle do processo de carbonização, gerando um produto mais heterogêneo. O índice gravimétrico médio é de 35%.

Assim como em outros processos, ocorre a combustão parcial da carga como fonte energética do processo. Desta maneira, em média, 10% da biomassa inserida é perdida na combustão.

Os fornos da ArcelorMittal que possuem um queimador de gás e chaminé acoplados ao forno, alcançam uma redução considerável no potencial de aquecimento dos resíduos gasosos e não condensáveis do processo de carbonização. Pois, ele permite a combustão do CO e CH₄, gerando como produto principal o CO₂, reduzindo consideravelmente o impacto ambiental gerado pelo processo, e praticamente eliminando as emissões de metano, que é o único GEE gerado no processo.

II. Projeto 1: Instalação de sistema para combustão dos gases residuais da carbonização

O projeto consistiu em duas ações principais, instalação de sistema supervisorio para controle de processo e de um sistema para combustão dos gases gerados no processo de carbonização da unidade UPE Fazendinha localizada na região Centro-Oeste de Minas Gerais.

Objetivou-se uma redução das emissões de GEE através da redução do potencial de aquecimento do gás exausto e elevação do rendimento gravimétrico do processo de carbonização durante o período de análise do projeto compreendido entre janeiro e março de 2020.

Como resultado, alcançou-se uma redução das emissões de GEE no valor de 12.691 t CO_{2e}.

III. Projeto 2: Instalação de sistema para controle de temperatura e fluxo de ar

O projeto consistiu na implementação de sistema para controle de temperatura e fluxo de ar e aumento do rendimento gravimétrico para, dessa forma, reduzir as emissões de GEE da carbonização na UPE Forquilha localizada na região Norte do estado de Minas Gerais.

Objetivou-se uma redução das emissões de GEE através da elevação do rendimento gravimétrico do processo de carbonização durante o ano de 2019.

Como resultado, a redução da emissão do projeto para o ano de 2019 foi de 50.655 t CO_{2e}.

3.2.2 Plantar Florestal

I. Análise do Processo de Carbonização e suas fontes de emissão

A empresa adotou tecnologia com fornos retangulares com elevado controle operacional e índice gravimétrico médio de 35%.

Os gases gerados no processo de degradação térmica da madeira, são coletados e queimados no queimador construído próximo aos fornos, assim destruindo o metano presente nos gases recolhidos.

Vale ressaltar que, neste caso, as emissões de CO₂ na carbonização são nulas. O CO₂ é neutro, porque é proveniente do cultivo florestal, onde a fotossíntese captura o CO₂ atmosférico. Assim, o metano é o único GEE emitido na queima biomassa renovável. Emissões de N₂O também podem ser calculadas, mas geralmente são desprezíveis na queima

Uma vez queimados, os gases serão reenviados aos fornos através de dutos de retorno para auxiliar a secagem da madeira e a ignição da lenha. Espera-se que essa iniciativa possa agregar até dois pontos percentuais no rendimento gravimétrico, visto que parte da energia para secar a madeira e iniciar o processo de carbonização (fase endotérmica) virá dos gases e não da lenha.

II. Projeto: Implementação de sistema supervisório para controle de processo

O projeto consistiu na implementação de sistema para controle de temperatura e fluxo de ar e, dessa forma, na redução das emissões de GEE da carbonização na Fazenda Lagoa do Capim – MG2 localizada na região Centro-Norte do estado de Minas Gerais.

Objetivou-se uma redução das emissões de GEE através da elevação do rendimento gravimétrico do processo de carbonização durante os anos de 2018 e 2019.

Como resultado, a redução da emissão do projeto para o ano de 2018 foi 1.351 t CO_{2e} e para o ano de 2019 foi 4.217 t CO_{2e}. Totalizando uma redução de emissões no valor de 5.568 t CO_{2e}.

