

## **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 Produtivas do Carvão Vegetal para uso no setor de ferro-gusa, aço e ferroligas no Brasil**

**PRODUTO 4 - Propostas para melhoria da sustentabilidade e do desempenho da produção de carvão vegetal renovável para o setor de ferro-gusa, aço e ferroligas brasileiro, com especial foco no estado de Minas Gerais**

DATA: abril de 2018.

*Túlio Jardim Raad*

*Engenheiro Mecânico, Dr.*

# Sumário

1 - INTRODUÇÃO .....	4
2 - Propostas para melhoria da sustentabilidade e do desempenho da produção de carvão vegetal renovável para o setor de ferro-gusa, aço e ferroligas brasileiro, com especial foco no estado de Minas Gerais.....	6
2.1. Restrições e barreiras técnicas.....	6
2.1.1. Rendimento Gravimétrico.....	6
2.1.1.1 Forno de alvenaria circular.....	7
2.1.1.2 Fornos de alvenaria retangulares.....	8
2.1.1.3. Fornos metálicos e híbridos .....	11
2.2. Restrições e barreiras ambientais.....	12
2.2.1. Capacidade de redução de emissão de gás metano (CH <sub>4</sub> ).....	12
2.2.1.1. Forno de alvenaria circular e retangular .....	12
2.2.1.2. Fornos metálicos e híbrido.....	12
2.2.2. Capacidade de recuperação de gases condensáveis .....	13
2.2.2.1. Forno de alvenaria retangular.....	13
2.2.2.2. Fornos metálicos e híbrido.....	15
2.3. Restrições e barreiras sociais .....	17
2.3.1 Aumento da inclusão social de mulheres /Diminuição da desigualdade de gênero. ....	17
2.3.1.1. Fornos de alvenaria circular .....	17
2.3.1.2. Fornos de alvenaria retangulares, tecnologias metálicas e híbrida.....	18
2.3.1.3. Consideração adicional quanto a qualificação dos trabalhadores.....	19
2.4. Restrições e barreiras financeiras .....	19
3. Conclusão .....	23
4. Referências Bibliográficas .....	25

# 1 - INTRODUÇÃO

As propostas para melhoria da sustentabilidade e do desempenho da produção de carvão vegetal renovável para o setor de ferro-gusa, aço e ferroligas brasileiro, com especial foco no estado de Minas Gerais foram elaboradas tendo em vista os produtos 2 e 3 da presente consultoria.

O Produto 2 analisou o estado da arte de cadeias de produção de carvão vegetal; o Produto 3 analisou comparativamente o estado da arte das tecnologias utilizadas para produção de carvão vegetal.

As análises abarcaram os âmbitos técnico, ambiental, econômico e social.

No âmbito técnico, foram avaliadas e comparadas as quantidades de carvão vegetal produzido por cada tecnologia em termos de rendimento gravimétrico. Quanto maior o rendimento gravimétrico, melhor o desempenho da tecnologia, sendo que a faixa a ser alcançada situa-se entre 30 % a 40%.

No contexto ambiental, foram avaliadas e comparadas as capacidades de as tecnologias reduzirem a emissão de gás metano ( $\text{CH}_4$ ), sendo que quanto maior o rendimento gravimétrico, menor a emissão.

Ainda no âmbito ambiental, foram avaliadas e comparadas as capacidades de as tecnologias recuperarem coprodutos do processo de carbonização, quais sejam, líquido pirolenhoso e alcatrão vegetal. No caso, não foram definidos valores para a avaliação, uma vez que os números dependem de cada tecnologia.

Em termos econômicos, as viabilidades das tecnologias foram avaliadas e comparadas pelo método do Fluxo de Caixa Descontado - FDC. Nesse sentido, foram observados o Tempo de retorno do investimento - *Payback*; a Taxa interna de retorno -TIR; a Taxa mínima de atratividade – TMA e o Valor presente líquido – VPL.

No campo social, foram avaliados e comparados os impactos relacionados à inclusão social, geração de renda e diminuição das desigualdades de gênero referentes a cada tecnologia de produção de carvão vegetal.

Para cada um dos âmbitos analisados, técnico, ambiental, econômico e social foram apontadas restrições e barreiras que dificultam ou impedem as tecnologias de alcançar melhores avaliações.

Nessa direção, o Produto 4 da presente consultoria foi elaborado tendo em vista propor melhorias para que as tecnologias alcancem avaliações que resultem em maior sustentabilidade e melhor desempenho das cadeias de produção de carvão vegetal.

Em termos técnicos, foram propostas melhorias para mitigar as restrições e barreiras que impedem a adoção do uso de sistemas de controle da temperatura do processo de carbonização em fornos de alvenaria circulares e retangulares, visando o aumento do rendimento gravimétrico.

No âmbito ambiental, foram indicadas sugestões para reduzir as restrições e barreiras que impossibilitam o aumento do rendimento gravimétrico e consequente redução das emissões de gás metano.

Ainda no campo ambiental, foram feitas sugestões para possibilitar a instalação de sistemas de condensação dos gases resultantes do processo de carbonização, objetivando a recuperação de coprodutos.

Tratando da análise econômica, foram sinalizadas recomendações para implantação de sistemas de controle de processo de fornos tipo circulares de alvenaria e implantação de cadeia de produção de bio-óleo para as tecnologias de fornos retangulares e híbrido Sistema Veredas.

Finalmente quanto a avaliação social, foram norteadas ideias para aumentar a inclusão social das mulheres e reverter o viés de gênero existente na atividade de produção de carvão vegetal.

## 2 - Propostas para melhoria da sustentabilidade e do desempenho da produção de carvão vegetal renovável para o setor de ferro-gusa, aço e ferroligas brasileiro, com especial foco no estado de Minas Gerais

O objetivo do produto 4 da presente consultoria é propor soluções de melhorias para minimizar ou superar as restrições e barreiras técnicas, ambientais, econômicas e sociais identificadas nas tecnologias de produção de carvão vegetal e que dificultam ou as impedem de alcançar melhores índices de avaliação em termos de sustentabilidade e desempenho.

As melhorias foram propostas tendo em vista cada grupo de tecnologias:

- Fornos de alvenaria circulares e retangulares;
- Fornos metálicos e híbrido.

Cabe ressaltar que, no âmbito do presente produto 4, não foram propostas melhorias para as restrições e barreiras técnicas que ultrapassavam o âmbito do Projeto Siderurgia Sustentável, como foram os casos de:

- Inexistência de energia elétrica em localidades onde estejam instaladas as plantas de carbonização;
- Criação de padrões de qualidade para normatizar a produção e comercialização do bio-óleo.

