

## **ATENÇÃO!**

Este documento destina-se estritamente aos membros do Comitê de Acompanhamento do Projeto Siderurgia Sustentável (BRA/14/G31) e de sua assessoria técnica.

A leitura, exame, retransmissão, divulgação, distribuição, cópia ou outro uso deste arquivo, ou ainda a tomada de qualquer ação baseada nas informações aqui contidas, por pessoas ou entidades que não sejam o(s) destinatário(s), constitui obtenção de dados por meio ilícito e configura ofensa ao Art.5º, inciso XII, da Constituição Federal.

## **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD**

**Projeto BRA/14/G31 – Produção de Carvão Vegetal de Biomassa Renovável para a Indústria Siderúrgica no Brasil**

### **Cadeias de Produção de Carvão Vegetal para o Setor Siderúrgico**

**Avaliação de metodologias relevantes para a análise e quantificação da eficiência de cadeias de produção de carvão vegetal**

DATA: 18 de abril de 2017

*Túlio Jardim Raad*

*Engenheiro Mecânico, Dr.*

## Sumário

1.	Introdução .....	5
1.1.	O processo de carbonização .....	5
1.2.	Carvão vegetal na siderurgia .....	6
1.3.	Biomassas e produção de carvão vegetal .....	8
2.	Metodologia proposta para avaliação da eficiência das cadeias de produção de carvão vegetal .....	10
2.1.	Fronteira do presente estudo .....	10
2.2.	Análise Técnica .....	12
2.2.1.	Rendimento de Processo de Carbonização .....	12
2.2.1.1.	Considerações adicionais sobre valores do Rendimento Gravimétrico .....	13
2.2.2.	Metodologia para obtenção do Rendimento Gravimétrico - RG .....	14
2.2.2.1.	Metodologia para obtenção da Umidade da Madeira .....	15
2.2.2.2.	Metodologia para obtenção das massas de madeira e carvão vegetal .....	16
2.2.2.3.	Metodologia para obtenção do Rendimento Gravimétrico - RG .....	17
2.2.3.	Qualidade do Carvão Vegetal.....	18
2.2.3.1.	Teor de carbono fixo .....	18
2.2.3.2.	Densidade a granel .....	19
2.2.3.3.	Umidade.....	20
2.2.3.4.	Finos de Carvão Vegetal .....	20
2.3.	Análise Ambiental.....	21
2.3.1.	Capacidade de redução de gás metano (CH <sub>4</sub> ).....	21
2.3.2.	Capacidade de recuperação de coprodutos .....	23
2.4.	Análise Econômica .....	24
2.4.1.	Fluxo de Caixa Descontado - FCD .....	24
2.4.1.1.	Produção Anual de Carvão Vegetal (t/ano) .....	25
2.4.1.2.	Preço do Carvão Vegetal (R\$/t) .....	25
2.4.1.3.	Impostos .....	25

2.4.1.4.	Custo da matéria-prima .....	26
2.4.1.5.	Custos operacionais - OPEX .....	26
2.4.1.6.	Investimento na Implantação do Projeto - CAPEX .....	26
2.4.2.	Indicadores Econômicos .....	27
2.4.2.1.	Taxa Mínima de Atratividade – TMA.....	27
2.4.2.2.	Valor Presente Líquido – VPL.....	27
2.4.2.3.	Taxa Interna de Retorno – TIR .....	27
2.4.2.4.	Tempo de Retorno de Investimento - Payback .....	28
2.5.	Análise Social.....	28
2.5.1.	Conceito .....	28
2.5.2 –	Metodologia de análise social advindo das novas tecnologias.....	28
2.6.	Considerações Finais sobre a Metodologia.....	29
3.	Referências Bibliográficas .....	31
ANEXO -	Nota Técnica 1 .....	37

# 1. Introdução

## 1.1. O processo de carbonização

A carbonização consiste em aquecer uma biomassa, em um ambiente fechado, ou seja, na ausência de oxigênio, até sua decomposição parcial. Como resultado da decomposição, surgem produtos sólidos e gasosos. O produto sólido resultante da carbonização de biomassas é o carvão vegetal (Lopes, 2010).

Quando produzido a partir de madeira de eucalipto, principal biomassa utilizada pelo setor siderúrgico brasileiro (IBGE, 2015), o carvão vegetal apresenta-se como um material negro, poroso, cujo o tamanho dos grãos é menor que 152 mm e com alto teor do elemento químico carbono (>70%) (Chaves et al., 2013).

Carbonizar é concentrar carbono (CGEE, 2014). No setor siderúrgico, a quantidade de carbono que é fixada no carvão vegetal, como resultado do processo de carbonização, é chamada “Teor de Carbono Fixo”.

Já em termos de granulometria, o carvão vegetal para o setor siderúrgico é dividido em duas categorias (Braga, 1979; Barbieri, 2013):

- Carvão vegetal usado como termorreductor do minério de ferro, colocado no topo do alto-forno, de granulometria entre 12,7 e 152 mm;
- Carvão vegetal usado como combustível, injetado na base do alto-forno, em forma de pó proveniente da moagem dos finos de carvão vegetal. Grãos de carvão vegetal menores que 12,7 mm são considerados finos de carvão vegetal.

Os produtos gasosos resultantes do processo de carbonização são divididos em não condensáveis e condensáveis. Os não condensáveis são os gases metano (CH<sub>4</sub>), monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), além de nitrogênio. Os condensáveis são o ácido pirolenhoso e o alcatrão vegetal (Lopes, 2010).

A condensação de parte das fumaças produzidas durante o processo de carbonização da madeira produz um líquido genericamente conhecido como pirolenhoso. Quando decantado, o líquido pirolenhoso apresenta duas frações distintas: uma sobrenadante e outra decantada (Maciel, 1996).

A fração sobrenadante constitui o ácido pirolenhoso, aquoso e de cor amarela a marrom. Pode ser utilizado como fertilizante orgânico, tem aplicações medicinais e na indústria de alimentos (Silveira, 2010).

O alcatrão vegetal, oleoso e de cor escura, é a parte decantada do líquido pirolenhoso. (Maciel, 1996). Tem aplicações na indústria química e de alimentos.

O ambiente fechado onde a madeira é aquecida e degradada é denominado reator de carbonização. Existem diversos tipos de reatores: fornos de alvenaria, em formatos circular ou retangular, contêiner com *mix* de alvenaria e metálico e estruturas

totalmente metálicas, cilíndricas ou em forma de contêiner, todos os citados com distintas geometrias e capacidades de produção. O reator é o principal componente de uma tecnologia de carbonização.

Em diversas tecnologias, a fonte de calor para se produzir o carvão vegetal vem da combustão de uma parcela da massa de madeira que é carregada dentro do reator para ser carbonizada. A combustão, por sua vez, ocorre a partir de fogo que é colocado em aberturas existentes nos reatores.

Observa-se que, com o desenrolar do processo, o aquecimento e posterior degradação parcial da madeira não acontece por ação direta do fogo. A degradação ocorre devido ao contato das fumaças quentes com a madeira, no interior dos reatores, processo denominado “transferência de calor por convecção” (Raad, 2004).

Há tecnologias cuja fonte de calor vem de fora do reator. São os casos das retortas contínuas, as quais queimam parte das fumaças produzidas na própria carbonização e dos reatores de micro-ondas, que usam energia elétrica (CGEE, 2015).

## 1.2. Carvão vegetal na siderurgia

O setor siderúrgico produz ferro-gusa, ferroligas e aço. As ferroligas e o aço são produzidos a partir do ferro-gusa. O gusa é constituído basicamente de ferro, obtido nos altos-fornos siderúrgicos, através de uma reação química de termorredução (Silva, 2011).

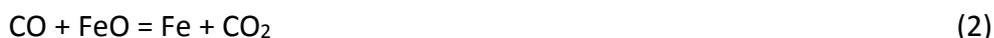
O alto-forno é um reator térmico de funcionamento contínuo, no qual, do topo à base, são dispostas camadas intercaladas de minério de ferro e de carvão vegetal. Na base, através das chamadas ventaneiras, é injetado gás combustível ou pó de carvão vegetal. A queima dos combustíveis produz dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Cavaliero e Januzzi, 1999).

Ao ascender por entre as camadas intercaladas de minério de ferro e de carvão vegetal, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) leva à ocorrência de uma reação química de termorredução, visando extrair o oxigênio do minério de ferro, a fim de produzir o ferro-gusa, onde (Silva, 2011):

- O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), do gás combustível, reage com o carbono (C), do carvão vegetal, resultando em monóxido de carbono (CO):



- Por sua vez, o monóxido de carbono (CO), resultante, reage com o oxigênio contido no minério de ferro (FeO):



O resultado é a produção de ferro (Fe) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O ferro vai constituir o gusa, o qual, ao se apresentar em estado líquido, escoar para a base do alto-forno (Silva, 2011).

Além de atuar como redutor, uma vez que contribui para a extração do oxigênio do minério de ferro, o carvão vegetal exerce, também, a função de combustível para a manutenção da reação de termorredução (Salierno, 2007).

As camadas de carvão vegetal e minério de ferro constituem, dentro do alto-forno, o chamado “leito”. É através do ‘leito’ que ocorre a ascensão do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás que vai ativar a reação de termorredução. Para isto, é necessário que o “leito” tenha permeabilidade, ou seja, permita a passagem do gás, através do alto-forno (Salierno, 2007).

A permeabilidade, por sua vez, é proporcionada pelo carvão vegetal, uma vez que o redutor suporta a carga exercida pelo próprio “leito”. Caso não suportasse, o carvão se degradaria, diminuindo a passagem do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Salierno, 2007).

O carvão vegetal suporta a carga exercida pelo “leito”, e não se degrada, por causa de sua resistência mecânica (Brito, 1993; Salierno, 2007). Neste sentido, resistência mecânica é um parâmetro de qualidade do carvão vegetal.