3.2.3 Rima

I. Análise do Processo tecnológico adotado e suas fontes de emissão

A empresa utiliza o Forno Container como rota tecnológica para a produção do carvão vegetal. Conforme exposto no capítulo 3.1, os fornos de tipo Container, são reatores metálicos com alimentação pela parte superior e com equipamento auxiliar para queima dos gases gerados. Possuem elevado controle operacional e índice gravimétrico superior a 35%.

Os gases gerados no processo de degradação térmica da madeira, são coletados e queimados na plataforma de incineração de gases localizada próxima ao forno de carbonização, e através da queima o metano (único GEE formado no processo) é destruído na medida da eficiência do sistema de coleta e queima dos gases.

II. Projeto 1: Instalação de sistema para combustão dos gases residuais

O projeto consistiu na instalação de sistema para combustão dos gases gerados no processo de carbonização da unidade de florestal da Fazenda Santa Efigênia I localizada no município de Buritizeiro, Minas Gerais.

Objetivou-se uma redução das emissões de GEE através da redução do potencial de aquecimento do gás exausto e elevação do rendimento gravimétrico do processo de carbonização durante o período de análise do projeto compreendido entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020.

Como resultado, alcançou-se uma redução das emissões de GEE no valor de 3.002 t CO_{2e}.

III. Projeto 2: Elevação da capacidade produtiva

O projeto consistiu na elevação da capacidade produtiva de 150 toneladas para 500 toneladas ao mês na unidade localizada no município de Buritizeiro, Minas Gerais.

Objetivou-se uma redução das emissões de GEE através elevação do rendimento gravimétrico do processo de carbonização durante o período de análise do projeto, julho de 2018 até junho de 2019.

Como resultado, alcançou-se uma redução das emissões de GEE no valor de 6.388 t CO_{2e}.

3.2.4 Vallourec

I. Análise do Processo tecnológico adotado e suas fontes de emissão

A empresa conta com três rotas tecnológicas para a produção de carvão vegetal: Fornos Retangulares com e sem queimadores de gás e Carboval.

Fornos Retangulares com queimadores de gás

Conforme exposto no capítulo 3.1, os fornos retangulares, possuem limitações quanto ao controle do processo de carbonização, gerando um produto muito heterogêneo e com índice gravimétrico médio de 35%.

Os fornos da Vallourec que possuem um queimador de gás e chaminé acoplados ao forno, alcançam uma redução considerável de emissões de GEE (metano), assim como dos produtos gasosos e de condensáveis formados no processo de carbonização. Pois, ele permite a combustão do CO e CH₄, e dos vapores orgânicos, gerando como produto principal o CO₂, reduzindo consideravelmente o impacto ambiental gerado pelo processo.

Carboval

Conforme exposto no capítulo 3.1, os fornos de tipo Carboval são reatores contínuos com elevado controle operacional e índice gravimétrico médio entre 40 e 42%.

Os gases gerados no processo de degradação térmica da madeira, são coletados e utilizados nos queimadores para fornecimento da energia térmica necessária ao processo de carbonização, não havendo a necessidade de utilização de fontes de combustível externas. Devido a isso, o CO₂ é o principal componente de emissão direta no processo, e essas emissões são neutras do ponto de vista climático, pois são produtos de remoção de CO₂ atmosférico pela fotossíntese florestal.

3.2.5 Resumo das reduções das emissões diretas alcançadas pelos projetos implantados no âmbito do Edital JOF 0191/2017

O **Projeto Siderurgia Sustentável** (BRA/14/G31 - Produção sustentável de carvão a base de biomassa para a indústria siderúrgica no Brasil) coordenado pelo MMA e implementado pelo PNUD, lançou em 2017 o Edital de Licitação JOF 0191/2017, destinado a apoiar projetos que se candidataram para receber apoio financeiro dentro de um “Mecanismo de Apoio ao Desenvolvimento, Melhoria e Demonstração de Tecnologias Sustentáveis de Produção e de Uso de Carvão Vegetal na Indústria Siderúrgica (Ferro-Gusa, Aço e Ferroligas)”. Ao todo, seis projetos foram selecionados e executados pelos proponentes. Os resultados relacionados à execução financeira e reduções diretas de emissão de GEE foram auditados. A tabela 1 abaixo representa o resumo das emissões diretas que foram reduzidas pelos seis projetos.