### 2.1. Restrições e barreiras técnicas

Em termos técnicos, o principal índice de avaliação da sustentabilidade e do desempenho das cadeias de produção de carvão vegetal é o rendimento gravimétrico<sup>1</sup>.

#### 2.1.1. Rendimento Gravimétrico

Maior rendimento gravimétrico vai significar maior sustentabilidade e desempenho das cadeias de produção de carvão vegetal, devido a maior conversão de madeira seca em carvão vegetal e menor emissão de CH<sub>4</sub>.

---

<sup>1</sup> Rendimento Gravimétrico 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”.

### 2.1.1.1 Forno de alvenaria circular

O meio de aumentar o rendimento gravimétrico dos fornos de alvenaria circulares é a instalação de sistemas periféricos para controle do processo de carbonização, em substituição ao controle visual e empírico realizado pelo carbonizador. O uso do sistema periférico contribuiria para aumentar o rendimento de 26% para 33%. No entanto, existem restrições e barreiras à essa adoção, que serão descritas a seguir.

#### ***Restrição ou barreira 1: não aceitação ou descrença do carbonizador nos sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização***

A não aceitação ou descrença do carbonizador na adoção do uso de sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização constitui uma das principais restrições e mesmo barreira para o aumento do rendimento gravimétrico.

De um modo geral, existe organização dos carbonizadores contra a entrada de novas práticas de produção de carvão vegetal.

O treinamento do carbonizador nas novas práticas de produção de carvão vegetal, de um modo geral, não surte efeito positivo uma vez que esse trabalhador ocupa a mais alta hierarquia nas cadeias de produção que usam fornos de alvenaria circulares para a produção do carvão vegetal. O uso de periféricos pode contribuir para a diminuição de poder sobre a cadeia de produção do carvão vegetal, pois o processo de carbonização passa a não ser mais controlado por ele.

Adicionalmente, pelo fato de os carbonizadores não serem alfabetizados, em geral, não apresentam habilidades básicas de leitura, requeridas para operação dos sistemas de controle do processo de carbonização.

E, finalmente, existe temor dos carbonizadores em perder seus postos de trabalho, o que é uma realidade, uma vez que a adoção do uso de sistemas periféricos para controle da temperatura dos fornos dispensa a função de carbonizador, nos moldes em que ela é tradicionalmente exercida, utilizando conhecimentos empíricos.

Cabe lembrar que, nos fornos de alvenaria circular a carga da madeira e a descarga do carvão não são mecanizadas. Ainda que sejam implantados sistemas de controle da temperatura em fornos de alvenaria circulares, as funções de carga e descarga da madeira e do carvão vegetal continuam sendo braçais e, eventualmente, até realizada por trabalhadores que também são carbonizadores.

De um modo geral, os carbonizadores, ainda que apenas exercendo a função de forneiro ou mesmo os próprios trabalhadores que atuam como forneiros, organizam-se contra os sistemas de controle do processo de carbonização.

Observa-se que apesar da imagem negativa associada ao uso da força braçal na produção de carvão vegetal, os próprios empreendedores são cautelosos quanto à mecanização dos fornos, pois se sentem responsáveis por garantir o emprego de

trabalhadores, que contam apenas com a força física e a experiência em carbonização empírica para se manterem no mercado de trabalho.

Essa situação é discutida em item específico da presente consultoria, que trata das propostas de melhorias de ordem social para a produção de carvão vegetal.

Ainda que houvesse aceitação, por parte de carbonizadores e forneiros, dos sistemas de controle do processo da carbonização, há uma dissonância entre o elevado esforço tecnológico representado por esses periféricos e a imagem de trabalho análogo à escravidão associada ao uso de força braçal existente, principalmente, nos fornos de alvenaria circulares.

Por causa disso, a presente consultoria não considera promissoras alternativas que apoiem fornos de alvenaria circular, ainda que com sistema para controle da temperatura do processo de carbonização.

**Recomendação de melhoria:**

- Atualizar o setor produtivo brasileiro referente à carbonização, substituindo os fornos de alvenaria circulares por outros tipos de fornos que possibilitem mecanização da carga e descarga do carvão vegetal.
- Atualizar o setor produtivo brasileiro referente à carbonização, incrementando os fornos retangulares com sistemas para controle do processo de carbonização, quando não vierem equipados de fábrica.

**Justificativa:**

Excetuando-se os fornos de alvenaria circulares, todos os outros - retangulares, metálicos e híbrido possibilitam mecanização da carga da madeira e da descarga do carvão vegetal e já possuem ou oferecem melhores condições para implantação de sistemas periféricos com controle do processo de carbonização.

A mecanização e o uso de sistemas para controle do processo de carbonização substituem o trabalho braçal e o acompanhamento empírico e visual da carbonização, situações que restringem ou impedem o aumento do rendimento gravimétrico em fornos de alvenaria circulares.

**Como atuar:**

- Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* a importância de mecanizar a carga da madeira e a descarga do carvão vegetal e de adotar o uso de sistemas periféricos para controle da carbonização, em fornos mecanizados.

**2.1.1.2 Fornos de alvenaria retangulares**

Assim como nos fornos de alvenaria circulares, é possível aumentar o rendimento gravimétrico dos fornos de alvenaria retangulares, por meio da instalação de sistemas

periféricos para controle do processo de carbonização. O uso do periférico contribuiria para o aumento do rendimento gravimétrico de 26% para 33%. Mas também existem restrições e barreiras à essa adoção

***Restrição ou barreira 1: falta de orientação dos empreendedores***

No forno de alvenaria retangular também há resistência dos carbonizadores em aceitar os sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização, como observado em relação ao forno de alvenaria circular.

No entanto, nos fornos de alvenaria retangulares a resistência dos carbonizadores ocorre em menor escala, possivelmente pelo fato de não haver dependência intensiva de mão de obra braçal, uma vez que a carga da madeira e a descarga do carvão vegetal são mecanizadas.

Ainda assim, pesquisa de campo realizada pela presente consultoria permitiu estimar que apenas 20% da produção brasileira de carvão vegetal originária de fornos de alvenaria retangulares conta com sistemas para controle do processo. Esse fato indica que essa tecnologia, do ponto de vista técnico, iguala-se aos fornos de alvenaria circulares, uma vez que também apresenta rendimento gravimétrico de 26%.