O setor siderúrgico avalia a resistência mecânica do carvão vegetal, através de correlações com a densidade ( CETEC, 1979; Brito et al., 1982), a serem detalhadas no item 2.1.4.2 deste documento.

Adicionalmente, para garantir e melhorar a permeabilidade do “leito” as usinas siderúrgicas, através de peneiramento, segregam o carvão vegetal, a ser colocado no topo do alto-forno, em diferentes faixas de granulometria (Braga, 1979):

- Carvão fino: 12,7 a 25,4 mm;
- Carvão médio: de 25,4 a 38,1 mm;
- Carvão grosso: de 38,1 mm a 152 mm.

As diferentes faixas de granulometria são colocadas de forma alternada, de modo a formarem as camadas do “leito”: uma camada de carvão vegetal grosso e uma camada de minério de ferro; uma camada de carvão vegetal médio, outra camada de minério de ferro; uma camada de carvão vegetal fino e uma camada de minério de ferro.

A alternância evita que os grãos de carvão vegetal menores penetrem nos espaços dos grãos de carvão vegetal maiores, pois a mistura tende a dificultar a passagem dos gases, reduzindo a permeabilidade do “leito” (Braga, 1979).

### **1.3. Biomassas e produção de carvão vegetal**

Todo reator de carbonização é capaz de degradar qualquer biomassa. Por outro lado, nem toda biomassa, ao ser degradada, irá resultar em um carvão vegetal com as características de qualidade exigidas pelo setor siderúrgico.

A mais conhecida e abundante biomassa para produção de carvão vegetal, no Brasil, é a madeira, em sua maior parte originária de florestas plantadas de eucalipto (IBGE, 2015).

Outras biomassas vêm sendo citadas, em fontes não acadêmicas, como alternativas à madeira para produção de carvão vegetal, tais como resíduos de colheita, cascas de cereais, sabugo de milho, bagaço de cana, coco de babaçu e culturas de ciclo curto como capim elefante.

Apesar das citações, não foram encontrados estudos relatando experimentos que comprovem a viabilidade das mencionadas biomassas, como alternativa à madeira, na produção de um carvão vegetal que atenda às demandas do setor siderúrgico, em termos de qualidade.

A carbonização de biomassas alternativas à madeira resulta, em sua maioria, em carvão vegetal de baixa granulometria, tendendo para o que é classificado pelo setor siderúrgico brasileiro como finos de carvão vegetal (<12,7 mm).

Por estar abaixo da faixa de granulometria, o carvão de biomassas alternativas não é utilizado como termorreductor pelas siderúrgicas. Finos, mesmo de carvão vegetal de madeira, diminuem a permeabilidade do “leito” do alto-forno (Braga, 1979), conforme descrito no item 1.2 deste documento.

Há estudos que objetivam aglomerar finos para produzir os chamados briquetes, tanto do carvão de madeira quanto de outras biomassas, utilizando um aglutinante. O objetivo é aproveitar os briquetes como termorreductor. Os estudos apontam para a necessidade de novos experimentos, uma vez que os briquetes não possuem a resistência mecânica exigida pelos altos-fornos (Donato et al., 2015; Lucena et al., 2008).

Atualmente, na prática, os finos de carvão vegetal de madeira são usados como combustível, injetados na forma de pó, na base do alto-forno. Geralmente, as usinas não conseguem utilizar 100% dos finos gerados. A alternativa é a comercialização desses finos para outros segmentos, como indústrias de cimento e cerâmica, as quais os aproveitam também como combustível (Figueiredo e Barbosa, 2008).

Em relação à comercialização dos finos de carvão vegetal das biomassas alternativas, não foram encontrados estudos que discutam a viabilidade econômica para uso na siderurgia, como combustível. Por sua vez, também não foram encontrados estudos sobre a comercialização de finos de biomassas alternativas para outros segmentos, além do siderúrgico.

Pelo exposto, é possível afirmar que o carvão vegetal de biomassas alternativas à madeira não atende, na atualidade, à função de termorredução, princípio que fundamenta a produção de ferro-gusa pelo setor siderúrgico.

Neste sentido, o presente estudo irá abordar, exclusivamente, o carvão vegetal produzido a partir de madeira.

## 2. Metodologia proposta para avaliação da eficiência das cadeias de produção de carvão vegetal

A produção de carvão vegetal envolve dois fatores: matéria-prima, no caso a madeira, e o processo de carbonização. Estes dois fatores impactam na quantidade e/ou na qualidade dos produtos da carbonização: carvão vegetal, gases condensáveis e não condensáveis (Raad, 2004).

As características da madeira, como densidade, diâmetro, umidade e as frações de seus próprios componentes são resultado de vários fatores, como, por exemplo, o modo de manejo das florestas. Estudos indicam que o espaçamento entre as árvores influencia, positivamente, a densidade da madeira. Maiores espaçamentos resultam em maiores densidades (Berger, 2000).

Maior densidade da madeira, por sua vez, resulta em maior densidade do carvão vegetal (CETEC, 1979; Blankenhorn, 1978; Brito e Barrichelo, 1977). Carvão vegetal de maior densidade é um indicador de qualidade exigido pelo setor siderúrgico, a ser detalhado em item posterior deste documento.

Adicionalmente, alcançar a densidade exigida para o carvão vegetal também irá depender do processo de carbonização, especialmente do controle da temperatura (Raad, 2004).

Observa-se, de todo modo, que melhorias nas características da madeira cabem ao campo da silvicultura e não ao da carbonização, que se ocupa do processamento da matéria-prima, e não do seu manejo.

Por sua vez, o setor siderúrgico exige do campo da carbonização que o carvão vegetal produzido atenda às suas demandas, principalmente em termos de qualidade e custos (Brito, 1993).

### 2.1. Fronteira do presente estudo

A fronteira de avaliação das cadeias de produção do carvão vegetal do presente estudo é definida como (Lana, 2012):

- inicia-se a partir do carregamento do reator com a madeira a ser carbonizada;
- passa pelo acompanhamento da carbonização, entendida como a degradação da madeira e o resfriamento do carvão;
- termina com o descarregamento do reator com o carvão vegetal produzido.

Neste sentido, demanda-se do processo de carbonização que atue sobre potenciais efeitos que as características da madeira possam exercer sobre a quantidade e a qualidade do carvão vegetal produzido.

## **INDICADORES DE QUALIDADE E VALORES DE REFERÊNCIA**

As tecnologias apresentam especificações próprias em termos de processo, no que se refere à temperatura e ao tempo ou ciclo de carbonização, que representam o diferencial tecnológico de cada uma delas. Assim, não cabe a presente metodologia avaliar as tecnologias, em termos de processo de carbonização.

A proposta é que as tecnologias sejam avaliadas através do que apresentam em comum, ou seja, os resultados da carbonização da madeira: carvão vegetal, gases condensáveis e não condensáveis.

- Os resultados da carbonização serão avaliados através de indicadores de qualidade e respectivos valores de referência, usados como metas a serem alcançadas pelas tecnologias.

As justificativas para as definições de cada indicador e respectivos valores de referência serão feitas ao longo do presente estudo.

### **A) Em termos técnicos**

#### **Quantidade de carvão vegetal produzido em termos de :**

- Rendimento do processo de carbonização: quanto maior melhor, sendo que a faixa a ser alcançada situa-se entre 30% a 40%. Para quaisquer valor, dentro da faixa, o valor de referência do Teor de Carbono fixo deve ser entre 70% a 80%.

#### **Qualidade do carvão vegetal produzido em termos de :**

- ✓ Carbono fixo: entre 70% a 80%;
- ✓ Densidade: maior que 180 kg/ m<sup>3</sup>;
- ✓ Umidade: menor que 8%;
- ✓ Geração de finos: quanto menor, melhor.

### **B) Em termos ambientais**

- Capacidade de redução de emissão de gás metano (CH<sub>4</sub>): quanto maior o Rendimento Gravimétrico, menor a emissão de gás metano.
- Capacidade de recuperação de coprodutos:
  - ✓ Pirolenhoso: não definido. Valor depende da tecnologia de recuperação;
  - ✓ Alcatrão vegetal: não definido. Valor depende da tecnologia de recuperação.

### **C) Em termos econômicos**

- Tempo de retorno de investimento (*Payback*): quanto menor, melhor;
- Taxa interna de retorno (TIR): 7.5 % ao ano;
- Taxa mínima de atratividade (TMA): maior que a TIR;
- Valor presente líquido (VPL): tender a 0 para obtenção da TMA.

### **D) Em termos sociais**

Será feito um levantamento de impactos, sem análise, conforme termo de referência do presente estudo.

- Impactos referentes a:
  - ✓ Inclusão social;
  - ✓ Geração de renda;
  - ✓ Diminuição das desigualdades de gênero.

## **2.2. Análise Técnica**

### **2.2.1. Rendimento de Processo de Carbonização**

O indicador a ser adotado para medição do rendimento do processo de carbonização será o Rendimento Gravimétrico – RG. O RG mede quanto de madeira se converteu em carvão vegetal, em percentual (Silva, 2011 a).

Segundo a Convenção-Quadro das Nações Unidas, UNFCCC, Rendimento Gravimétrico-RG é a massa de carvão produzido durante a carbonização dividida pela massa de biomassa usada na produção de carvão, ambas na base seca, ou seja, “sem umidade” (UNFCCC, 2012).

O Rendimento Gravimétrico é o índice técnico mais importante no processo de carbonização (CGEE, 2008). O aumento do Rendimento Gravimétrico impacta positivamente na sustentabilidade financeira (CGEE, 2015) e ambiental da tecnologia de produção de carvão vegetal, no que diz respeito a redução de emissões de gás metano (CH<sub>4</sub>) (UNFCCC, 2012).