Tabela 1: Resumo das reduções das Emissões Diretas alcançadas

Categorias de Projeto	Empresas apoiadas	Período de Apuração	Emissões Reduzidas (t CO _{2e})
Categoria 1 Produção de carvão vegetal sustentável - instalação ou ampliação de capacidade produtiva, com ou sem aproveitamento de coprodutos	<i>Plantar Empreendimentos e Produtos Florestais Ltda.</i>	Agosto a dezembro 2019	1.351
		Janeiro a Junho 2020	4.217
		Total	5.568
	<i>Rima Industrial S/A</i>	Julho 2018 a Junho 2019	6.388

Categoria 2 Melhoria de processos na produção de carvão vegetal sustentável	<i>ArcelorMittal BioFlorestas Ltda.</i>	Janeiro a Dezembro 2019	59.721
Categoria 3 Queima de gases/fumaça gerados na produção de carvão vegetal sustentável	<i>Rima Industrial S/A</i>	Setembro 2019 a fevereiro 2020	3.002
	<i>ArcelorMittal BioFlorestas Ltda.</i>	Janeiro a Março 2020	12.691
Categoria 4 Adoção e/ou ampliação e/ou melhoria de arranjos tecnológicos que implique o uso do carvão vegetal sustentável e/ou de seus coprodutos na produção de ferro-gusa, aço e ferroligas	<i>Vallourec Soluções Tubulares do Brasil S/A</i>	01/03/2018 a 31/12/2018	9.780
		01/01/2019 a 31/08/2019	14.068
		Total	23.848
Categoria 5 Recuperação e/ou beneficiamento de coprodutos de carvão vegetal sustentável, fabricação de produtos complementares (briquetes, biocoque etc.) voltados à produção de ferro-gusa, aço e ferroligas	Não houve projetos aprovados		
Total de emissões reduzidas (t CO_{2e}):	111.218		

Fonte: Relatórios das Auditorias confeccionados pela RINA Brasil Serviços Técnicos Ltda

4. LEVANTAMENTO PRELIMINAR DAS ATIVIDADES QUE SERÃO AVALIADAS

4.1 Etapas para a quantificação da emissão e remoção de GEE

As etapas conceituais utilizadas para a elaboração desse trabalho são apresentadas no fluxograma abaixo e explicadas em seguida (Figura 11):

