

**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.

Mapeamento, Mensuração e Avaliação de Opções  
Tecnológicas de Coprodutos de Carvão Vegetal.

Relatório Técnico referente à:

Produto 3: Análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental de  
tecnologias de conversão em diversas escalas de produção

Revisão 2

Augusto Valencia Rodriguez

Outubro de 2017

## Índice

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E TERMOS TÉCNICOS.....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO E COPRODUTOS .....</b>	<b>14</b>
3.1.1 MODELOS DE FORNOS .....	14
3.1.2 COPRODUTOS ASSOCIADOS ÀS TECNOLOGIAS .....	21
3.1.3 EQUIPAMENTOS PERIFÉRICOS .....	23
<b>3.2 ARRANJOS TECNOLÓGICOS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.3 PARÂMETROS OPERACIONAIS E FINANCEIROS .....</b>	<b>26</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 PEQUENA ESCALA.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 MÉDIA ESCALA .....</b>	<b>44</b>
4.2.1 MÉDIA ESCALA – FORNO CIRCULAR.....	45
4.2.2 MÉDIA ESCALA – FORNO RETANGULAR.....	48
<b>4.3 GRANDE ESCALA.....</b>	<b>51</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 1 – Folha de coleta de dados para atualização das tecnologias de produção de carvão vegetal.....</b>	<b>69</b>

**Anexo 2 – Fatores Potenciais e Limitantes para Elaboração de Estratégias de  
Incremento dos Coprodutos da Produção de Carvão Vegetal ..... 70**

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do empreendimento para produção de carvão vegetal de florestas plantadas. ....	13
Tabela 2: Capacidade instalada de acordo com o porte. ....	13
Tabela 3: Características operacionais dos modelos de fornos avaliados. ....	15
Tabela 4: Lista de equipamentos periféricos à produção de carvão vegetal. ....	24
Tabela 5: Arranjos tecnológicos para avaliação de viabilidade técnica e econômica. ..	25
Tabela 6: Parâmetros de matéria prima (madeira de eucalyptus) e carvão vegetal ....	28
Tabela 7: Dados básicos para formatação dos cenários .....	29
Tabela 8: Parâmetros operacionais dos fornos de produção de carvão vegetal .....	30
Tabela 9: Indicadores dos equipamentos periféricos (tecnologias para coprodutos)...	31
Tabela 10: Indicadores gerais dos projetos, custos logísticos de madeira, BDI e taxa de remuneração. ....	32
Tabela 11: Preços de produtos, coprodutos e correlatos. ....	33
Tabela 12: Composição dos cenários com os modelos de fornos e periféricos. ....	34
Tabela 13: Dimensionamento e investimentos. ....	35
Tabela 14: Custo operacional de produção de carvão vegetal e coprodutos. ....	36
Tabela 15: Composição das receitas e resultados unitários .....	36
Tabela 16: Fluxos de caixa e resultados econômicos. ....	37
Tabela 17: Balanço das emissões do carvão vegetal e coprodutos associados. ....	38
Tabela 18: Investimentos em equipamentos e infraestrutura para pequena escala de produção. ....	41
Tabela 19: Custo operacional para produção em pequena escala. ....	42
Tabela 20: Receitas e custo operacional líquido para a produção em pequena escala. ....	43
Tabela 21: Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em pequena escala. ....	43
Tabela 22: Emissões para os cenários de pequena escala. ....	44
Tabela 23: Investimentos em unidade com fornos circulares para produção em média escala. ....	45
Tabela 24: Custos operacionais - fornos circulares para média escala. ....	46

Tabela 25: Receitas e custo operacional líquido para a produção com fornos circulares, para média escala.....	47
Tabela 26 Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em média escala (fornos circulares).....	47
Tabela 27: Emissões para os cenários de média escala – fornos circulares. ....	48
Tabela 28: Investimentos em unidade com fornos retangulares para produção em média escala. ....	48
Tabela 29: Custos operacionais - fornos retangulares para média escala.....	49
Tabela 30: Receitas e custo operacional líquido para a produção com fornos retangulares, para média escala. ....	49
Tabela 31: Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em média escala (fornos retangulares).....	50
Tabela 32: Emissões para os cenários de média escala – fornos retangulares.....	50
Tabela 33: Investimentos para produção em grande escala – fornos retangulares.....	51
Tabela 34: Custos operacionais - fornos retangulares para grande escala.....	52
Tabela 35: Receitas e custo operacional líquido para a produção com fornos retangulares, para grande escala. ....	52
Tabela 36: Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em grande escala (fornos retangulares).....	53
Tabela 37 Emissões para os cenários de grande escala – fornos retangulares. ....	53
Tabela 38: Características das diferentes escalas de produção e seus fatores influentes no resultado dos negócios.....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Forno circular de superfície para pequena escala de produção. ....	17
Figura 2: Fornos de pequena escala acoplados a queimadores de fumaças. ....	17
Figura 3: Fornos circulares para média escala, com mecanização parcial da carga. ....	18
Figura 4: Fornos circulares de médio porte, acoplados a queimador de fumaças. ....	18
Figura 5: Forno retangular de médio porte, acoplado a queimador de fumaças. ....	19
Figura 6: Conjunto de fornos retangulares de médio porte, acoplados a queimadores de fumaças. ....	19
Figura 7: Peneiramento de carvão vegetal e carregamento de carretas. ....	20
Figura 8: Produtos separados da operação de peneiramento. ....	20