O impacto do aumento do Rendimento Gravimétrico na sustentabilidade financeira da tecnologia de carbonização ocorre devido ao fato de que a viabilidade da produção de carvão vegetal depende do preço da madeira (Fonseca, 2013). Logo, quanto maior percentual de carvão vegetal for produzido por unidade de madeira, ou seja, quanto maior o Rendimento Gravimétrico, menor o impacto do preço da madeira no custo de produção do carvão vegetal.

Quando a temperatura do processo de carbonização não é controlada e ultrapassa determinado ponto, a massa de madeira, ao invés de se converter em carvão vegetal,

gera fumaças (Taccini, 2010). No caso, verifica-se menor Rendimento Gravimétrico e consequente maior custo financeiro na produção de carvão vegetal.

Adicionalmente, a conversão da massa de madeira em fumaças vai significar maiores valores de metano (CH<sub>4</sub>) lançados na atmosfera, uma vez que este gás é um dos que compõem as emissões da carbonização. Logo, quando maior percentual de carvão vegetal for produzido, ou seja, quanto maior o Rendimento Gravimétrico, menores taxas de emissão de gás metano (UNFCCC, 2012 )

**Valor de referência:** o valor de referência proposto para o Rendimento Gravimétrico é quanto maior melhor, desde que o teor de Carbono fixo, seja entre 70% a 80%. A correlação é proposta pelo fato de que o teor de carbono fixo é limitado pela resistência mecânica do carvão vegetal, conforme explicado no item 1.2. Teores entre 80% e 85% resultam em menor resistência mecânica.

#### **2.2.1.1. Considerações adicionais sobre valores do Rendimento Gravimétrico**

Segundo estudo intitulado Plano de Modernização da Produção de Carvão Vegetal, o Rendimento Gravimétrico nacional é estimado em 26%, ou seja, no Brasil, em média, para a produção de uma tonelada de carvão vegetal são consumidas 3,85 toneladas de madeira (CGEE, 2015, p. 9).

Observa-se que a maior parte da produção de carvão vegetal para o setor siderúrgico brasileiro é destinada aos produtores independentes de ferro-gusa (Colombo, 2006). Estes, em sua maioria, não produzem o carvão vegetal que consomem, comprando-o de “terceiros”, entendidos como produtores profissionais e eventuais, fazendeiros e reflorestadoras (Mendes, 2013)

A maioria dos “terceiros”, e mesmo dos produtores independentes de ferro-gusa que produzem seu próprio carvão vegetal, fazem a carbonização através do método convencional, ou seja, fornos circulares de alvenaria, sem controle de temperatura, os chamados “rabo quente”.

O Rendimento Gravimétrico médio de fornos “rabo quente”, sem controle da temperatura, é igual a 25% (Oliveira et al, 2014), sendo que valores entre 30% e 40% são os desejáveis (CGEE, 2014), para quaisquer tecnologias.

É possível inferir que o Rendimento Gravimétrico nacional é estimado entre 25 % a 26%, devido ao fato de a produção de carvão vegetal no Brasil ser baseada no forno “rabo quente”, sem controle de temperatura. Nestes fornos, o controle da temperatura baseia-se em fatores subjetivos, tais como coloração da fumaça e temperatura externa dos fornos, sentida pelo tato das mãos (Oliveira et al, 2014).

Vale registrar que o Plano de Modernização da Produção de Carvão Vegetal prevê que, com a implantação em larga escala de melhores práticas de produção de carvão vegetal, haverá um “aumento gradativo do RG nacional de 26%, em 2014, para 32%, em 2020” (CGEE, 2015, p. 10).

No citado estudo, foram apresentadas análises qualitativas de algumas tecnologias para produção de carvão vegetal. Para o cálculo das análises era necessário saber o Rendimento Gravimétrico de cada tecnologia.

Os valores dos Rendimentos Gravimétricos das tecnologias analisadas foram fornecidos pelas próprias empresas. Como o estudo era de natureza teórica, os valores não foram verificados experimentalmente, ao contrário do que é defendido na metodologia proposta na presente análise.

Tabela 1 – Rendimentos Gravimétricos de várias tecnologias

Tipo de Tecnologia	Sem controle de Processo (Temperatura)	Com controle de processo (Temperatura)
Fornos tipo 'Rabo Quente' e Circulares	24% a 29%	sem referência
Fornos de Alvenaria Retangulares	26%	32% a 35%
Retorta de Carbonização Contínua (*)	-	38%
Tecnologia Rima (*)	-	33% a 35%
Bricarbrás (*)	-	30% a 33%
Tecnologia DPC (*)		40%
Tecnologia ONDATEC (*)		40%

Fonte: CGEE, 2015, p. 40-52.

### 2.2.2. Metodologia para obtenção do Rendimento Gravimétrico - RG

O procedimento a ser adotado para cálculo do Rendimento Gravimétrico - RG será o preconizado pela metodologia ACM0021 – *Reduction of emission from charcoal production by improved kills design and/or abatement of methane* ( UNFCCC, 2012).

A metodologia ACM 0021 faz parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL. Este mecanismo concebido dentro do Protocolo de Quioto, detalhado no item 2.2.1, foi “estabelecido com o fim de conceder créditos para projetos que reduzam ou evitem emissões nos países em desenvolvimento” (MMA, 2007).

O primeiro dado a ser obtido para cálculo do Rendimento Gravimétrico - RG será a massa da madeira. Logo, o passo inicial é pesar a madeira, a ser usada na produção do carvão, em balança rodoviária ou célula de carga.

Em seguida, para atender a obrigatoriedade imposta para cálculo do Rendimento Gravimétrico – RG, quanto a considerar a massa de madeira na base seca, é necessário obter a umidade. A umidade obtida será descontada do peso da madeira.

### 2.2.2.1. Metodologia para obtenção da Umidade da Madeira

Ainda, segundo a metodologia ACM0021, o procedimento para obter a umidade da madeira seguirá as seguintes etapas:

1. Colocar toda a carga de madeira a ser carbonizada, equivalente ao volume de um reator, em um *box* de contenção;
2. Medir, com paquímetro, todos os diâmetros das peças de madeira contidas no *box*. A mesma peça tem que ser medida duas vezes. A medida tem que ser feita na metade dos comprimentos das toras;
3. Determinar a distribuição do histograma dos diâmetros de todas as peças medidas. O intervalo da classe de diâmetros não pode exceder 6 centímetros. É necessário saber quantas amostras existem em cada faixa de diâmetro, ou seja, a frequência de cada amostra (%);
4. Escolher entre 60 e 70 amostras com diâmetros proporcionais à frequência obtida de cada classe dos diâmetros do histograma. As amostras devem ser tiradas em três diferentes áreas verticais, conforme a figura 1.

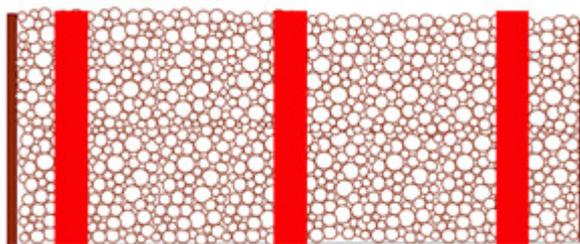


Figura 1 – Exemplo do local de retirada das amostras de umidade. Fonte: (UNFCCC, 2012)

5. Cortar discos de madeira entre 5 e 7 cm de espessura a um terço da extremidade do comprimento da tora;
6. Pesar cada disco imediatamente, em balança de laboratório, na própria Unidade de Produção de Carvão Vegetal - UPC e anotar a massa e o número da amostra;
7. Enviar as amostras para laboratório credenciado;
8. No laboratório, as amostras deverão ser secadas em estufa até  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ;

9. Secar até atingir o peso constante;
10. Retirar os discos da estufa e pesar cada disco em balança de laboratório;
11. Calcular a umidade em base seca, de cada peça, através da equação (3):

$$Umid_{bs} = \left( \frac{Massa\ Umida - Massa\ Seca}{Massa\ Seca} \right)_{base\ seca} \quad (3)$$

Sendo:

- **Umid<sub>bs</sub>** = Umidade base seca de cada peça de madeira amostrado (%);

12. Calcular a umidade média de cada classe de diâmetro;

A umidade média ponderada da madeira é calculada pelo somatório do resultado da multiplicação das umidades médias de cada classe de diâmetro e suas respectivas frequências, conforme equação (4):

$$UmidP_{bs} = \sum_1^N UmidM_n \times Freq_n \quad (4)$$

Sendo:

- **UmidP<sub>bs</sub>** = Umidade média ponderada das amostras (%);
- **UmidM<sub>n</sub>** = Umidade média das amostras de cada classe de diâmetro (%);
- **Freq<sub>n</sub>** = Frequência obtida do histograma das amostras de madeira (%).

#### 2.2.2.2. Metodologia para obtenção das massas de madeira e carvão vegetal

De acordo com a metodologia ACM0021, calcula-se o valor da massa da madeira na base seca, conforme a seguinte equação (5):

$$Mmad_{bs} = \left( \frac{Massa\ Madeira_{base\ úmida}}{1 + UmidP_{bs}} \right)_{base\ seca} \quad (5)$$

sendo:

- **Mmad<sub>bs</sub>** = Massa de madeira na base seca (kg)<sub>bs</sub>
- **UmidP<sub>bs</sub>** = Umidade média ponderada das amostras (%);

Por sua vez, a massa do carvão vegetal é obtida através de pesagem em balança rodoviária ou célula de carga.

Além da massa do carvão vegetal é preciso obter o valor de sua umidade. O procedimento de obtenção da umidade será feito por laboratório credenciado.