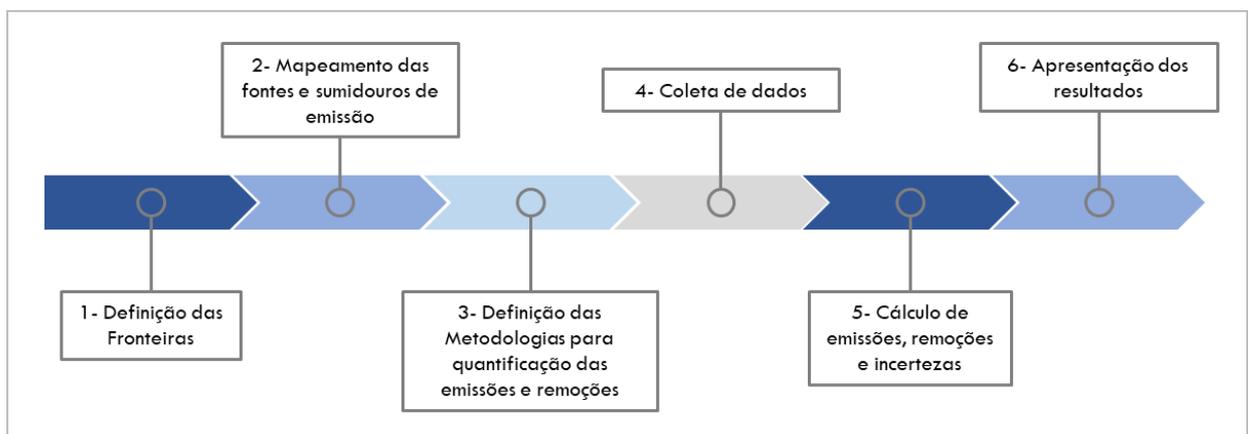


Figura 11: Fluxograma de etapas metodológicas para a realização da quantificação das emissões indiretas

Fonte: Elaboração Própria

Primeiramente, define-se as fronteiras da quantificação das emissões indiretas do processo de Carbonização, ou seja, é necessário determinar quais instalações e atividades da organização serão contempladas pelo estudo, estabelecendo seu limite organizacional. Em seguida, são identificadas e categorizadas as fontes e sumidouros das emissões indiretas dentro da fronteira definida na etapa 1. O terceiro passo é definir as metodologias para quantificação das emissões e remoções identificadas na etapa 2. Em seguida, realiza-se o processo de coleta de dados, para a realização do cálculo das emissões e remoções, onde são utilizados os dados de atividades emissoras coletados, bem como os fatores de emissão (vide adiante). Nesta etapa também são calculadas as incertezas do inventário. Por fim, os resultados serão compilados em um relatório final.