Nesse caso, a principal restrição ou barreira na avaliação do consultor, são os próprios empreendedores que são cautelosos, e muitas vezes refratários, à implantação de sistemas periféricos para controle da carbonização, por não terem conhecimento sobre as limitações do monitoramento exercido pelo carbonizador e sobre os impactos que essa limitação exerce sobre o rendimento gravimétrico.

**Recomendação de melhoria:**

- Levar ao conhecimento dos *stakeholders* a importância de adotar o uso de sistemas periféricos para controle da carbonização, em fornos de alvenaria retangulares.

**Justificativa:**

A adoção do uso de sistemas para controle do processo de carbonização substitui o acompanhamento empírico e visual da carbonização, situação que restringe ou impede diretamente o aumento do rendimento gravimétrico em fornos de alvenaria retangulares.

**Como atuar:**

- Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* a importância de adotar o uso de sistemas periféricos para controle da carbonização, em fornos de alvenaria retangulares.

***Restrição ou barreira 2: escassez de engenheiros atuando na produção de carvão vegetal***

É restrito o contingente de empresas que delega a responsabilidade técnica da produção de carvão vegetal a engenheiros.

Em geral, a área é delegada aos chamados supervisores, os quais monitoram as plantas de carbonização baseados em conhecimentos empíricos, que são limitados em termos de aumentar o rendimento gravimétrico.

Cabe ressaltar, contudo, que é escassa a formação dos engenheiros em processo de carbonização, o que contribui para que não haja interesse científico pela área, tanto por parte dos profissionais, quanto dos empreendedores.

**Recomendação de melhoria:**

- Instruir os empreendedores sobre a importância de delegar a produção de carvão vegetal a engenheiros.
- Incentivar a inclusão de formação em carbonização nos cursos de engenharia de produção, florestal e mecânica.

**Justificativa:**

Agregar engenheiros à cadeia produtiva de carvão vegetal substitui o acompanhamento prático, realizado pelos supervisores, e que restringe ou impede o aumento do rendimento gravimétrico em fornos de alvenaria retangulares.

**Como atuar:**

Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* a importância de delegar a produção de carvão vegetal a engenheiros e de incluir formação em carbonização nos cursos de engenharia de produção, florestal e mecânica.

***Restrição ou barreira 3: desinteresse pelo negócio carvão vegetal***

O carvão vegetal não é o *core business* dos produtores de ferro-gusa, ferroligas e aço. Mesmo entre os produtores independentes de carvão vegetal, destaca-se apenas quando está sendo demandado pelo setor siderúrgico, uma vez que a madeira pode ser vendida para outros fins.

Como não é o foco da empresa, a produção de carvão vegetal é relegada pelos empreendedores em termos de negócios, o que acaba por justificar a falta de interesse em aportar investimentos em implantação de sistemas de controle do processo, aquisição de novas tecnologias em carbonização, maquinário e contratação de engenheiros.

Adicionalmente, cabe ressaltar que o preço pago pelo carvão vegetal é definido pelo preço pago pelo ferro-gusa. Portanto, o valor do carvão vegetal é limitado por quanto o negócio siderúrgico pode ou decide pagar.

Nesse sentido, a independência e valorização da produção de carvão vegetal é possível caso haja uma diversificação da cadeia produtiva. Isso pode ser feito com a recuperação e comercialização de coprodutos da carbonização, conforme discutido nas seções adiantes da presente consultoria.

**Recomendação de melhoria:**

- Diversificar a cadeia de produção do carvão vegetal.

**Justificativa:**

Diversificar a cadeia produtiva de carvão vegetal, via recuperação e comercialização de coprodutos da carbonização, pode levar à valorização e independência da produção em relação ao preço que o ferro-gusa paga pelo insumo, recorrentemente insatisfatório.

A valorização da cadeia produtiva e consequente maiores margens de lucros, pode levar os empreendedores a aportarem investimentos em fornos que permitam a mecanização, em máquinas para carga da madeira e descarga do carvão vegetal, na implantação de sistemas de controle da temperatura do processo de carbonização e na contratação de mão de obra qualificada, inclusive engenheiros.

**Como atuar:**

Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* a possibilidade e importância de diversificar a cadeia produtiva de carvão vegetal.

### **2.1.1.3. Fornos metálicos e híbridos**

As tecnologias metálicas e híbrida vêm equipadas de fábrica com sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização, o que aumenta o rendimento gravimétrico, o qual passa a se situar na faixa entre 33% a 38%.

Nesse sentido, caso o setor adote como referência o percentual de rendimento gravimétrico de 30%, como a avaliação mínima recomendada, o rendimento gravimétrico dos fornos metálicos e híbridos é melhor do que o dos fornos circulares e de alvenaria, sem sistema periférico para controle da temperatura do processo de carbonização.

Cabe ressaltar, entretanto, que o rendimento gravimétrico máximo possível para o processo de carbonização é de 38% a 40%.

No entanto, não cabe identificar restrições e barreiras e, portanto, soluções para que as tecnologias metálicas e híbridas apresentem o maior rendimento gravimétrico possível, uma vez que as ênfases de cada uma delas podem ser outras, como por exemplo produção de bio-óleo.

## **2.2. Restrições e barreiras ambientais**

Em termos ambientais, a presente consultoria considerou as capacidades de as tecnologias reduzirem a emissão de gás metano e de recuperarem os gases condensáveis resultantes do processo de carbonização.

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

Maior capacidade de redução de emissão de gás metano significa maior sustentabilidade e desempenho da cadeia de produção de carvão vegetal.

Uma forma de reduzir a emissão de gás metano é através da implantação de sistemas periféricos para queima dos gases resultantes do processo de carbonização.

No entanto, conforme proposto no Produto 1, para avaliar a capacidade de redução de emissão de gás metano, a presente consultoria considerou o rendimento gravimétrico alcançado pela tecnologia. Nesse sentido, quanto maior o rendimento gravimétrico, maior a capacidade de redução de gás metano.

#### **2.2.1.1. Forno de alvenaria circular e retangular**

A principal forma de aumentar do rendimento gravimétrico é através da adoção do uso de sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização.

A adoção desses sistemas periféricos em fornos de alvenaria circulares e retangulares, enfrenta restrições e barreiras as quais, todavia, podem ser minimizadas ou solucionadas.

O sumário dessas restrições e barreiras, bem como das propostas de soluções de melhorias, é descrito no item anterior da presente consultoria, referente à Análise Técnica dos fornos de alvenaria circular e retangular.