O valor da massa base seca do carvão vegetal é obtido conforme equação (6):

$$Mcv_{bs} = \left( \frac{\text{Massa Carvão}_{base\ úmida}}{(1 + U_{cv} \%)} \right)_{base\ seca} \quad (6)$$

onde,

- **Mcv<sub>bs</sub>** = Massa de carvão vegetal na base seca (kg)<sub>bs</sub>
- **U<sub>cv</sub> %** = percentual de umidade do carvão fornecido pelo laboratório credenciado.

### 2.2.2.3. Metodologia para obtenção do Rendimento Gravimétrico - RG

De acordo com a metodologia ACM0021, o Rendimento Gravimétrico – RG é calculado pela equação 7:

$$RG_{bs} = \left( \frac{\text{Massa Carvão}}{(\text{Massa Madeira} - \text{Massa Atiço})} \right)_{base\ seca} \quad (07)$$

Sendo:

- **RG** = Rendimento Gravimétrico – (kg/kg ou em %)<sub>bs</sub> ;
- **Massa Madeira** = Massa de madeira pesada em balança ou célula de carga, descontada a sua massa de umidade (kg)<sub>bs</sub>;
- **Massa de atiço** = Massa de atiço, pesada em balança ou célula de carga (kg)<sub>bs</sub>;
- **Massa Carvão** = Massa de carvão vegetal pesada em balança ou célula de carga, descontada a sua massa de umidade (kg)<sub>bs</sub>.

### 2.2.3. Qualidade do Carvão Vegetal

Quatro indicadores foram selecionados para verificar a qualidade do carvão vegetal. São eles: teor de carbono fixo, densidade a granel, umidade e finos. Esses indicadores serão descritos e terão sua escolha justificada nas seções apresentadas abaixo.

#### 2.2.3.1. Teor de carbono fixo

O carbono fixo presente no carvão vegetal é responsável pela redução do minério de ferro no alto-forno. Quanto maior o teor de carbono fixo, menor o consumo de carvão vegetal (Brito, 1993, Santos, 2008; Santos et al., 2012; Sèye, 1998).

Por causa desta importância, o indicador teor de carbono fixo será avaliado no presente estudo.

Porém, o teor de carbono fixo é limitado pela resistência mecânica. Teores entre 80% e 85% resultam em menor resistência mecânica. Para contornar a limitação, o setor siderúrgico trabalha com uma faixa entre 70% a 80% de teor de carbono fixo (CETEC, 1979; Oliveira, 1984).

O teor de carbono fixo também se relaciona com o poder calorífico do carvão vegetal. Poder calorífico é o número de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa de combustível (Jara, 1985).

Quanto maior o teor de carbono fixo, maior o poder calorífico do carvão vegetal (Thomaz et al., 2007). No setor siderúrgico, poder calorífico é medido para cálculo da quantidade de injeção de finos na base do alto-forno.

Esta medição é feita para verificar o balanço de energia do alto-forno. Portanto, pertence ao campo da metalurgia, área da siderurgia que se ocupa da produção do ferro-gusa.

A determinação do teor de carbono fixo do carvão vegetal produzido pelas tecnologias de produção de carvão vegetal a serem avaliadas deve ser feita por laboratórios credenciados.

**Valor de referência:** entre 70% a 80%, sugerido por ser a faixa exigida pelo setor siderúrgico (CETEC, 1979; Oliveira, 1984).

### 2.2.3.2. Densidade a granel

Densidade a granel é o peso em quilogramas por metro cúbico de carvão vegetal (SI., 2012). No caso, o carvão vegetal é pesado e medido na carreta.

A densidade a granel é utilizada pelo setor siderúrgico para o cálculo da quantidade de carvão que vai compor as camadas do leito no alto-forno, conforme conforme explicado no item 1.2, acima.

Quanto maior a densidade a granel, maior a quantidade de carbono por camada no leito do alto-forno, logo, menor consumo de carvão vegetal (Oliveira et al., 2012).

Por esta relevância, o indicador densidade a granel será avaliado no presente estudo.

Adicionalmente, a densidade a granel, quando associada com a densidade aparente, é um dos indicadores de qualidade utilizados para avaliar indiretamente a resistência mecânica do carvão vegetal. A densidade aparente é medida a partir da massa de uma peça de carvão dividida pelo seu volume (Brito et al., 1982).

Neste sentido, ainda de acordo com Brito et al. (1982), quanto maior a densidade aparente, maior será a densidade a granel e maior será a resistência mecânica do carvão vegetal. Maior resistência mecânica é exigida porque o carvão vegetal precisa se manter íntegro, a fim de não prejudicar a permeabilidade do leito, no alto-forno siderúrgico.

Por outro lado, através da densidade aparente obtém-se a porosidade do carvão vegetal. A porosidade é a medida de espaço vazio, 'poros', em um material. Quanto maior a densidade do carvão vegetal, menor sua porosidade (Silva e Brito, 1989).

A porosidade influencia na reação de termorredução que ocorre nos altos fornos, denominada reatividade. Quanto maior a porosidade, maior a reatividade do carvão vegetal dentro do alto-forno (Palomares, 2011).

Entretanto, não foi encontrada uma coleção de estudos que discutam a influência da reatividade do carvão vegetal no consumo específico e na produtividade do alto-forno. Por causa disto, a porosidade não será considerada como item de qualidade do carvão vegetal no presente estudo.

A determinação da densidade do carvão vegetal produzido pelas tecnologias avaliadas será feita por laboratórios credenciados.

**Valor de referência:** maior que 180 kg/m<sup>3</sup>; sugerido por ser a faixa exigida pelo setor siderúrgico (Brito et al., 1982).

### 2.2.3.3. Umidade

O carvão vegetal tem característica altamente higroscópica, propriedade que certos materiais têm de absorver água. Assim, a umidade do carvão vai depender da umidade relativa do ar. Na época da seca, o teor de umidade situa-se entre 6% a 8%, conforme a estação do ano seja seca ou chuvosa, respectivamente (Araújo et al., 2010)

O indicador é importante porque carvão vegetal com umidade excessiva apresenta menor resistência mecânica (Araújo et al., 2010). Menor resistência mecânica faz com que o carvão vegetal se torne friável dentro do alto-forno, o que prejudica a permeabilidade do leito (Salierno, 2007). Menor permeabilidade reduz a produtividade do alto-forno (Thonsen, 2005).

Pela importância, o indicador umidade será avaliado no presente estudo.

A medida da umidade do carvão vegetal produzido pelas tecnologias a serem avaliadas no âmbito do Projeto Siderurgia Sustentável deve ser feita por laboratórios credenciados.

**Valor de referência:** menor que 8%; sugerido por ser a faixa exigida pelo setor siderúrgico (Araújo et al., 2010).

### 2.2.3.4. Finos de Carvão Vegetal

Os finos são definidos como a parcela de carvão vegetal de tamanho médio abaixo de 12,7 mm (Braga, 1979).

Os finos são gerados em todas as fases da produção do carvão vegetal, ou seja, carbonização, transporte, peneiramento e abastecimento do alto-forno. A média de geração de finos é de 25% da produção de carvão vegetal (Barbieri, 2013).

Os finos ocorrem devido à friabilidade do carvão vegetal. Friabilidade significa baixa resistência mecânica (Donato et al., 2015).

Os finos de carvão vegetal não são aproveitados como termorreduzidor. Resta a opção de injetá-los, na forma de pó, como combustível na base do alto-forno ou vendê-los para outros setores, abaixo dos valores de custo, que é o mesmo do carvão vegetal.

Neste sentido, quanto maior a geração de finos, maior o custo do carvão vegetal.

Por sua relevância, o indicador geração de finos será avaliado no presente estudo.

A quantidade de finos gerada na produção de carvão vegetal, a partir das tecnologias avaliadas, será obtida na usina siderúrgica mediante o seguinte procedimento:

- pesagem da carreta com o carvão vegetal;
- descarga do carvão vegetal na peneira da usina;

- separação entre carvão vegetal para termorredução e finos de carvão vegetal em peneira com malha de 12,7 mm;
- pesagem dos finos abaixo de 12,7 mm.

**Valor de referência:** quanto menor, melhor, sendo que a média de geração de finos é de 25%, como citado acima.

## **2.3. Análise Ambiental**

### **2.3.1. Capacidade de redução de gás metano (CH<sub>4</sub>).**

O efeito estufa é um fenômeno natural e possibilita a vida no planeta. Parte da energia solar que chega à Terra é refletida diretamente de volta ao espaço. A outra parte é absorvida pelos mares e superfície terrestre, o que promove o aquecimento do planeta (BRASIL, 2017).

Uma parte deste calor é irradiado de volta ao espaço, mas é bloqueada pelos chamados gases de efeito estufa. Estes gases deixam passar a energia emitida pelo sol em direção à Terra, mas são opacos à irradiação da Terra em direção ao espaço (BRASIL, 2017).

São os gases de efeito estufa que possibilitam manter a temperatura da Terra em uma média global de 14 graus centígrados. Caso não existissem, a temperatura seria muito baixa, inviabilizando que o planeta fosse habitável (BRASIL, 2017).

O clima na Terra se mantém inalterado quando existe um equilíbrio entre a energia que incide e o calor que é refletido pela superfície da Terra. O equilíbrio pode ser alterado por variações na quantidade de calor que é refletida de volta ao espaço.

Por sua vez, as variações ocorrem devido a mudanças na concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. E, por fim, as mudanças acontecem em função do aumento das emissões desses gases, por parte de diversas atividades humanas.

O Protocolo de Quioto, tratado complementar à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC, definiu metas de redução obrigatória de emissões de gases de efeito estufa para países desenvolvidos. O Brasil ratificou o documento em 2002 (MMA, 2017).

Instituída pela Lei nº 12.187 de 2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC oficializa o compromisso voluntário do Brasil perante a Organização das Nações Unidas – ONU de diminuir as emissões de gases de efeito estufa – GEE (BRASIL, 2017).