4.2 Definição das fronteiras

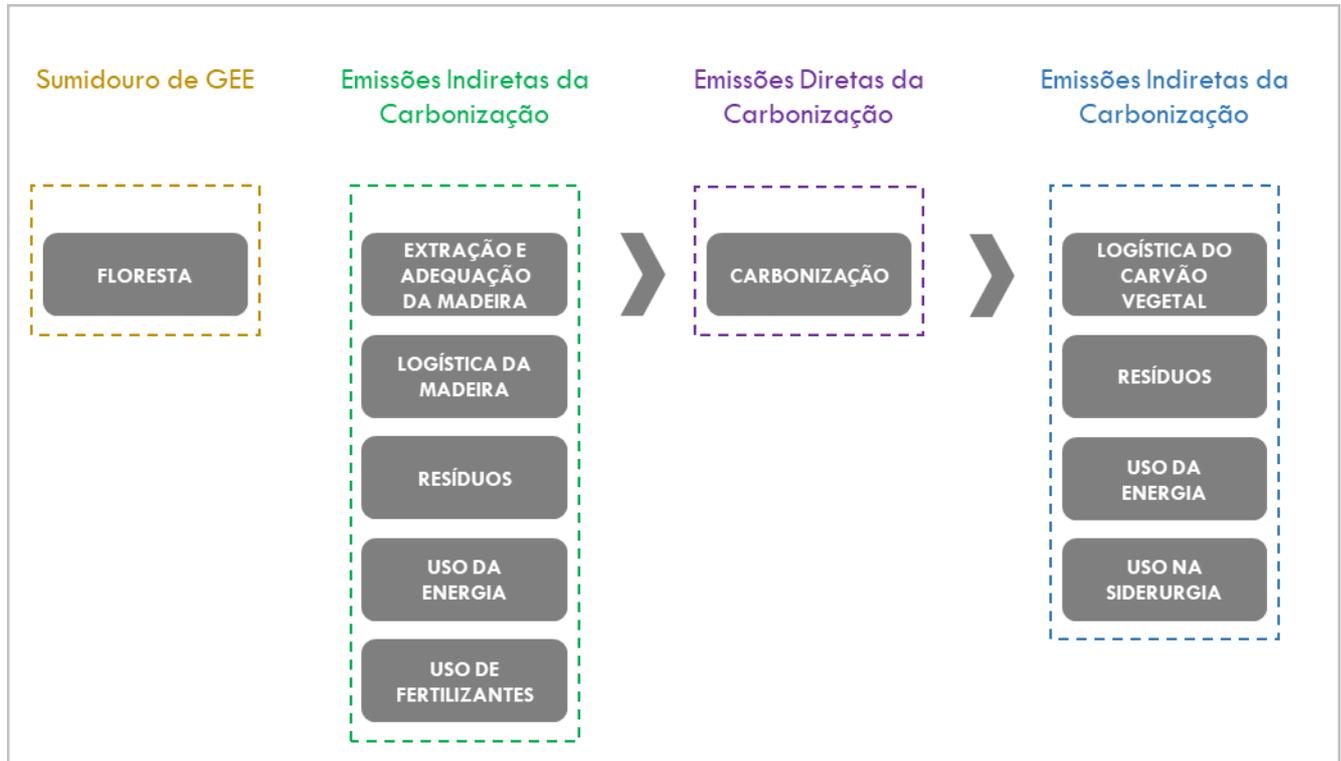


Figura 12: Fronteiras do Estudo

Fonte: Elaboração Própria

A figura 12 contempla todas as fontes de emissão e remoção de GEE pertinentes ao processo de carbonização. Entretanto, nesse trabalho, foram considerados somente as emissões da logística da madeira e do carvão vegetal, geração de resíduos, uso da energia elétrica e redução na emissão de CO₂ devido a substituição do agente redutor da carga metálica (Gás Natural e Coque) por carvão vegetal no processo siderúrgico.

4.2.1 Gases de Efeito Estufa

De acordo com o Programa Brasileiro do *GHG Protocol*, são contemplados 7 tipos de GEE no reporte do Protocolo de Kyoto: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrogênio (N₂O), hidrofluorcarbono (HFCs), perfluorcarbono (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆), e trifluoreto de nitrogênio (NF₃). Adicionalmente, o Protocolo de Montreal inclui os gases depletadores da camada de ozônio como os hidroclorofluorcarbono (HCFCs), que também contribuem para o aquecimento global.

Cada GEE possui um *Global Warming Potential* (GWP) associado, que é a medida do quanto cada gás contribui para o aquecimento global. O GWP é um valor relativo que compara o potencial de

aquecimento de uma determinada quantidade de gás com a mesma quantidade de CO₂ que, por padronização, tem o GWP de valor igual a 1. O GWP é sempre expresso em termos de equivalência de CO_{2e}. A Tabela 2 abaixo apresenta os valores do GWP utilizados no estudo:

Tabela 2: GWP dos Gases de Efeito Estufa

Gás	GWP
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	21 ¹
Óxido nitroso (N ₂ O)	298
Hexafluoreto de enxofre (SF ₆)	22.800
Trifluoreto de nitrogênio (NF ₃)	17.200
PFCs	7.390 - 17.700
HFCs	12 - 14.800
HCFCs	5 - 14.400

Fonte: PBGHGP, 2020.

Considerou-se as emissões de CO₂, CH₄, N₂O de acordo com as fontes de emissão mapeadas e a disponibilidade de dados. Adicionalmente, o estudo também computou as reduções nas emissões de CO₂ devido a substituição do carvão mineral por carvão vegetal.

Os gases CO₂, CH₄, N₂O são gerados das seguintes maneiras:

- CH₄: Gerado na decomposição dos resíduos sólidos das unidades de carbonização e/ou Altos Fornos;
- CO₂: Gerado na queima de combustíveis fósseis por fontes móveis e estacionárias;
- N₂O: Gerado na queima de combustíveis fósseis por fontes móveis.

4.3 Mapeamento das fontes de emissões indiretas do processo de carbonização

As fontes de emissão e remoção indireta de GEE do processo de Carbonização foram identificadas e categorizadas e encontram-se listadas na tabela 3.

¹ Foi mantido o valor de GWP_{CH4} = 21 (tCO_{2e} / tCH₄) utilizado na quantificação das **emissões diretas** das atividades apoiadas pelo Projeto Siderurgia Sustentável.