#### **2.2.1.2. Fornos metálicos e híbrido**

As tecnologias metálicas e híbrida vêm equipadas de fábrica com sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização, o que aumenta o rendimento gravimétrico, que passa a se situar na faixa entre 33% a 38%.

Nessa direção, as tecnologias metálicas e híbridas apresentam maior capacidade de redução de gás metano, quando comparadas aos fornos de alvenaria circulares e retangulares sem sistema periférico para controle da temperatura do processo de carbonização.

Novamente, não cabe identificar restrições e barreiras e, portanto, soluções para que as tecnologias metálicas e híbridas apresentem a maior capacidade possível de redução de gás metano, uma vez que a ênfase de cada uma delas é atingir o maior rendimento gravimétrico possível, conforme detalhado no Produto 2 e 3 da presente consultoria

## **2.2.2. Capacidade de recuperação de gases condensáveis**

Maior capacidade de redução de recuperação de gases condensáveis resultantes do processo de carbonização significa maior sustentabilidade e desempenho da cadeia de produção de carvão vegetal.

### **2.2.2.1. Forno de alvenaria retangular**

A forma de dotar os fornos de alvenaria retangulares<sup>2</sup> com capacidade de recuperação de gases condensáveis é através da instalação de sistemas de condensação dos gases resultantes do processo de carbonização.

Com a condensação é possível produzir coprodutos da carbonização como o bio-óleo, o qual é potencial substituto de outros óleos de origem fóssil. Decorrente disso, reforça-se a importância ambiental das tecnologias de produção de carvão vegetal apresentarem capacidade de recuperação de gases condensáveis.

Atualmente, salvo exceções, não é possível instalar sistemas de condensação dos gases nas plantas de carbonização que adotam fornos de alvenaria retangulares por restrições e barreiras impostas pelo projeto construtivo ou de infraestrutura.

#### ***Restrição ou Barreira 1: Layout das plantas***

Em termos de projeto construtivo, a maioria das plantas de carbonização que utiliza fornos de alvenaria retangulares, em Minas Gerais, não foram construídas com *lay-out* que possibilite a efetiva canalização dos gases condensáveis e o posicionamento central do condensador, uma vez que os fornos são dispostos de forma paralela uns aos outros.

Para haver efetiva canalização dos gases é preciso que os fornos não estejam dispostos de forma paralela, para evitar longas distancias entre os fornos e o condensador. O tipo de *layout* a ser adotado deve ser previsto tendo em vista cada projeto específico e ser conduzido por engenheiro com formação e experiência em carbonização e produção de bio-óleo.

#### **Recomendação de melhoria:**

- Atualizar o setor produtivo brasileiro referente à carbonização, substituindo o atual *layout* paralelo por outros tipos de *layout* que possibilitem instalação de sistemas de condensação dos gases resultantes do processo.

---

<sup>2</sup> A presente consultoria não considerou fornos de alvenaria circulares, pela justificativa apresentada no item 2.1.1.

**Justificativa:**

A substituição do atual *layout* das plantas de produção de carvão vegetal, o qual posiciona os fornos de forma paralela uns aos outros dificulta ou impede a efetiva canalização dos gases resultantes do processo de carbonização e, portanto, a recuperação dos gases condensáveis para posterior produção de produtos, como o bio-óleo, potencial substituto de outros óleos combustíveis de origem fóssil.

**Como atuar:**

- Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* a importância de projetar as plantas de produção de carvão vegetal que utilizam fornos de alvenaria retangulares com layout que possibilite a canalização dos gases condensáveis do processo de carbonização.

**Restrição ou Barreira 2: Disponibilidade de energia elétrica ou solar**

A implantação de sistema para recuperação dos gases condensáveis nos fornos de alvenaria retangulares demanda energia elétrica para o funcionamento do condensador e dos ventiladores que fazem a exaustão forçada dos gases em direção ao centro da planta.

Várias fazendas onde estão localizadas as plantas de produção de carvão vegetal não contam com rede de energia elétrica.

Uma alternativa à falta de energia elétrica nas plantas de produção de carvão é a implantação de placas solares fotovoltaicas.

Ressalta-se que a cogeração de energia poderia ser uma alternativa apenas para produções de carvão vegetal acima de 5.000 toneladas ao mês (isso se deve ao fato de se ter uma escala mínima acima de um megawatt de potência elétrica para se obter viabilidade econômica), caso de apenas algumas usinas integradas. Como a produção média em Minas Gerais gira em torno do 500 toneladas por mês, a cogeração não foi considerada como proposta de solução no âmbito do presente estudo.

**Recomendação de melhorias**

- Instalar placas fotovoltaicas nas plantas de produção de carvão vegetal que tenham projetos de recuperação de coprodutos da carbonização.

**Justificativa:**

A falta de energia elétrica impede o funcionamento do sistema de recuperação de gases condensáveis, sendo que a disponibilização de redes depende da concessionária, o que pode, eventualmente, não ocorrer. A instalação de placas fotovoltaicas, por outro lado, é uma iniciativa que pode ser tomada pelo empreendedor de forma independente.

**Como atuar:**

Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos desenvolvidos nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* a possibilidade de usar placas fotovoltaicas para o funcionamento de sistemas de recuperação de gases condensáveis.

### ***Consideração adicional sobre o uso de placas fotovoltaicas na produção de bio-óleo***

Consultas feitas em 2018, pela presente consultoria, ao setor de comercialização de placas de energia solar fotovoltaica apresentaram os seguintes valores:

- Custo de implantação das placas = R\$7.500,00/kW de potência;
- Total de horas ano = 24 h/dia x 365 dias/ano = 8760 h/ano
- Insolação (horas de sol pico) variando entre 1300 a 2200 horas = média anual = 1750 h
- Como isso tem-se a eficiência de:  $EF = 1750 \text{ h} / 8760 \text{ h} \times 100 = 20\%$ . Ou seja, para cada 1 kW de consumo, será necessária a instalação de 5 kW de potência de placas fotovoltaicas.

Para uma produção de carvão vegetal de 500 toneladas mês, estima-se uma produção de 120 toneladas de bio-óleo, conforme informado pela empresa Bioware, detentora de tecnologia de recuperação das fumaças da carbonização. Para essa produção de bio-óleo a empresa também afirma que são necessários 4 kW de potência.