O governo brasileiro elaborou vários planos setoriais a fim de colocar a PNMC em prática. Está em fase de elaboração o Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia, o chamado Plano Siderurgia, uma vez que esta atividade é uma das que provocam emissões de gases de efeito estufa, segundo o MMA (BRASIL, 2017).

Para o presente estudo, interessa a emissão de gases de efeito estufa emitida pela atividade siderúrgica, no que diz respeito à produção de carvão vegetal. Como detalhado no item 1.1., a carbonização produz carvão vegetal e fumaças, compostas por gases condensáveis e não condensáveis. Os gases não condensáveis são o metano – CH<sub>4</sub>, monóxido de carbono - CO e dióxido de carbono - CO<sub>2</sub>, além de nitrogênio N.

O metano e o dióxido de carbono figuram entre os quatro principais gases de efeito estufa, regulados pelo Protocolo de Quioto. Com a ratificação do Acordo de Paris, em setembro de 2016, o Brasil assumiu o compromisso de cumprir metas de redução de emissões de gases de efeito estufa estabelecidas na Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do País: “reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025, com uma contribuição indicativa subsequente de reduzir essas 43 emissões em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030” (BID, p. 4).

O controle das emissões de metano, cujo poder de aquecimento global é 21 vezes maior que o dióxido de carbono, – CO<sub>2</sub> (BRASIL, 2017) é uma das ações previstas no sumário executivo do Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia (2010) .

Em atenção à referida ação prevista no Plano Siderurgia, Capacidade de Redução de Gases de efeito estufa – GEE foi escolhido como indicador para avaliar as tecnologias de produção de carvão vegetal.

## **METODOLOGIA PARA AVALIAR CAPACIDADE DE REDUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

O Plano Siderurgia (2010) cita a adoção da metodologia AM0041 – *Mitigation of Methane Emission in the Wood Carbonization Activity for Charcoal Production* (UNFCCC, 2006) como referência para a mensuração, reportabilidade e verificabilidade da redução das emissões.

A partir de 2012, a metodologia AM0041 foi substituída pela ACM0021 – *Reduction of emissions from charcoal production by improved kiln design and/or abatement of methane* (UNFCCC, 2012).

A metodologia ACM0021 mantém o princípio preconizada na AM0041, segundo o qual quanto maior o rendimento gravimétrico do processo de carbonização, menor a emissão de fumaças e, conseqüentemente, menor a emissão de gás metano para a atmosfera (UNFCCC, 2006).

A metodologia ACM0021 não define parâmetros fixos para correlacionar quanto de metano é reduzido em função do rendimento gravimétrico. Os valores deverão ser levantados experimentalmente em função do tipo de reator a ser utilizado na cadeia de produção do carvão vegetal.

A execução e validação dos experimentos para obtenção da equação de cálculo de redução de metano deverá ser conduzida por empresas qualificadas, uma vez que a

metodologia exige profissionais especializados, equipamentos de medição de gases e análises matemáticas para validação estatística dos resultados obtidos.

O **valor de referência** estabelecido para o indicador Capacidade de Redução de gases de efeito estufa é “quanto maior o Rendimento Gravimétrico, maior a redução de emissão de gás metano”, em conformidade com o princípio preconizado pela metodologia ACM0021, já detalhado anteriormente.

### 2.3.2 - Capacidade de recuperação de coprodutos

Os gases condensáveis gerados no processo de carbonização, quando recuperados, resultam no líquido pirolenhoso e no alcatrão vegetal (Lopes, 2010).

A recuperação dos gases é feita através de um condensador, que transforma o gás em líquido. Este líquido, quando processado, pode se transformar em produtos, como fertilizantes e óleos combustíveis (Silveira, 2010; Maciel, 1996), a serem comercializados ou utilizados nas atividades da própria empresa.

A carbonização de uma tonelada de madeira (base seca), em processos convencionais de produção de carvão (fornos de alvenaria), com um rendimento de processo de 26%, resulta em 300 a 340 kg de líquido pirolenhoso e 120 a 150 kg de alcatrão vegetal (Raad, 2004), além de carvão vegetal e gases não condensáveis.

A revisão bibliográfica revelou uma lacuna em termos da existência de uma coleção de estudos acadêmicos que trate da recuperação de coprodutos da carbonização.

A lacuna no meio acadêmico pode estar refletindo a realidade. No setor siderúrgico, não são conhecidos projetos de recuperação de coprodutos da carbonização. A empresa Vallourec Sumitomo é a única, em Minas Gerais, que atualmente mantém projetos de recuperação de coprodutos.

O indicador Capacidade de Recuperação de Coprodutos será avaliado devido ao fato que a viabilidade financeira de algumas tecnologias depende da capacidade de recuperação de coprodutos (CGEE, 2015), associada ao potencial de mercado dos produtos gerados.

O indicador Capacidade de Recuperação de Coprodutos será avaliado pelas quantidades recuperadas de líquido pirolenhoso e de alcatrão vegetal, divididas pela quantidade de madeira enforada (base seca), em percentual, segundo as seguintes diretrizes:

O coproduto será pesado em balança ou célula de carga, na unidade de produção, e o valor obtido será usado na equação (8):

$$\text{Indicador} = \text{Peso do Coproduto} / \text{Peso da Madeira enforada} \times 100\% \quad (8)$$

**Valor de Referência:** não há. Depende da eficiência de recuperação da tecnologia adotada.

## 2.4. Análise Econômica

### 2.4.1. Fluxo de Caixa Descontado - FCD

A metodologia a ser utilizada é o **Método do Fluxo de Caixa Descontado – FCD**.

Segundo Felipetto (2007), o valor de um projeto avaliado pelo FCD é o valor presente das estimativas de fluxos de caixa livres futuros descontados pelo custo médio ponderado de capital.

O Fluxo de Caixa Livre da Firma – FCL é a diferença entre o volume de recursos que entrou no caixa e o volume de recursos que saiu, isto é, igual aos lucros operacionais após impostos, mais encargo não caixa, menos investimentos em capital de giro operacional, instalações, equipamentos e outros ativos (Felipetto, 2007).

Ainda de acordo com Felipetto (2007), o FCL não incorpora quaisquer fluxos de caixa ligados ao aspecto financeiro, como despesas com juros ou dividendos.

O FCL é o método correto para a avaliação porque reflete o fluxo de caixa gerado pelas operações do projeto e que está disponível para todos os provedores de capital, seja por endividamento ou por participação acionária (Felipetto, 2007).

Segundo Felipetto (2007), a metodologia Fluxo de Caixa Descontado – FCD é adotado pelo MDL para avaliar a viabilidade de projetos e reconhecido como o mais utilizado e com maior subsídio teórico.

Abaixo, é demonstrada tabela a ser usada para a avaliação da viabilidade econômica das tecnologias de carbonização.

Observe que o título da tabela é Fluxo de Caixa Projetado, referindo-se à recomendação de que sejam feitas projeções anuais, durante a vida útil do projeto (Felipetto, 2007).

No caso de uma tecnologia de carbonização, por se tratar de uma instalação técnica, preconiza-se que a vida útil do projeto seja estimada em 10 - 15 anos (FEDER, 2003). A título de demonstração foi utilizado o tempo de 10 anos, para cálculo do Valor Presente Líquido – VPL, conforme item 2.3.2.2.

<b>FLUXO DE CAIXA PROJETADO</b>
Total de Produção Anual de Carvão Vegetal da Tecnologia de Carbonização
Preço do Carvão Vegetal (R\$/t.cv)
<b>Receita Bruta (R\$/ano)</b>
(-) Impostos sobre a Receita (R\$/ano)
<b>Receita Líquida (R\$/ano)</b>
(-) Custo da Matéria-prima Carbonizada
<b>Custos Operacionais (R\$/ano)</b>
(-) Operação e Manutenção da Tecnologia
(-) Custos Administrativos (Overhead)
(-) Outros Custos
<b>Total de Custos Operacionais (OPEX) – (R\$/ano)</b>
<b>Margem Bruta - (R\$/ano)</b>
(-) Investimento na Implantação do Projeto – (CAPEX)
<b>Fluxo de Caixa Livre – FCL (R\$/ano)</b>

#### **2.4.1.1. Produção Anual de Carvão Vegetal (t/ano)**

- O **total de produção anual de carvão vegetal** será fornecido pela empresa produtora de carvão vegetal e validado nos testes experimentais.

#### **2.4.1.2. Preço do Carvão Vegetal (R\$/t)**

- O valor do preço do carvão vegetal a ser utilizado no estudo econômico será a média anual obtida a partir da soma dos valores mensais dos preços praticados pelo mercado em Minas Gerais.

#### **2.4.1.3. Impostos**

- Não é possível especificar, de antemão, quais impostos serão contabilizados para compor o fluxo de caixa, uma vez que as informações dependem do regime de tributação a que a empresa produtora de carvão vegetal estará enquadrada.

#### 2.4.1.4. Custo da matéria-prima

O custo da madeira a ser considerado no estudo econômico deverá ser fornecido pela empresa produtora de carvão vegetal e deverá ser composto pelo somatório dos custos das seguintes fases:

- custo de madeira na floresta;
- custo de colheita;
- custo de transporte;
- carregamento do reator.

Os valores deverão ser validados.

- O custo anual da madeira a ser usado no FCL será composto pelo custo da madeira (R\$/t.) multiplicado pela quantidade de madeira a ser carbonizada anualmente (t/ano).
- **A quantidade de madeira a ser carbonizada** (t/ano) será calculada pelo **total de produção anual de carvão vegetal** (t./ano) (item 2.3.1.1) dividido pelo **rendimento gravimétrico** (%) obtido pela tecnologia (item 2.1.2).