## LISTA DE SIGLAS E TERMOS TÉCNICOS

#	Abertura da malha de separação (ou corte) nas peneiras (dada em mm ou polegadas)
Alcatrão	Substância betuminosa, espessa, escura e de forte odor, que se obtém da destilação (ou carbonização) da madeira.
Atiços	Madeira que não foi totalmente carbonizada, normalmente com um teor de carbono fixo abaixo de 60 %.
BDI (%)	Bonificação de Despesas Indiretas. Refere-se ao percentual sobre os custos para cobrir impostos, lucros e eventuais (tais como despesas administrativas, impostos, seguros, manutenções corretivas, despesas com ações trabalhistas, etc.).
Bioóleo	Combustível renovável cuja matéria-prima é a biomassa, ou seja, substâncias de origem orgânica (vegetal, animal etc.)
% b.s	Base Seca – Quando o denominador da relação entre os produtos, objeto do cálculo, está com 0% de umidade.
CF	Carbono Fixo (%)
Classe granulométrica	Refere-se ao intervalo abertura da malha das peneiras utilizadas na separação da moinha de carvão vegetal (mm).
<i>Cluster</i>	Conjunto de fornos que atendem a uma determinada característica comum, permitindo o ajuste de parâmetros operacionais, como por exemplo, o fornecimento constante de fumaças para um queimador, durante as etapas de carbonização.
Coque verde de petróleo	O coque verde de petróleo (CVP) é um produto sólido, obtido a partir do craqueamento de óleos residuais pesados em unidades de conversão de resíduos denominadas Unidades de Coqueamento Retardado (UCR).
CV	Carvão Vegetal
CZ	Cinzas (%)

EP	Extrato Pirolenhoso - Extrato líquido obtido através da condensação da fumaça proveniente da carbonização da madeira.
FCP	Forno circular pequeno
FCM	Forno circular médio
FRM	Forno retangular médio
FRG	Forno retangular grande
F.O.B.	Do ingles “ <i>Free on Board</i> ”. Refere-se ao valor de um produto considerando seu carregamento nos veículos de transporte, no ponto de produção, desconsiderando o transporte e o valor respectivo, relativo ao frete.
Gcal	Gigacaloria
L/C	Relação de transformação da lenha (madeira) em carvão vegetal.
Licor pirolenhoso	Líquido originado da carbonização da madeira composto por mais de 600 substâncias (ácidos, álcoois, fenóis, etc.). Líquido cristalino com forte odor de fumaça; amarelo, marrom ou avermelhado; pH ácido, 2–3; densidade de 1,005 a 1,050 g/cm <sup>3</sup> ; máximo de alcatrão dissolvido aceitável – 3,0%, isento de metais pesados.
Marcha dos fornos	Evolução do processo de carbonização em função das taxas de avanço da temperatura em relação ao tempo.
mdc	Metros cúbicos de carvão (a granel).
mm	Milímetro.
MO	Mão de obra.
MV	Matérias Voláteis.(%)
MWhe	Potência Elétrica (mega-watt-hora elétrico).
MWht	Potência Térmica (mega-watt-hora térmico).
Nm <sup>3</sup> gases	Normal metro cúbico de gases. Volume de gases nas CNTP (condições normais de temperatura e pressão).
PCI	Poder Calorífico Inferior em kcal (quilo caloria)/kg ou kJ