Assim, o investimento estimado necessário para atender o exemplo acima é de:

- 4 kW de potência / 20% (EF) X R\$7.500/kW = R\$150.000 para 120 t/mês de bio-óleo.
- Considerando-se um valor de mercado de R\$500/t (30% do valor do óleo BPF), tem-se um faturamento de R\$60.000/mês adicionais à cadeia de produção do carvão vegetal. Esse resultado representa 2,5 meses de tempo de retorno de investimento no item de energia solar fotovoltaica, o que demonstra que a instalação das placas é viável economicamente.

### **2.2.2.2. Fornos metálicos e híbrido**

As tecnologias metálicas não vêm equipadas de fábrica com sistemas periféricos para recuperação dos gases condensáveis resultantes do processo de carbonização, mas apresentam possibilidade de instalação de sistemas de condensação.

Nesse sentido, barreiras relacionadas ao incremento das tecnologias metálicas e híbridas com sistemas periféricos para recuperação dos gases condensáveis, resultantes do processo de carbonização, é a necessidade de energia elétrica, descrito no item anterior e, principalmente, fatores ligados ao desenvolvimento de produto e mercado, destacado no ponto a seguir.

### ***Restrição ou barreira 1: Desenvolvimento do Produto***

A condensação dos gases condensáveis resultantes do processo de carbonização resulta no líquido pirolenhoso e no alcatrão vegetal.

Para que os condensados se transformem em bio-óleo é necessário esforço do produtor de carvão vegetal no desenvolvimento de um produto de qualidade.

O desenvolvimento de um produto de qualidade, por sua vez, depende da realização de parcerias entre potenciais produtores de bio-óleo e empresas que estejam dispostas a experimentar o combustível em seus processos que utilizam óleos de origem fóssil, como por exemplo fornos de produção de cimento e termoelétricas.

**Recomendação de melhoria:**

- Desenvolver parcerias entre potenciais produtores de bio-óleo e empresas que utilizam óleos de origem fóssil como combustível.

**Justificativa:**

A forma de desenvolver a qualidade do bio-óleo é testando o produto em potenciais consumidores, ou seja, empresas que usam óleos de origem fóssil como combustível. Um potencial consumidor de bio-óleo são as cimenteiras.

**Como atuar:**

- Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* sobre a necessidade de articularem parcerias entre potenciais produtores de bio-óleo e empresas consumidoras de óleos combustíveis de origem fóssil.
- Incentivar iniciativas que testem o uso o produto renovável.

***Restrição ou barreira 2: Falta de conhecimento***

A maioria dos empreendedores do setor siderúrgico a carvão vegetal desconhece, em maior ou menor grau, as possibilidades de:

- Recuperação dos gases condensáveis resultantes do processo de carbonização;
- Produção de coprodutos da carbonização com os gases recuperados: ácido pirolenhoso, alcatrão vegetal ou bio-óleo;
- Comercialização dos coprodutos da carbonização.

**Recomendação de melhoria:**

Levar ao conhecimento dos stakeholders as possibilidades de recuperação dos gases condensáveis e de produção e comercialização dos produtos resultantes.

**Justificativa**

O conhecimento sobre recuperação dos gases condensáveis da carbonização e potencial produção e comercialização dos produtos resultantes pode despertar interesse dos empresários nessa possibilidade.

**Como atuar:**

Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, com vistas a levar ao conhecimento dos *stakeholders* informações sobre recuperação dos gases condensáveis e de produção e comercialização dos produtos resultantes desse processo.

**2.3. Restrições e barreiras sociais**

Em termos sociais, a presente consultoria considerou as capacidades de as tecnologias aumentarem a inclusão social de mulheres e, em consequência, reduzirem desigualdade de gênero.

**2.3.1 Aumento da inclusão social de mulheres /Diminuição da desigualdade de gênero.**

Maior capacidade de inclusão social de mulheres e de diminuição de desigualdade de gênero significa maior sustentabilidade social da cadeia de produção de carvão vegetal.

**2.3.1.1. Fornos de alvenaria circular**

A cadeia produtiva de carvão vegetal que utiliza fornos de alvenaria circulares sem mecanização ou com mecanização parcial oferece oportunidades de emprego para trabalhadores rurais, homens e sem educação formal, inclusive não alfabetizados, através das funções de forneiro e carbonizador.

O forneiro é responsável pela carga e descarga do forno, utilizando força braçal. O carbonizador é responsável pela condução do processo de carbonização, utilizando conhecimentos empíricos.

***Restrição ou barreira 1: Exigência de elevado esforço físico e ocorrência de periculosidade para o desempenho da função de forneiro; preconceito contra o emprego de mulheres na função de carbonizadora.***

A função de forneiro não oferece inclusão social de mulheres e, portanto, favorece ocorrência de desigualdade de gênero. Possíveis justificativas associam a exclusão das mulheres ao grande esforço físico e periculosidade existentes na função, além da exposição dos trabalhadores ao contato direto com a poeira do carvão vegetal, no interior dos fornos.

A função de carbonizador também não oferece inclusão social de mulheres, apesar de não exigir esforço físico, não apresentar periculosidade e nem expor os trabalhadores ao contato direto com a poeira.

Como mencionado no Produto 2, segundo Timóteo (1999), os carbonizadores consideram o seu cargo como “de confiança”, a função mais especializada, profissionalizada e de maior prestígio dentro da atividade carvoeira.

Uma possível justificativa para haver exclusão das mulheres da função de carbonização é o fato de que por ser a tarefa crucial à produção de carvão vegetal a condução do forno é reservada aos homens.

Nos fornos mecanizados e monitorados por sistemas periféricos para controle da temperatura do processo de carbonização as mulheres podem ocupar a função do forneiro, uma vez que o trabalho braçal é substituído por máquinas. E, também, podem ocupar a função do carbonizador, já que o trabalho de monitorar o processo de carbonização é feito por sistemas periféricos.

**Recomendação de melhoria:**

- Substituir os fornos de alvenaria circulares por outros tipos de fornos que possibilitem a mecanização da carga da madeira e da descarga do carvão vegetal e que sejam implementados com sistemas para controle da temperatura do processo de carbonização.
- Levar ao conhecimento dos stakeholders a necessidade de oferecer oportunidades de trabalho às mulheres na função de operadora de carbonização.

**Justificativa:**

A substituição dos fornos de alvenaria circulares por outros tipos de fornos que possibilitem a carga da madeira e a descarga do carvão vegetal e que sejam monitorados por sistemas periféricos para o controle da temperatura do processo de carbonização é potencialmente favorável à inclusão social de mulheres e consequente diminuição das desigualdades de gênero existente na produção de carvão vegetal.