#### 2.4.1.5. Custos operacionais - OPEX

- Os custos de operação e manutenção da tecnologia (mão de obra, materiais, insumos e utilidades, energia e combustíveis), custos administrativos e outros deverão ser fornecidos pela empresa produtora de carvão vegetal. Estes valores deverão ser validados.

#### 2.4.1.6. Investimento na Implantação do Projeto - CAPEX

- Os valores dos investimentos correspondentes ao valor de venda da tecnologia, implantação e infraestrutura deverão ser fornecidos pela empresa produtora de carvão vegetal. Estes valores deverão ser validados.
- O quesito mínimo um reator esteja apto a produzir pelo menos 10 (dez) ciclos de carbonização para fins de validação estatística dos resultados experimentais. Esta quantidade de ciclos foi escolhida por ter sido preconizado na metodologia ACM0021 (UNFCCC, 2012), detalhada no item 2.2.1.

## 2.4.2. Indicadores Econômicos

### 2.4.2.1. Taxa Mínima de Atratividade – TMA

- A **Taxa Mínima de Atratividade – TMA** define a base de referência para avaliar a atratividade do projeto.
- Valor de referência: A TMA para análise econômica das tecnologias será adotada como sendo 7,5%. O valor corresponde à taxa de juros cobrada pelo Banco de Desenvolvimento Social – BNDES, dentro subprograma Carvão Vegetal do Programa Fundo Clima (SIF, 2016).

### 2.4.2.2. Valor Presente Líquido – VPL

- **Valor Presente Líquido – VPL:** “é igual ao valor presente do fluxo de caixa líquido [– FCL] do projeto em análise, descontado pelo custo médio ponderado de capital” (Portal de Contabilidade, 2017). Desta forma, todas as entradas e saídas de caixa são tratadas no tempo presente, conforme equação:

$$\text{VPL} = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{FT}{(1+TIR)^t} \quad (9)$$

Sendo:

- **N** = número total de anos, no presente estudo igual a 10 anos, correspondente ao tempo total de depreciação dos equipamentos da tecnologia;
- **t** = ano de referência no fluxo de caixa, sempre crescente;
- **FCL** = entradas e saídas de caixa no ano de referência;
- **TIR** = taxa de retorno do investimento necessária para zerar o VPL

### 2.4.2.3. Taxa Interna de Retorno – TIR

**Taxa Interna de Retorno – TIR:** “é a taxa ‘i’ que se iguala as entradas e saídas periódicas de caixa ao valor a ser investido em um projeto. Em outras palavras, é a taxa que iguala o **VPL de um projeto a zero**” (Portal de Contabilidade, 2017), conforme equação 10:

$$0 = \text{Investimento Inicial} + \sum_{t=1}^N \frac{FT}{(1+TIR)^t} \quad (10)$$

O valor da **TIR** obtida será comparado à **TMA**, a fim de subsidiar a viabilidade do investimento, sendo (Ross, 1998):

- **TIR maior do que a Taxa Mínima de Atratividade:** significa que o investimento é economicamente atrativo.
- **TIR igual à Taxa Mínima de Atratividade:** o investimento está economicamente numa situação de indiferença.

- **TIR menor do que a Taxa Mínima de Atratividade:** o investimento não é economicamente atrativo, pois seu retorno é superado pelo retorno de um investimento sem risco.

#### **2.4.2.4. Tempo de Retorno de Investimento – *Payback***

- ***Payback*:** período de tempo necessário para que as entradas de caixa do projeto se igualem ao valor a ser investido, ou seja, o tempo de recuperação do investimento realizado ( Portal de Contabilidade, 2017).
- Na presente análise quanto menor o *payback*, menor risco econômico terá a tecnologia.

## **2.5. Análise Social**

### **2.5.1. Conceito**

Análise social consiste em identificar as mudanças, positivas ou negativas, que podem vir a ocorrer nos indivíduos ou comunidades a serem afetados pela adoção de uma nova tecnologia de produção de carvão vegetal.

As mudanças afetam grupos distintos de maneiras diferentes. Alguns grupos se beneficiam, outros perdem com as mudanças. Mulheres, crianças, idosos, pobres e minorias em termos de língua, cultura, religião e etnia tendem a ser mais vulneráveis às mudanças e devem ser alvo de especial atenção (*The World Bank*, 2003).

### **2.5.2 – Metodologia de análise social advindo das novas tecnologias**

Por tratar-se da implantação de unidades piloto de tecnologias de produção de carvão vegetal, será feita uma Avaliação Inicial de Impactos Sociais - AIIS, visando identificar as mudanças potenciais e percebidas que o projeto ocasiona ou ocasionará no público envolvido.

Este tipo de avaliação é recomendado quando os impactos do projeto tendem a ser menores e limitados, o que é previsto no caso da implantação de uma unidade piloto.

Informações para a AIIS serão obtidas durante visitas de campo às áreas afetadas pelos projetos e por meio de entrevistas com as pessoas envolvidas, no caso, operadores, administrativos, gerentes e diretores, uma vez que avaliações de impacto social se apoiam no conhecimento local e recorrem a processos participativos. (IAIA, 2003).

As entrevistas devem ser capazes de responder às seguintes questões:

- Qual será o impacto do projeto sobre a inclusão social e a geração de renda das pessoas envolvidas?

- Quais as possibilidades oferecidas pela tecnologia quanto à redução da desigualdade de gênero?

Estes temas se justificam por serem objetivos de desenvolvimento sustentável defendidos pela Organização da Nações Unidas – ONU (2016).

A AIIIS é feita para confirmar se será necessária uma Avaliação de Impacto completa. Normalmente, uma AIS abrangente é recomendada para grandes projetos, o que requer estudos detalhados, tempo, pessoal especializado e recursos.

## **2.6. Considerações Finais sobre a Metodologia**

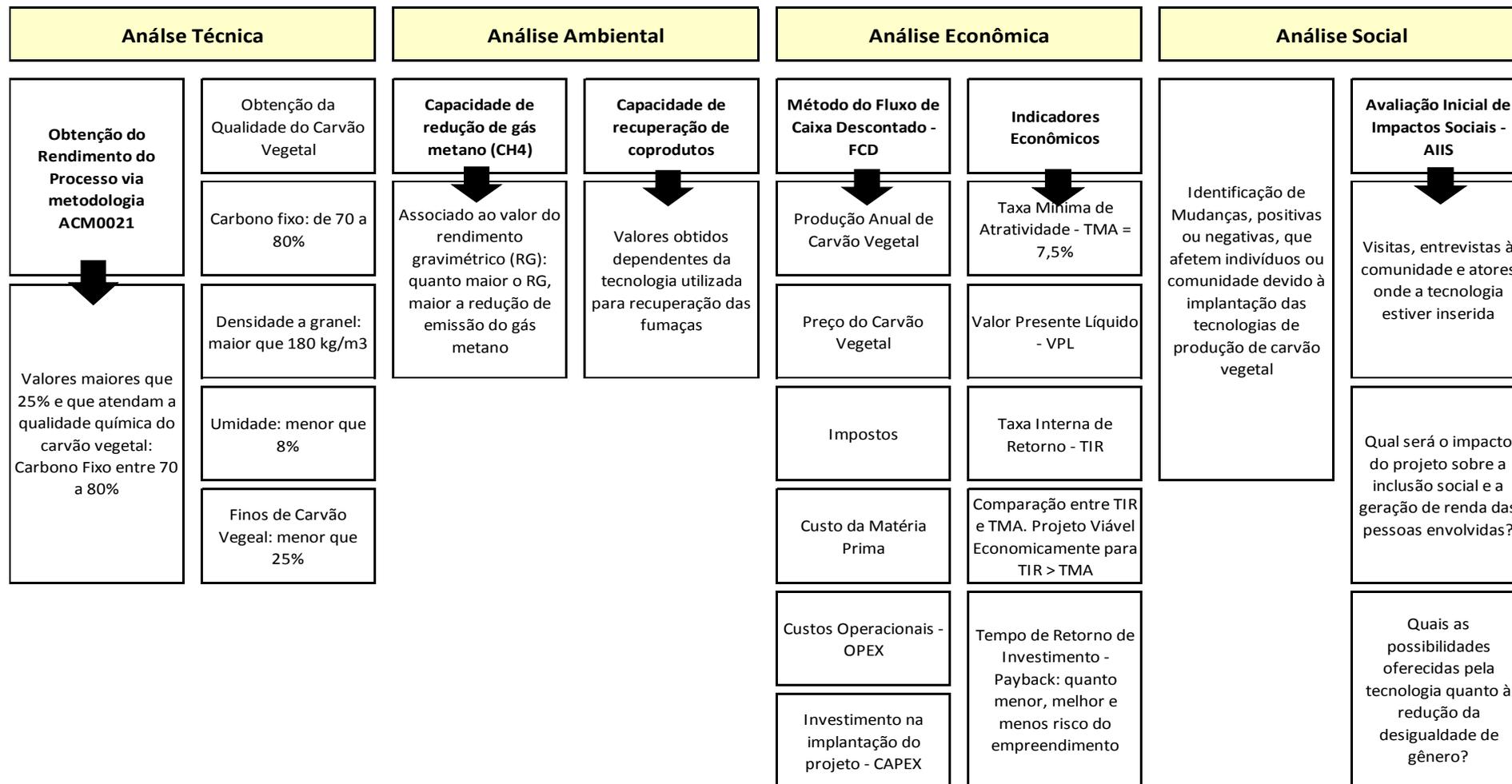
A metodologia proposta para avaliar a cadeia produtiva está sustentada por trabalhos científicos associados às práticas industriais de produção de carvão vegetal no Brasil e às exigências de custo e qualidade do produto a ser utilizado como termoreductor nas indústrias siderúrgicas dos segmentos de ferro-gusa, aço e ferroligas.