Tabela 3: Fontes de emissão de acordo com etapa, categoria e dado controlado

-	Etapa	Categoria	Dado Controlado
Madeira	Carbonização	Resíduos sólidos	Massa de resíduo gerado
	Transporte e distribuição	Combustão móvel	Consumo de Diesel em caminhões
Carvão Vegetal	Uso na Siderurgia	Aquisição de Energia elétrica	Consumo de Energia Elétrica nas Máquinas
		Processos industriais	Emissões evitadas pela substituição do Carvão Mineral pelo Vegetal
		Resíduos sólidos	Massa de resíduo gerado
	Transporte e distribuição	Combustão móvel	Consumo de Diesel em caminhões

Fonte: Elaboração própria

4.3.1 Fontes e sumidouros de emissões não considerados nesse estudo

Não serão contabilizadas as emissões da etapa Florestal, sendo elas:

- Mudança no uso do solo;
- Uso de fertilizantes;
- Consumo de diesel das máquinas no plantio das mudas, manutenção da floresta, colheita e adequação da madeira.

4.4 Metodologias

As quantificações das emissões indiretas de GEE das atividades apoiadas pelo Projeto Siderurgia Sustentável, serão elaboradas via planilha em Excel®, utilizando as metodologias aplicáveis a cada categoria citada na tabela 3.

Genericamente, as emissões de GEE são calculadas para cada fonte individualmente segundo a fórmula a seguir:

$$E_{i,g,y} = DA_{i,y} \cdot FE_{i,g,y} \cdot PAG_g$$

Onde:

- i Índice que denota uma atividade da fonte individual;
- g Índice que denota um tipo de GEE;
- y Ano de referência do relatório.
- $E_{i,g,y}$ Emissões do GEE g atribuíveis à fonte i durante o período y , em tCO₂e;
- $DA_{i,y}$ Dado de atividade consolidado referente à fonte i para o período y , na unidade u . O dado de atividade consolidado consistirá em todos os atributos registrados de cada fonte.
- $FE_{i,g,y}$ Fator de emissão do GEE g aplicável à fonte i no período y , em t GEE g/u ;
- PAG_g Potencial de aquecimento global do GEE g , em tCO₂e/tGEE g ;

A escolha do método de cálculo apropriado decorrerá da disponibilidade de dados e de fatores de emissão específicos, das tecnologias utilizadas no processo, propriedades físico-química dos materiais e dados operacionais de performance.

5. PRÓXIMAS ETAPAS

O detalhamento de todos os produtos e atividades é apresentado nas tabelas a seguir:

Tabela 4: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 01

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
Reunião de kick-off	Reunião para alinhamento de pontos chave e etapas do trabalho, apresentação da equipe de trabalho, além de esclarecimento de dúvidas.	WayCarbon e PNUD
Produto Preliminar: Plano de Trabalho com Cronograma de Atividades	<ul style="list-style-type: none"> • Uma versão preliminar do produto será entregue à equipe do PNUD para verificação e validação de seu conteúdo; • Envio da versão final, após correções solicitadas; • A revisão por parte da Consultoria ficará limitada a 1 (uma) rodada de dúvidas/questionamentos. 	WayCarbon
Validar formato das entregas	Validação junto ao PNUD de um modelo para entrega dos relatórios	WayCarbon e PNUD
Realização da coleta de dados	<p>A coleta de dados será realizada remotamente e sugere-se as seguintes etapas para a coleta dos dados:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Envio da lista de documentos necessários; • Recebimento dos documentos via e-mail 	WayCarbon e PNUD
Consolidação dos dados, levando-se em consideração fatores e informações disponíveis em bases públicas confiáveis e eventuais estimativas adotadas.	<p>Os dados coletados serão consolidados, contendo as fontes oficiais e sinalizando quais dados estão disponíveis publicamente.</p> <p>Caso necessário, estimativas de dados serão realizadas para o cálculo das emissões. Todas as estimativas serão devidamente documentadas e os fatores de conversão utilizados devidamente referenciados em um banco de dados que acompanhará a planilha de coleta de dados.</p>	WayCarbon