**Como atuar:**

- Compartilhar informações desenvolvidas no âmbito do Siderurgia Sustentável, através dos estudos elaborados nas consultorias contratadas pelo Projeto, levando, assim, ao conhecimento dos *stakeholders* a associação positiva que existe entre a mecanização da carga da madeira e da descarga do carvão vegetal, da adoção do uso de sistemas periféricos para controle da carbonização em fornos mecanizados, e da inclusão de mulheres no processo de carbonização.

**2.3.1.2. Fornos de alvenaria retangulares, tecnologias metálicas e híbrida.**

Nas cadeias de produção de carvão que utilizam fornos de alvenaria retangulares com sistema periférico metálicos e híbrido a função de forneiro é substituída pela de operador de máquina e a de carbonizador pelo de operador de carbonização.

Nesse sentido, a cadeia produtiva de carvão vegetal que utiliza fornos de alvenaria retangulares, metálicos e híbrido oferece oportunidades de emprego para trabalhadores rurais, homens e mulheres, com conhecimentos equivalentes ao ensino

fundamental completo ou médio, uma vez que as funções de operador de máquinas e de carbonização exigem habilidade em leitura.

Portanto, barreiras e restrições envolvendo inclusão social de mulheres e diminuição de desigualdades de gênero são minimizadas nos fornos de alvenaria retangulares com sistemas periféricos para o controle da temperatura do processo de carbonização e nos fornos metálicos e híbrido.

Ressalta-se que emprego de mulheres como operadoras de carbonização já é observado, na prática, pela presente consultoria, sobretudo, nos fornos de alvenaria retangulares com sistemas para controle da temperatura do processo de carbonização, embora não tenha sido encontrada referência acadêmica para corroborar as observações experimentais.

### **2.3.1.3. Consideração adicional quanto a qualificação dos trabalhadores**

A proposta de melhoria “Substituir os fornos de alvenaria circulares por outros tipos de fornos que possibilitem a mecanização da carga da madeira e da descarga do carvão vegetal e que sejam implementados com sistemas para controle da temperatura do processo de carbonização” tem o potencial de modificar o atual perfil dos trabalhadores hoje ocupados na cadeia de produção de carvão vegetal.

Atualmente, pelo fato de a cadeia de produção de carvão vegetal utilizar hegemonicamente fornos de alvenaria circulares, a maior força de trabalho é representada por homens, trabalhadores rurais, sem educação formal, inclusive analfabetos, perfil dos forneiros e carbonizadores.

Esses trabalhadores tendem a perder seus postos de trabalho, à medida que for ocorrendo a substituição dos fornos de alvenaria circulares por outros fornos que sejam mecanizados e monitorados por sistemas periféricos para o controle da temperatura do processo de carbonização, uma vez que as funções demandam educação formal de nível fundamental.

Por causa dessa mudança, a presente consultoria recomenda que o Projeto Siderurgia Sustentável, através de seus stakeholders, notadamente as entidades representativas do setor, estimulem e apoiem seus empregados que hoje trabalham como forneiros e carbonizadores a se alfabetizarem e a obterem qualificação em grau de ensino fundamental, com vistas a se prepararem para novos postos de trabalhos.

## **2.4. Restrições e barreiras financeiras**

Devido a especificidade e maior complexidade da análise econômica das tecnologias de produção de carvão vegetal, a qual envolveu variáveis e dezenas de simulações de cenários, essa seção da presente consultoria é diferenciada das análises técnica, ambiental e social, feitas nos itens anteriores, e foi desenvolvida tendo como base a

Tabela 2: Resultados financeiros comparativos entre o estado da arte das tecnologias e a aplicação de melhorias nas cadeias de produção do carvão vegetal.

Conforme resultados obtidos no produto 3 do presente estudo, denominado “Análise comparativa do estado da arte das tecnologias para produção de carvão vegetal renovável destinado ao setor brasileiro de ferro gusa, aço e ferroligas”, as simulações de análise econômica de várias tecnologias de produção de carvão vegetal mostrou que, das 24 simulações realizadas:

- 14 se mostraram economicamente inviáveis;
- 3 de baixa viabilidade;
- 7 de média a alta viabilidade.

Esse resultado reforça a conclusão que a saída mais factível para se atingir a sustentabilidade técnico-econômica da cadeia de produção de carvão vegetal como um todo, considerando-se o estado da arte e o mercado atual, é via tecnologias modernas e agregando valor às fumaças da carbonização.

Dessa forma, o presente estudo avaliou a viabilidade de se melhorar os resultados econômicos das tecnologias de fornos:

- Tipo retangulares de alvenaria (pequeno, médio e grande porte);
- Tipo híbrido – sistema Veredas.

Dentro das premissas de modernização do setor produtivo de carvão vegetal, os fornos circulares não foram considerados por não permitirem total mecanização do processo de carga de madeira e descarga de carvão vegetal, entretanto, foram feitas simulações de melhoria de rendimento gravimétrico supondo implantação de sistema de controles de processo (temperatura).

Quanto às tecnologias DPC e ONDATEC, a cadeia de bio-óleo não foi considerada no estudo uma vez que elas já utilizam em seus processos, parcialmente ou totalmente, as fumaças obtidas para queima e consequente aumento do rendimento gravimétrico próximo ao valor teórico possível.

As tabelas 1 e 2 apresenta os resultados comparativos obtidos das seguintes simulações:

- Resultados obtidos nas projeções financeiras desenvolvidas no Produto 3 da presente consultoria;
- Resultados obtidos com implantação de sistemas de melhoria de rendimento gravimétrico e/ou uso das fumaças como valor agregado.

Considerando-se os valores de *payback* e VPL obtidos nas duas situações acima para as diversas tecnologias de produção de carvão vegetal estudadas, obtém-se o seguinte quadro comparativo:

Tabela 1 – Resultado da evolução dos estudos econômicos das tecnologias de produção e carvão vegetal

<b>Resultado - Viabilidade Econômica</b>	<b>Estado da Arte atual</b>	<b>Com melhorias propostas</b>
Economicamente inviável	14 cenários	6 cenários
Baixa probabilidade de sucesso	3 cenários	6 cenários
Média a alta probabilidade de sucesso	7 cenários	12 cenários

Observa-se pela Tabela 1 e em detalhes na Tabela 2, como as melhorias podem mudar de forma substancial as probabilidades de sucesso do ponto de vista de sustentabilidade econômica as atuais cadeias de produção de carvão vegetal estudadas.