As avaliações a serem feitas para qualificar e quantificar a viabilidade técnico-econômica das cadeias e suas diversas tecnologias disponíveis foram divididas em quatro pilares analíticos: Técnico, Ambiental, Econômico e Social.

Com isto, pelo presente estudo procura-se conhecer as melhores práticas de sustentabilidade do setor produtivo de carvão vegetal com o objetivo de subsidiar programas de governo que possam oferecer formas de incentivar, modernizar e difundir as cadeias mais competitivas.

A tabela 2 apresenta uma síntese da metodologia proposta:

Tabela 2 – Quadro Resumo da Metodologia de Avaliação das Cadeias de Produção de Carvão Vegetal



### 3. Referências Bibliográficas

ARAÚJO, T.P; VIEIRA, J.S.C; ARAÚJO, J. A; ARAÚJO, A. J; ANJOS, D.F. Análise imediata do carvão vegetal produzido na região do Alto-Turi/MA e sua possível aplicação em alto-forno para produção de ferro-gusa. In: **Congresso de Pesquisa e Inovação da rede Nordeste de Educação Tecnológica, V, 2010**, Alagoas. **Comunicação**. Alagoas: Instituto Federal de Alagoas, 2010. Disponível em: congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/view/1453/548. Acesso em: março 2017.

ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE IMPACTOS – IAIA. **Avaliação de Impactos Sociais**. Princípios Internacionais. Ed. Especiais 2, mar. 2003. Disponível em: [https://www.iaia.org/uploads/pdf/SP2\\_pt\\_1.pdf](https://www.iaia.org/uploads/pdf/SP2_pt_1.pdf). Acesso: em março 2017.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO - BID. **Sumário Executivo: Documento-Base para Subsidiar os Diálogos Estruturados sobre a Elaboração de uma Estratégia de Implementação e Financiamento da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil ao Acordo de Paris**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/ndc/sumario\\_executivo\\_2017.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/clima/ndc/sumario_executivo_2017.pdf)>. Acesso em: 4 de abr. de 2017.

BARBIERI, C.C.T. **Estudos de misturas de carvões e biomassa visando a combustão em alto-forno**. Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Metalurgia e Minerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2013.

BARCELLOS, D.C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. Tese. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2007.

BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T.Z. do. O Estéreo. **Metrvim (on-line)**. Disponível em: [www.fflch.usp.br/dl/semiotica/es/esse-ref-biblio.pdf](http://www.fflch.usp.br/dl/semiotica/es/esse-ref-biblio.pdf). Laboratório de Métodos Quantitativos do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ, Universidade de São Paulo, n. 2, São Paulo, out. 2000.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna smith* sob o efeito do espaçamento e da fertilização**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2000. BLANKEHORN, P.R. et al. Porosity and pore size distribution of black-cherry carbonized in an inert atmosphere. **Wood Science**, v.11, n. 1, p.23-9, jul. 1978.

BRAGA, R.N.B. Os parâmetros de qualidade do carvão vegetal e seus reflexos na produção de gusa. In: **Reunião técnica Integração Florestal-Siderurgia**, Belo Horizonte. **Trabalho**. Belo Horizonte: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1979.

BRASIL. Lei nº 12114 de 09 de dezembro de 2009. Cria o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima, altera os artigos 6º e 50 da Lei nº 9478, de 06 de agosto de 1997, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal, 10 dez. 2009. Seção 1, p. 9.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12187 de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, Distrito Federal, 29 dez.2009. Seção 1, p. 109.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/component/k2/item/195-efeito-estufa-e-aquecimento-global>>. Acesso em: 3 de abr. 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia: sumário executivo. Brasília, 2010.

BRITO, J.O. **Reflexões sobre o carvão vegetal para uso siderúrgico**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, fev. 1993 (IPEF – Circular Técnica n. 181).

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E. **Correlações entre características físicas e químicas da madeira e produção de carvão vegetal: I**. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto, Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1977 (IPEF – Circular Técnica n. 14, p. 9-20).

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; MURAMOTO, M.C.; COUTO, H.T.Z. **Estimativa da densidade a granel do carvão vegetal a partir da densidade aparente**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, out. 1982 (IPEF – Circular Técnica n. 150).

CAVALIERO, C.K.N.; JANUZZI, G.M. A injeção de combustíveis auxiliar em alto-forno como medida de redução de emissão de CO<sub>2</sub> do segmento siderúrgico nacional: estudo de caso na Acesita e Cosipa. In: **Seminário de Energia, XXI Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades**, Vitória. **Trabalho**. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1999.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Modernização da produção de carvão vegetal**: Subsídios para revisão do Plano Siderurgia – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015.

\_\_\_\_\_. Nota técnica A do TR: **Diagnóstico da eficiência da conversão de biomassa de madeira em carvão**. Subsídios 2014 ao Plano Siderurgia do MDIC: Modernização da Produção de carvão vegetal. Contrato Administrativo CGEE/MDIC 49/2013. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2014.

\_\_\_\_\_. **Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico**: Caderno de Informações de Base – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008.

CHAVES, A. M. B.; VALE, T. A.; MELIDO, P.C.N.; ZOCH, P.V. Características energéticas da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, v.9, n. 17, p. 533. 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/CARACTERISTICAS%20ENERGETICAS.pdf>. Acesso em: março 2017.

COLOMBO, S.F.O.; HATAKEYAMA, K.; PILATTI, L.A. O custo de produção como fator determinante do futuro da produção artesanal de carvão vegetal no Brasil. **XIII SIMPEP**. Bauru, São Paulo, 6-8 nov, 2006.

DONATO, D.B.; SILVA, C.M.S.; MAGALHAES, M.A.; JÚNIOR, C.A.A.J.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R. Propriedades de briquetes obtidos de carvão vegetal. **Revista Ciência da Madeira**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, Capa, v.6, n. 2. 2015.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC. Experiência em escala de laboratório para determinar a influência da idade, umidade e temperatura de carbonização sobre propriedades do carvão. **Relatório de projeto CETEC-SPT-1**, Belo Horizonte, 1979. FUNDOS ESTRUTURAIS - FEDER; FUNDOS DE COESÃO; ISPA. **Manual de análise de custos e benefícios dos projectos de investimentos**. 2003

FELIPETTO Adriana Vilela Montenegro. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, aplicado a resíduos sólidos**. Conceito, planejamento e oportunidades. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

FIGUEREIDO, N.J.V.; BARBOSA, R.M. **Carvão vegetal**: Aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. São Paulo: Instituto de Eletrônica e Energia da Universidade de São Paulo. Centro de Referência Nacional em Biomassa, 2008 (Nota Técnica X).

FONSECA, D.M. **Avaliação de risco da produção de carvão vegetal em propriedades rurais no Alto-Jequitinhonha**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias. Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri. Faculdade de Ciências Agrárias, Diamantina, 2013.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1983 (Comunicação Técnica, n.179, p.1-6).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2015**.

LANA, Guilherme Carvalho. **Efeito da dimensão de toras no processo de colheita florestal e seus impactos no custo e na qualidade do carvão vegetal**. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

LOPES, C.R. **Caracterização física, química e energética de biomassa e seus carvões para injeção em altos-fornos**. Tese. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2010.

LUCENA, D.A.; MEDEIROS, R.D.A.; FONSECA, U.T.; ASSIS, P. S. Aglomeração de moinha de carvão vegetal e sua possível aplicação em alto-forno e geração de energia. **Tecnologia em Metalurgia e Materiais**. São Paulo, v.4, n.4, p. 1-6, jun. 2008.

MACIEL A.S.; ANDRADE, A.M.; ALBUQUERQUE, C.E.C. Procedimentos para extração e utilização de fenóis do alcatrão vegetal na produção de adesivos fenólicos. **Brazilian Journal of Forestry and Environment**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, vol. 3, ed. única, jan. /dez. 1996.

MENDES, T.F. **Estratégias para organização da cadeia produtiva do carvão vegetal para siderurgia em Minas Gerais**. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa. 2013.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B.L.C.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.431-439, set. 2010.

OLIVEIRA, A. C.; SALLES, T.T.; PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; BRAGA, C.S.; SANTOS, R.C. Viabilidade econômica da produção de carvão vegetal em dois sistemas produtivos. **Floresta**. Curitiba, Paraná, v. 44, n.1, p.143-152, jan./mar.2014.

OLIVEIRA, A.L.S.; JUNIOR, W.P.S.; LIMA, V.O.B. Correlações entre a densidade básica da madeira e propriedades físicas e químicas do carvão vegetal. In: **1º Seminário de Iniciação Científica e 1º Mostra de Trabalhos Científicos do IFNMG**, 2012. Salinas: IFNMG, 2012.

OLIVEIRA, J.B.; MENDES.; M.G.; GOMES, P.A. Carbonização da madeira, modelo físico e influência das variáveis de processo. **ABM – Boletim da Associação Brasileira de Metais**, v.40, n.319, p.315-319, jun.1984.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **Portfólio dos projetos do PNUD Brasil à luz dos objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2016. Disponível em: [file:///C:/Users/T%C3%BAlio/Downloads/undp-br-Portfolio-ODS-PNUD\\_ArquivoCompleto.compressed.pdf](file:///C:/Users/T%C3%BAlio/Downloads/undp-br-Portfolio-ODS-PNUD_ArquivoCompleto.compressed.pdf). Acesso em: março 2017.

PALOMARES, Y.Y.G. **Reatividade comparativa do coque, carvão mineral, carvão vegetal e coque verde de petróleo**. Dissertação. Departamento de Engenharia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2011.

PORTAL CONTABILIDADE. Disponível em: <http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>. Acesso em: março 2017.

RAAD, T.J. **Simulação do processo de secagem e carbonização do *Eucalyptus* spp.** Tese. Departamento de Engenharia de Mecânica da UFMG, Belo Horizonte. 2004.