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
Estabelecer fronteira de emissões indiretas que serão parte do estudo	Entendimento das fronteiras que serão abordadas no escopo do trabalho	WayCarbon e PNUD
Avaliação dos inventários de GEE das empresas participantes	Mapeamento detalhado do perfil de emissões de gases de efeito estufa (GEE) das empresas participantes	WayCarbon
Avaliação dos processos tecnológicos adotados pelas empresas	Mapeamento detalhado dos processos tecnológicos adotados em cada empresa participante	WayCarbon
Identificação das atividades/projetos e processos que serão incluídos na quantificação de emissões e reduções indiretas de gases de efeito estufa	Mapeamento das atividades/projetos e processos que servirão como base para realizar um levantamento preliminar das ações de redução emissões indiretas	WayCarbon
P1: Relatório com a avaliação do(s) processo(s) tecnológico(s) das empresas e levantamento preliminar das atividades de redução indireta de emissões	<ul style="list-style-type: none"> • Uma versão preliminar do produto será entregue à equipe do PNUD para verificação e validação de seu conteúdo; • Envio da versão final, após correções solicitadas; • A revisão por parte da Consultoria ficará limitada a 1 (uma) rodada de dúvidas/questionamentos. 	WayCarbon

Fonte: Elaboração própria

Tabela 5: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 02

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
Elaboração de roteiro das entrevistas com os empreendimentos	Espera-se que o roteiro sirva como guia para a melhor aproveitamento das entrevistas com os representantes das empresas.	WayCarbon

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
Validar roteiro das entrevistas com equipe PNUD	Espera-se que o roteiro sirva como guia para a melhor aproveitamento das entrevistas com os representantes das empresas.	WayCarbon e PNUD
Agendamento das entrevistas com os representantes dos empreendimentos selecionados	As reuniões acontecerão de maneira remota através das plataformas <i>Zoom</i> ou <i>Microsoft Teams</i>	WayCarbon e representantes dos empreendimentos
Condução das Entrevistas com os Empreendimentos selecionados	Espera-se que as entrevistas contribuam para a melhor compreensão dos processos, identificação de gargalos, dificuldades e oportunidades para o setor	WayCarbon e representantes dos empreendimentos
Identificação das metodologias de quantificação aplicáveis a cada empreendimento/ Projeto de descarbonização	Serão empregados abordagens de linha de base e emissões dos projetos aos métodos empregados para Monitoramento, Reporte e Verificação (MRV) do Projeto Siderurgia Sustentável e consistentes com as metodologias dos padrões de projetos de redução, como o MDL e o VCS	WayCarbon
P2: Relatório com a definição do escopo da avaliação das reduções indiretas	<ul style="list-style-type: none"> • Uma versão preliminar do produto será entregue à equipe do PNUD para verificação e validação de seu conteúdo; • Envio da versão final, após correções solicitadas; • A revisão por parte da Consultoria ficará limitada a 1 (uma) rodada de dúvidas/questionamentos. 	WayCarbon

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 03

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
Levantamento de parâmetros e fatores de emissão das tecnologias	Pesquisa à base de dados da WayCarbon, fatores disponíveis em bases públicas	WayCarbon

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
	<p>confiáveis e em eventuais casos, estimativas serão adotadas.</p> <p>Todas as estimativas serão devidamente documentadas e os fatores de conversão utilizados devidamente referenciados em um banco de dados que acompanhará a planilha de coleta de dados.</p>	
Quantificar as emissões e reduções indiretas de GEE	<ul style="list-style-type: none"> • As atividades/projetos e processos terão suas emissões calculadas utilizando a metodologia que melhor descrevê-las; • Os cálculos serão realizados em planilha Excel. 	WayCarbon
P3: Relatório contendo os resultados da quantificação de redução de emissões indiretas	<ul style="list-style-type: none"> • Uma versão preliminar do produto será entregue à equipe do PNUD para verificação e validação de seu conteúdo; • Envio da versão final, após correções solicitadas; • A revisão por parte da Consultoria ficará limitada a 1 (uma) rodada de dúvidas/questionamentos. 	WayCarbon