Tabela 02 – Resultados financeiros comparativos entre o estado da arte das tecnologias e a aplicação de melhorias nas cadeias de produção do carvão vegetal

Tecnologia Avaliada	RG	Preço de Venda do Carvão Vegetal R\$/t.cv	ESTADO DA ARTE			MELHORIAS TECNOLÓGICAS			Tipo de Melhoria Adotada	Análise dos resultados de viabilidade econômica
			Tempo de Retorno (Payback) (anos)	Resultado VPL KR\$	Sucesso na Viabilidade Econômica PROBABILIDADE	Tempo de Retorno (Payback) (anos)	Resultado VPL KR\$	Sucesso na Viabilidade Econômica PROBABILIDADE		
Forno tipo circular com carga e descarga feitos de forma manual	28% p/ 33%	550	10	-6562	Inviável	10,0	-1599	Inviável	Controle de Processo RG de 28% para 33%	A implantação de sistemas de controle de processo (temperatura) melhorou significativamente os resultados desse tipo de tecnologia, que antes eram totalmente inviáveis.
		600	10	-4985	Inviável	6,7	440	Baixa		
		650	10	-3379	Inviável	1,7	2478	Alta		
Forno Tipo Circular – Semi-Mecanizado (carga manual e descarga mecanizada)	28% p/ 33%	550	10	-5786	Inviável	10,0	-1029	Inviável		
		600	10	-4180	Inviável	4,8	1009	Média		
		650	10	-2573	Inviável	1,8	3048	Alta		
Forno Retangular Pequeno com carga e descarga mecanizada	33%	550	10	-3313	Inviável	10,0	-1364	Inviável	Implantação de cadeia de produção de Bioóleo	A implantação de cadeia de produção de bioóleo melhorou significativamente os resultados desse tipo de tecnologia, reduzindo muito a dependência do preço do carvão vegetal
		600	10	-1274	Inviável	7,7	674	Baixa		
		650	7,24	765	Baixa	4,6	2713	Alta		
Forno Retangular Médio com carga e descarga mecanizada	33%	550	10	-2915	Inviável	10,0	-966	Inviável		
		600	10	-876	Inviável	6,8	1073	Baixa		
		650	6,3	1163	Média	4,2	3111	Alta		
Forno Retangular Grande com carga e descarga mecanizada	33%	550	10	-2572	Inviável	10,0	-281	Inviável		
		600	10	-190	Inviável	5,5	1758	Média		
		650	5	1848	Alta	3,6	3797	Alta		
Forno DCP com carga e descarga mecanizada	38%	550	9	299	Baixa	9,0	299	Baixa	Sem alteração do projeto original	Não foi sugerido mudanças do projeto original por serem tecnologias que já atingem altas performances de RG
		600	5,3	2647	Média	5,3	2647	Média		
		650	3,6	4994	Alta	3,6	4994	Alta		
Forno ONDATEC com carga e descarga mecanizada	38%	550	10	-1149	Inviável	10,0	-1149	Inviável		
		600	7,3	1199	Baixa	7,3	1199	Baixa		
		650	4,8	3547	Alta	4,8	3547	Alta		
Forno SISTEMA VEREDAS com carga e descarga mecanizada	33%	550	10	-1087	Inviável	6,5	862	Baixa	Cadeia de Produção de Bioóleo	A implantação de cadeia de produção de bioóleo melhorou significativamente os resultados desse tipo de tecnologia praticamente a viabilizando para todas as faixas de preço de carvão vegetal simuladas
		600	5,8	952	Média	3,6	2900	Alta		
		650	3,3	2991	Alta	2,5	4939	Alta		

### 3. Conclusão

O Produto 4 propôs melhorias para que as tecnologias de produção de carvão vegetal alcancem maior sustentabilidade e melhor desempenho, tendo em vista os âmbitos técnico, ambiental e social.

Em se tratando dos fornos de alvenaria circulares, a presente consultoria não considera promissora nenhuma proposta de melhoria, seja em termos técnicos, ambientais e sociais, recomendando a substituição de tais fornos por outros que possibilitem mecanização da carga da madeira e descarga do carvão vegetal.

O motivo para recomendar a substituição dos fornos de alvenaria circulares é o uso intensivo de mão de obra, a qual oferece resistência à implantação de sistemas de controle da temperatura do processo, além do que imprime uma imagem negativa à cadeia de produção.

No caso, os fornos de alvenaria retangulares são opções aos fornos de alvenaria circulares, desde que sejam observadas melhorias no que diz respeito, principalmente, à adesão dos empreendedores aos sistemas de controle do processo de carbonização. Ainda nessa direção foram propostas recomendações no sentido de que as plantas de carbonização sejam gerenciadas por engenheiros e que haja maior interesse dos empreendedores em diversificar a cadeia de produção do carvão vegetal, a fim de criar independência em relação ao mercado siderúrgico.

A diversificação da cadeia produtiva do carvão vegetal é o caminho para a valorização do negócio e conseqüente interesse dos empreendedores em aportar investimentos em tecnologia, maquinário e mão de obra qualificada, o que não ocorre hoje, uma vez que a cadeia produz um único produto, cujo valor é muito pressionado pelo alto preço a ser pago pela madeira e ao baixo preço a ser recebido pelo ferro-gusa.

Em relação as questões ambientais, as melhorias propostas para aumentar a capacidade de redução de emissão de gás metano, em fornos de alvenaria retangular, envolvem a adoção do uso de sistemas para controle do processo da temperatura. Conforme observado, essa adoção vai depender, principalmente, da própria adesão dos empreendedores.

No que se refere ao aumento da capacidade de recuperação de gases condensáveis, foram propostas melhorias que possibilitem a instalação de sistema de condensação. Essas melhorias se referem à substituição do *layout* paralelo, observado na maioria das plantas de carbonização, por outros que possibilitem a canalização dos gases e o posicionamento central do condensador.

Também é imprescindível que haja energia para o funcionamento dos sistemas de condensação e, no caso, a presente consultoria recomenda a instalação de placas solares fotovoltaicas, nas localidades onde não existir rede elétrica.

No que se refere às tecnologias metálicas e híbrida, em termos de rendimento gravimétrico não foram propostas melhorias, pelo fato de que os fornos são equipados de fábrica com sistema para controle da temperatura do processo de carbonização e, portanto, já alcançam maior rendimento gravimétrico.

Exatamente por alcançarem maior rendimento gravimétrico, os fornos metálicos e híbrido apresentam aumento da capacidade de redução de gás metano, o que dispensou, igualmente, recomendações de melhorias para esse fim.