	(quilo Joule)/kg
RG	Rendimento Gravimétrico: Relação (em peso), entre o carvão produzido e a madeira consumida que lhe deu origem, normalmente em base seca.
RG0	Rendimento Gravimétrico Operacional: índice de conversão da madeira em carvão em base úmida, em peso, em condições operacionais de rotina.
RTCP1-2	Relatório Técnico referente à: Produto 1: Mapeamento das opções e rotas tecnológicas. Produto 2: Relatório Técnico sobre o aproveitamento dos coprodutos.
<i>Shut</i>	Tipo de uma moega ou silo aberto para receber e dosar material a granel.
<i>Spot</i>	Refere-se à venda de produto no mercado livre, ou seja, sem contrato de tempo e/ou volume pré-determinados.
st	Estéreo - Medida de volume aparente da madeira empilhada.
t	Tonelada.
TIR (% a.a)	Taxa Interna de Retorno. Quando o total das receitas é igual ao total dos custos
tCV	Tonelada de carvão vegetal. Para as informações apuradas em <u>mdc</u> foi utilizada uma conversão padrão de 4,5 mdc/tCV.
tCV/H.mês (Homem-mês)	Refere-se à quantidade produzida por uma pessoa em um mês.
UPC	Unidade de Produção de Carvão
VPL (R\$)	Valor Presente Líquido. Resultado do projeto em estudo, recuperado ao valor atual, de acordo com a taxa de remuneração definida.

## 1. INTRODUÇÃO

O terceiro produto do estudo sobre *“Mapeamento, Mensuração e Avaliação de Opções Tecnológicas de Coprodutos de Carvão Vegetal”* aborda os aspectos das diversas tecnologias de conversão da madeira em carvão vegetal. Essas se apresentam como alternativas que visam a melhoria do desempenho da atividade. Isso pode ocorrer através de ganhos de produtividade e rendimento de transformação, a partir da adoção de processos mais eficientes, ou pelo aproveitamento dos coprodutos já caracterizados no relatório técnico dos produtos 1 e 2 dessa consultoria, doravante denominado RTCP1-2. A viabilidade da adoção de diferentes técnicas de produção de carvão vegetal, através da introdução de novos processos, pode ser avaliada pela melhoria do resultado financeiro, nas diferentes escalas de produção. Ocorrem também, melhorias no desempenho ambiental, através da redução das emissões e pelo aproveitamento dos coprodutos como alternativa aos congêneres de origem fóssil, por exemplo.

As escalas de produção se caracterizam, basicamente, pelo volume produzido em uma determinada planta, constituída de reatores de transformação e seus respectivos equipamentos periféricos e acessórios, em cada caso específico. A fim de definir o volume anual produzido para cada escala avaliada (pequena, média e grande), foi consultada a legislação que estabelece os critérios para efeito de licenciamento ambiental, no estado de Minas Gerais, seja, a Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, a qual, cita em sua abertura:

Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências.

Porém, de acordo com os levantamentos do estudo anterior (RTCP1-2), para os efeitos deste estudo, as escalas foram redefinidas, conforme explicado em maior detalhe na seção seguinte. Para cada escala de produção, foi considerada a aplicabilidade das tecnologias consolidadas, do ponto de vista operacional e comercial, ou seja, aquelas

que possuem unidades em operação, com informações disponíveis sobre os fatores de produção (custos, rendimentos, produtividades, índices técnicos, entre outros).

Para este efeito também, foram consideradas as que possuem número de unidades em operação, suficientemente representativas, para serem definidas como de uso corrente.

Algumas tecnologias consolidadas no passado, e que foram descontinuadas em função de fatores diversos, foram revistas e atualizadas para serem avaliadas como alternativas às cadeias de produção atuais. É o caso, por exemplo, dos sistemas de recuperação de alcatrão vegetal relatada em Medeiros et al. (1983) e Castro et al. (1982).

A descontinuidade da tecnologia de recuperação de alcatrão e aproveitamento em diferentes aplicações (combustível em fornos de reaquecimento, geração de energia térmica ou termoelétrica, etc), se deve a fatores concorrenciais com seus congêneres de origem fóssil. Principalmente, devido à baixa escala de produção (para fazer frente aos volumes demandados). A falta de escala desestimula o incremento da cadeia de produção em todos seus vetores (investimentos em P&D, custos de produção competitivos, manutenção da qualidade, etc). Este estudo, enquanto objeto de revisão dessa tecnologia, pode ofertar informações e resultados que sirvam de base para o fomento da utilização desses produtos, sob uma nova ótica ambiental, por exemplo, do ponto de vista das reduções das emissões comparativas a outros produtos tradicionais.

Foram definidos arranjos tecnológicos que consideraram a possibilidade de adoção de cada processo, bem como, a existência de condições efetivas, para viabilização de cada alternativa, como por exemplo, mercado consumidor para absorção de coprodutos. Para a efetivação das alternativas, é importante considerar aspectos inerentes à cadeia de produção de carvão vegetal, bem como, de ações conjuntas diversas, que podem alavancar as tecnologias avaliadas. Este ponto está descrito como uma série de iniciativas, que podem ser consultadas no item 5 (Considerações).