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7: Detalhamento dos Produtos e Atividades a serem entregues no Produto 04

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
Consolidação dos resultados	Será realizado uma estratificando das emissões/ reduções por empresa, atividade e por tecnologia.	WayCarbon
Comentários finais e recomendações	Identificação das lacunas/gargalos, oportunidades de melhoria e lições aprendidas por meio do Projeto Siderurgia Sustentável	WayCarbon

Produto e Conteúdo	Detalhamento dos Produtos e Atividades	Responsabilidade
P4: Relatório contendo a análise dos dados finais de redução de emissões indiretas	<ul style="list-style-type: none">• Uma versão preliminar do produto será entregue à equipe do PNUD para verificação e validação de seu conteúdo;• Envio da versão final, após correções solicitadas;• A revisão por parte da Consultoria ficará limitada a 1 (uma) rodada de dúvidas/questionamentos.	WayCarbon

Fonte: Elaboração própria

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aperam Bioenergia. **Forno RAC 700 - tecnologia da Aperam BioEnergia**, 2016. Disponível em: <<https://aperambioenergia.com.br/forum-sobre-carvao-vegetal-recebe-mais-de-100-trabalhos-de-pesquisa/>>. Acesso em: 08 de julho de 2021.
- Assis, C. O. **Sistema alternativo para carbonização de madeira**. Lavras, MG, 2007.
- Carvalho, T. H. **Análise da segmentação tecnológica dos mercados da indústria siderúrgica no Brasil**. Piracicaba, SP, 2012.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). **Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia**. Brasília, DF, 2015.
- Daniel Barcellos. **Forno retorta contínua**. Tecnologias alternativas de carbonização, 2020. Disponível em: <<https://danielbarcellos.com/tecnologias-alternativas-de-carbonizacao/>> Acesso em : 09 de julho de 2021.
- FAO. 2017. *The charcoal transition: greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods*, by J. van Dam. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2017.
- Hembrom, S., Roy, B. N., Roy, D. **Life Cycle Assessment in Charcoal and Steemaking Processes: Review**. International Journal of Trend in Research and Development, Volume 3, 2016
- Oliveira, A. C. **Sistema forno-fornalha para produção de carvão vegetal**. Viçosa, MG, 2012.
- Sampaio, R., Mendes, F., Lopes Latorre, F., Soares, L., Azevedo, F. 46º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 17º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 4º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, parte integrante da ABM Week. **Tecnologia Carboval de produção integrada do carvão vegetal siderúrgico**, Rio de Janeiro, 2016.
- Santos, S. F. O. M. **Modelo Ambiental e Econômico de Produção de Carvão Vegetal**. Ponta Grossa, PR, 2017.
- *The National Greenhouse Gas Inventories Programme, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006. Disponível em < <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 06/07/2021
- World Resources Institute (WRI) e World Business Council for Sustainable Development. **GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard**, 2014. Disponível em: <<https://ghgprotocol.org/corporate-standard>>. Acesso em: 02 de julho de 2021.

- World Resources Institute (WRI) e wbcasd. *Technical Guidance for Calculating Scope 3 Emissions*, 2013. Disponível em < <https://ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard> > Acesso em: 02 de julho de 2021.



Htec – Parque Tecnológico de Belo Horizonte
Rua Professor José Vieira de Mendonça, 770 – Sala 502
CEP 31310 – 260 - Belo Horizonte – MG
Telefone | Fax 55 31 3401.1074

BH | SP | RJ

WWW.WAYCARBON.COM