Em termos de capacidade de recuperação dos gases condensáveis foi reiterada a necessidade de energia e sinalizadas recomendações de melhorias envolvendo o desenvolvimento do produto e do mercado referentes aos coprodutos da carbonização, principalmente bio-óleo, o qual é potencial substituto do óleo BPF, combustível fóssil emissor de GEE.

No âmbito social foram apontadas melhorias que envolvem o aumento da inclusão social das mulheres e consequente diminuição da desigualdade de gênero na cadeia produtiva do carvão vegetal.

As melhorias sociais envolvem sobretudo a adoção de fornos que possibilitem a mecanização da carga e da descarga e a utilização de sistemas para controle do processo de carbonização, uma vez que nesses casos as mulheres são incluídas nas oportunidades de trabalho.

Finalmente, cabe destacar que o Projeto Siderurgia Sustentável é uma ação, em curso, que está respondendo ou objetiva responder às melhorias propostas pela presente consultoria, contribuindo para a diminuição das restrições e barreiras que impedem a melhoria da sustentabilidade e do desempenho das cadeias produtivas do carvão vegetal no Brasil e especialmente em Minas Gerais.

## 4. 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 Norte 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](http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/view/1453/548)>. Acesso em: 10 de março 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2013** - ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013.

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: 10 de março 2017.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA – AMS. **Palestra**. 1º Seminário do Projeto Siderurgia Sustentável. Belo Horizonte, 2016. Disponível em <<http://silviminas.com.br/wp-content/uploads/2016/06/SIDERURGIA-SUSTENT%C3%81VEL-palestra-do-Presidente-AMS-Maur%C3%ADcio-B.-Melo-I-Semin%C3%A1rio-de-Siderurgia-Sustent%C3%A1vel-BH-23-6-2016-1.pdf>>. Acesso em: 16 de novembro de 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 abril 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. **Metrvm (on-line)**. Disponível em: <[www.fflch.usp.br/dl/semiótica/es/esse-ref-biblio.pdf](http://www.fflch.usp.br/dl/semiótica/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.

BIEL, BRUNO LUIZ. Analfabetismo funcional: a inserção do cidadão analfabeto no mercado de trabalho. **Revista Eventos Pedagógicos**. v.5, n.2, (11º ed.), número regular, p. 373-380, jun./jul. 2014.

BIOWARE. Site da empresa. Disponível em: <[www.bioware.com.vr](http://www.bioware.com.vr)>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

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: 15 de março 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. INSTITUTO AÇO BRASIL. A indústria do aço no Brasil.- Brasília: CNI, 2012.

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.

DIAS, E.C.; ASSUNÇÃO, A.A.; GUERRA, C.B.; PRAIS, H.A.C. Processo de trabalho e saúde dos trabalhadores na produção artesanal de carvão vegetal em Minas Gerais, Brasil. **Cadernos Saúde Pública**. Rio de Janeiro, jan./fev., 2002.

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.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Levantamento da situação ambiental e energética de ferroligas e silício metálico no Estado de Minas Gerais, prospecção de ações para o desenvolvimento sustentável da atividade**/Gerência de

Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades Industriais – Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010.

FELIPETTO A. V. M. **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**.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. **Portal do sistema Geo CTF/APP**. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/ctfapp/#/>>. Acesso em: 02 de novembro de 2016.

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.

LAPA, THAIS DE SOUZA. Desigualdade salarial por sexo: persistências, transformações e desafios. **Revista da Associação Brasileira de Estudos do Trabalho** - ABET, v. 15, n.1, janeiro a junho de 2016.

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.

MANCINI, R.M. A construção social do mercado de produção de carvão vegetal na Amazônia Oriental: estratégias corporativas e crítica social. Anais. Resumo. **XVIII Congresso Brasileiro de Sociologia**. 26 a 29 de julho, Brasília, Distrito Federal. Disponível em: [sbs2017.com.br/anais/resumos/PDF-eposter-trab-aceito-1687-1.pdf](http://sbs2017.com.br/anais/resumos/PDF-eposter-trab-aceito-1687-1.pdf). Acesso em novembro de 2017.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral -SGM. Banco Mundial. Banco Interamericano para a Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD. Produto 32. Cadeia do aço. **Relatório Técnico 58. Perfil do Aço**. Consultor; Luiz Felipe Quaresma. Projeto ESTAL. Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia, agosto de 2009.

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.

ONDATEC. Site da empresa. Disponível em: <[www.ondatec.com](http://www.ondatec.com)>. Acesso em: 10 de novembro de 2017.

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: 15 de 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. **Análise de investimentos**. Disponível em: <<http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>>. Acesso em: 06 de março 2017.

PROCHNICK, V. e HAGUENAUER, L. Cadeias produtivas e oportunidades de investimento no Nordeste Brasileiro. **Análise Econômica**. Faculdade de Ciências Econômicas da UFRGS. Ano 20, nº 38, setembro de 2002.

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

RECEITA FEDERAL DO BRASIL – RFB. **Portal do sistema**. Tributos Federais administrados pela Secretaria da Receita Federal do Brasil. Disponível em: <idg.receita.fazenda.gov.br/aceso-rapido/tributos>. Acesso em: 05 de novembro de 2017.

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.; LOPES, L.E.F. O ferro primário mais limpo do planeta – a produção de ferro com uso de biomassa plantada. **Anais do 1º Congresso internacional de uso da biomassa plantada para a produção de metais e geração de eletricidade**. Belo Horizonte, Brasil, 8-11 de outubro, 2001.

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.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO FERRO NO ESTADO DE MINAS GERAIS – SINDIFER. **Anuário Estatístico**. Belo Horizonte, 2016.

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 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. Universidade Estadual do Centro Oeste - Departamento de Engenharia Florestal – Campus Irati – PR. 2011a.

SILVEIRA, C. Martorelli da. **Influência do extrato pirolenhoso 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, referentes 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.

TIMOTEO, G.M. **Trabalhadores do Carvão: um estudo de caso na região do Vale do Aço**. Belo Horizonte: Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Minas Gerais, 1999.

*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>. Acesso em: 10 de 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: 22 de março 2017.

VILELA, A.O. **Desenvolvimento de validação técnica de um forno industrial de carbonização, modelo container 2ª geração.** Tese de doutorado, Belo Horizonte: Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

ZUCHI, P.S. **A Evolução na produção de carvão vegetal e suas repercussões na produtividade e qualidade do carvão vegetal, nas condições de trabalho e meio ambiente:** estudo comparativo. Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.