ROSS, S; WESTERFIELD, R; JORDAN, B. **Princípios de Administração Financeira**; Trad. Antonio Zoratto Sanvicente. São Paulo: Atlas, 1998.

SALIERNO, G.F. **Sistema de monitoramento do desempenho dos altos-fornos a carvão vegetal**. Monografia. Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto. 2007.

SAMPAIO, R.S. **Uso de carvão vegetal em mini altos fornos**. Situação atual com tendências 2025. Nota técnica. Centro de Estudos e Gestão Estratégica. 2008.

SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do cerrado carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. Dissertação. Universidade Federal de Brasília, Brasília. 2008.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; TRUGILHO.; P.F.; MENDES, L.M.; CARVALHO, A.M.M.L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**. V. 18, nº 1. Lavras. Jan/mar.2012.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SIF. **Guia de Financiamento Florestal:2016/Serviço Florestal Brasileiro**, Ministério do Meio Ambiente – Brasília: MMA, 2016.

SÈYE, O. **Influência da temperatura de carbonização do eucalipto nas propriedades do carvão vegetal produzido**. Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 1998.

SILVA, M.M.; MACHADO, G.O. Teor de Umidade da madeira e rendimento gravimétrico do carvão de cinamomo ( *Melia azedarach* L.). X Encontro Anual de Iniciação Científica – EAIC X Encontro de Pesquisa – EPUEPG. **Anais do X EAIC** – 20 a 2 de outubro de 2011, UEPG, Ponta Grossa – PR.

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES – SI. **1ª edição brasileira da 8ª edição do BIPM**. Inmetro. Rio de Janeiro. 2012

SILVA, D.A, Brito, J.O. Qualidade do carvão vegetal de madeiras amazônicas. **Acta amazônica**, 19. Pg. 525-530. 1989.

SILVA, J. N. S. **Siderurgia**. Belém: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará: Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

SILVA, M.M.; MACHADO, G. O. Teor de umidade da madeira e rendimento gravimétrico do carvão de cinamomo (*Melia azedarach*). X Encontro Anula de Iniciação Científica – EAIC. X Encontro de Pesquisa – EPUEPG. **Anais do X EAIC** – 20 a 2 de outubro de 2011, UEPG, Ponta Grossa – PR. Universidade Estadual do entro Oeste - Departamento de Engenharia Florestal – Campus Irati – PR. 2011 a

SILVEIRA, C. Martorelli da. **Influência do extrato pirolenoso no desenvolvimento e crescimento de plantas de milho**. Tese. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2010.

TACCINI, M.M. **Estudo das Metodologias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, referents à avaliação de emissões de gases de efeito estufa na produção de carvão vegetal**. Dissertação. Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.

*THE WORD BANK. A User's Guide to Poverty and Social Impact Analysis*. 2003.

THOMAZ et al. Poder calorífico da madeira e do carvão vegetal: lignina e carbono fixo como determinantes. Embrapa. 2007. **Anais de Congresso**. Evento de Iniciação Científica da Embrapa. Florestas, 6, 2007. Colombo. Anais. Colombo: Embrapa Florestas. 2007.

THONSEN, E.P. da R. **Controle do processo de produção do alto-forno por meio de técnicas estatísticas multivariadas em tempo real**. Dissertação. Estatística, Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2005.

UNITED NATION FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **ACM0021:** *Reduction of emission from charcoal production by improved kiln design and/or abatement of methane: version 01.0.0. 2012.* Disponível em [cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved](http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved). Acesso em: fevereiro de 2017.

UNITED NATION FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. **AM0041:** *Mitigation of methane emissions in the wood carbonization activity for charcoal production: version 01.2006. 2006.* Disponível em <https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/B2SCH5WZLQYHTVSHQ4BIADM CBQ1P9U>. Acesso em: março 2017.

## ANEXO - Nota Técnica 1

### Métodos e normas de medição de indicadores de qualidade do carvão vegetal

Pelos estudos referenciados, afirma-se que o meio acadêmico está medindo indicadores de qualidade do carvão vegetal, segundo métodos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT que é o “Foro Nacional de Normatização por reconhecimento da sociedade brasileira desde a sua fundação, em 28 de setembro de 1940, e confirmado pelo governo federal por meio de diversos instrumentos legais” (ABNT, 2012).

Pela experiência do Autor, assume-se que algumas empresas do setor siderúrgico estejam avaliando indicadores de qualidade do carvão vegetal, também segundo as normas da ABNT.

Afirma-se, por outro lado, que algumas empresas utilizam métodos adaptados das normas ABNT. Um exemplo de adaptação da norma é a utilização de amostras de discos de madeira ao invés de amostras cavacos, como prescreve a norma para obtenção da umidade e densidade da madeira. A adaptação é feita pelo fato de ser mais fácil obter discos do que cavacos para as amostras a serem analisadas.

Há casos em que as empresas usam métodos fundamentados por princípios científicos, mas que não são normatizados. É o caso da obtenção da densidade do carvão vegetal pelo método de imersão na água, a chamada “Densidade de Arquimedes”. Segundo este princípio, o volume de água deslocado por um sólido irregular, no caso uma peça de carvão vegetal, é exatamente igual ao volume do próprio sólido (Montanheiro, 1990). O método é utilizado pelo fato de ser feito na própria unidade de produção de carvão, sem necessidade de laboratório.

O fato é que várias das normas ABNT que estão sendo usadas pelo meio acadêmico e supostamente pelo setor siderúrgico foram canceladas. O cancelamento não quer dizer que as normas estejam erradas, não continuem se prestando às medições ou que não possam ser usadas. Mas quer dizer que não podem mais ser consideradas canceladas pela ABNT.

As normas canceladas que se relacionam ao processo de carbonização são:

**ABNT 8112: 1986** - Carvão vegetal. Análise imediata, para a determinação dos teores de umidade, cinzas, matérias voláteis e carbono fixo.

**ABNT 9165: 1985** - Determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade. Método de ensaio.

**ABNT 7416:1984** – Carvão vegetal. Determinação de índice de quebra.

**ABNT 8633:1984** -Determinação do poder calorífico, prescrevendo o método de determinação do poder calorífico superior do carvão vegetal a volume constante, em uma bomba calorimétrica, adiabática, isotérmica ou estática.

**ABNT 6922:1981** – Determinação de massa específica (densidade a granel), ditando o método de determinação da massa específica do carvão vegetal como recebido.

**ABNT 6923:1981** – Carvão vegetal. Amostragem e Preparação da Amostra, para definir os procedimentos de coleta e preparação de amostras para realização de ensaios de caracterização de carvão vegetal.

De acordo com informações obtidas junto à ABNT, normas são canceladas de forma periódica, uma vez que a validação precisa ser periodicamente revista pelo setor interessado, no caso o siderúrgico. Quando não há esta revisão, a norma é cancelada e não é revalidada até que o setor se pronuncie.

Observa-se que as datas de publicação das normas canceladas variam entre os anos de 1981 a 1986, portanto, há casos em que as normas foram feitas há 35 anos e canceladas há apenas dois anos. Segundo a ABNT, preconiza-se que as normas sejam revistas a cada cinco anos.

Registra-se que é necessária mais pesquisa para averiguar se existe alguma mobilização do setor, em andamento no comitê siderúrgico da ABNT para revalidação das normas canceladas.

Foi elaborada uma norma, a NBR 16409 de 2015, sob a responsabilidade do comitê “Produção Sustentável de Ferro-gusa a carvão vegetal”. A leitura da norma evidencia que foram prescritas diretrizes de caráter geral para a produção do ferro-gusa. Não há, na norma referenciada, orientações quanto à medição de parâmetros ou indicadores de qualidade do carvão vegetal.

A revisão bibliográfica realizada para a construção da metodologia de avaliação das cadeias produtivas de carvão vegetal, de fato, registrou uma lacuna em termos de crítica aos métodos de medição adotados pelo setor siderúrgico para avaliar indicadores de qualidade do carvão vegetal, apesar de, como citado, haver a indicação de que estudos desta natureza sejam oportunos.

Nas palavras de Barcellos (2007), “apesar de o carvão vegetal constituir-se uma matéria-prima de grande importância para a siderurgia brasileira, muito pouco se fez para padronização dos testes que permitissem distinguir carvões com diferentes características...”

“São poucas as normas de procedimentos de controle de qualidade de carvão vegetal, objetivando a padronização de tais procedimentos. Grande parte das normas existentes foi adaptada de normas para o carvão mineral. É comum verificar discrepâncias bem acentuadas entre ensaios realizados por empresas ou instituições. Na maioria dos casos, as diferenças se devem à utilização de procedimentos não normatizados, apesar da existência das normas da ABNT e ASTM” (Barcellos, 2007). *American Society for Testing and Materials - ASTM* é o foro de normatização técnica dos Estados Unidos.

Tendo em vista o exposto, a recomendação é que a medição dos valores de referência dos indicadores de qualidade do carvão vegetal, e dos parâmetros da madeira, a serem usados na metodologia proposta para avaliação das cadeias produtivas do carvão vegetal seja feita pelos laboratórios das Universidades Federal de Lavras - UFLA e Universidade Federal de Viçosa- UFV. Ambas possuem laboratórios para análise de madeira e carvão vegetal.

De fato, ainda que houvesse uma padronização das normas de medição de indicadores usados pelo setor siderúrgico, as medições dos resultados dos testes aos quais as tecnologias serão submetidas teriam que ser feitas em laboratórios especializados, a fim de serem idôneos e acreditados.

Adicionalmente, sugere-se que a Comissão de Carvão Vegetal Sustentável analise a pertinência de catalisar um diálogo entre os setores siderúrgico e acadêmico buscando revalidar as normas da ABNT que dizem respeito à medição dos indicadores de qualidade do carvão vegetal.