A etapa do Projeto “Siderurgia Sustentável”, que contempla o “*Apoio ao desenvolvimento, melhoria e demonstração de tecnologias produtivas para o Carvão Vegetal*”, poderá contemplar, na expectativa desta consultoria, projetos que

consolidem as alternativas ora avaliadas, confirmando os indicadores de processo e de mercado, caso os mesmos se consolidem.

Este documento está organizado da seguinte forma: após esta introdução, são descritos os objetivos do documento; a seguir, apresenta-se a metodologia definida para análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental de cada tecnologia de produção de carvão vegetal analisada, com foco no aproveitamento de coprodutos; em sequência, são apresentados os resultados da análise realizada; e, por fim, são compiladas as principais considerações sobre o estudo desenvolvido.

O documento contém, ainda, as referências bibliográficas e um anexo: 1 – Folha de coleta de dados para atualização das tecnologias de produção de carvão vegetal.

## **2. OBJETIVOS**

Para as três escalas de produção pequena, média e grande foram traçados os seguintes objetivos:

- Explicar a aplicação de cada tecnologia, abordando aspectos tais como: dimensionamento das plantas e seus respectivos equipamentos, produção e aplicação dos coprodutos e das emissões em cada caso.
- Elaborar arranjos tecnológicos produtivos em diferentes escalas e sistemas de produção, através da construção de cenários.
- Avaliar os resultados de cada cenário em função dos custos operacionais e da sua viabilidade técnica e econômica, bem como, dos níveis de emissão, em relação ao cenário-base (produção de carvão vegetal, exclusivamente).
- Sugerir ações para contribuir com o avanço das diversas tecnologias avaliadas.

## **3. METODOLOGIA**

Para elaboração do presente estudo, foram consultadas as escalas de produção anual nominal (porte) classificadas na deliberação normativa (DN) 74 do COPAM, de acordo com o grupo G-03-03-4 (produção de carvão vegetal oriunda de floresta plantada) e seus respectivos intervalos, conforme tabela 1, a seguir.

Tabela 1: Classificação do empreendimento para produção de carvão vegetal de florestas plantadas.

PORTE	PRODUÇÃO NOMINAL – PN (mdc/ano)
Pequeno	50.000 < PN < 75.000
Médio	75.000 < PN < 100.000
Grande	>100.000

Fonte: DN 74 – COPAM, adaptado pelo autor.

Porém, em função das características encontradas em campo, durante os levantamentos e visitas realizadas<sup>1</sup>, em relação aos modelos e número de fornos em operação, sugere-se a seguinte adaptação de escalas, para a avaliação de unidades de produção típicas, conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Capacidade instalada de acordo com o porte.

PORTE	PRODUÇÃO (mdc/ano)
Pequeno	Até 30.000
Médio	30.000 a 75.000
Grande	Acima de 75.000

Fonte: Elaboração do autor.

O presente estudo procurou avaliar diversas tecnologias de produção de carvão vegetal e coprodutos, abrangendo as várias alternativas que se apresentaram, durante a etapa de mapeamento das opções e rotas tecnológicas. Isso pode ser observado no RTCP1-2. Além das informações coletadas durante as visitas, era necessária a complementação das mesmas, através de indicadores reportados pelas partes que detém o estado da técnica, a fim de elaborar os cenários de avaliação. Para efeito de levantamento dos indicadores operacionais e financeiros de cada tecnologia, foi elaborada uma folha de dados, que foi distribuída a diversos interessados e participantes da cadeia de produção de carvão vegetal. A mesma encontra-se no anexo 1.

<sup>1</sup> O registro do levantamento e das visitas realizadas pode ser encontrado no primeiro relatório desta consultoria (RTCP1-2).

A folha de dados foi enviada, através da Assessoria Técnica do Projeto (BRA/14/G31), a 17 (dezessete) empresas de portes e usuários de tecnologias diversas. Foram recebidas apenas 3 (três) respostas, sendo que algumas com dados insuficientes para avançar na construção e análise dos arranjos produtivos.

Algumas tecnologias divulgadas como novas e de conteúdo tecnológico avançado, também não apresentaram indicadores que permitam outras avaliações. Tanto os contatos realizados a partir das visitas, quanto as solicitações formais e contatos pessoais, específicos para obtenção das informações, não foram satisfatórios para serem abordados nesse estudo. Optou-se então, pelas tecnologias já consolidadas em que o autor (consultor) possui dados e informações suficientes e confiáveis para formação dos cenários e arranjos avaliados. A base de informações da consultoria é formada por estudos diversos em mais de 32 anos de atuação no setor, com projetos desenvolvidos para diversos clientes do setor de carvão vegetal. Por razões contratuais, as fontes de informação desses estudos são mantidas em sigilo. Esses estudos têm sido desenvolvidos no âmbito da empresa BIOMTEC Biomassas e Tecnologia Ltda, de propriedade do autor (consultor).

Estudos anteriores de referência foram consultados, como por exemplo, em Rezende (2014-a e b) e Raad (2014) para dar continuidade às avaliações necessárias.

### **3.1 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO E COPRODUTOS**

Neste item, apresentam-se as tecnologias que foram avaliadas para compor o estudo, de acordo com as respectivas escalas de produção. Foram definidos os modelos de fornos e os equipamentos periféricos possíveis de serem acoplados, bem como das utilidades necessárias.

#### **3.1.1 MODELOS DE FORNOS**

Para todos os arranjos foram considerados fornos de alvenaria de superfície, pelo fato de que compreendem a grande maioria da produção de carvão vegetal no estado de Minas Gerais, seja em qualquer escala de produção. Foram considerados quatro modelos de fornos, que representam os que são mais utilizados no mercado, dentro das capacidades de produção analisadas, e que possuem informações completas para

serem caracterizados e estudados dentro dos cenários propostos nesse estudo. Essas informações foram coletadas durante as visitas a campo e através de estudos desenvolvidos pela consultoria, em projetos de viabilidade para diversos clientes. Esses modelos têm suas características apresentadas na tabela 3.

Tabela 3: Características operacionais dos modelos de fornos avaliados.

MODELO	TIPO	DIMENSÕES (largura/diâmetro x altura x comprimento) (m)	CAPACIDADE (mdc/mês)	SISTEMA DE MECANIZAÇÃO
Circular	Pequeno	3,80 x 2,00	28	Parcial
Circular	Médio	5,50 x 2,20	68	Parcial
Retangular	Médio	3,5 x 4 x 10	117	Total
Retangular	Grande	4 x 4 x 32	420	Total

Fonte: Elaboração do autor.

A escolha do modelo a ser adotado pelo produtor está relacionada a alguns aspectos inerentes à operação geral da planta, às características do negócio em relação ao tempo de operação e à aplicação de recursos (investimentos, custos de operação e manutenção).

Assim, para seleção dos modelos de fornos considerados neste estudo, foram analisados os principais aspectos que determinam a escolha dos produtores de carvão vegetal, segundo sua escala.

De acordo com a escala de produção descrevem-se alguns destes aspectos (com base em diversos estudos desenvolvidos pelo autor, mantidas o sigilo das fontes):

- Pequena escala: de acordo com as expectativas empresariais relativas à mobilização, desmobilização, início de retorno, disponibilidade de madeira (pequenos volumes de produção), opta-se por fornos de maior rapidez de construção e menor valor de investimento, ou seja, fornos circulares pequenos. Via de regra, as operações são totalmente manuais, desde a descarga da madeira próxima aos fornos, o carregamento da madeira nos fornos (enfornamento), a descarga do carvão vegetal nas praças de estocagem e o

carregamento dos caminhões para a expedição do carvão vegetal. Normalmente, para esta escala, o tempo de estocagem da madeira (que compreende desde a colheita até o enforamento) situa-se entre 60 e 90 dias. Isto afeta a secagem, fazendo com que a umidade da madeira ainda seja alta no momento da carbonização, o que, conseqüentemente, diminui o rendimento de sua transformação em carvão vegetal (Vital et al., 1985).

- Média escala: para atividades com maior grau de mecanização, menor número de fornos na planta, com maior produtividade da mão de obra, quando os volumes já são maiores, opta-se por fornos de maior capacidade, porém sem investimentos muito expressivos. O tempo de estocagem da madeira é maior, situando-se entre 90 e 120 dias. Ainda para a média escala, uma alternativa à situação anterior é a adoção de fornos com um maior nível de mecanização (carga + descarga) e de maior robustez construtiva, haja vista, os impactos mecânicos<sup>2</sup> que a própria mecanização das atividades implica.
- Grande escala: para escalas de produção com maior volume e com garantia de horizonte de produção (contratos firmes ou suprimento em empresas verticalizadas), as opções são por fornos de maior capacidade produtiva individual, que apresentam maior vida útil e menores custos de operação e manutenção. Os estoques de madeira situam-se acima dos 120 dias, sendo comum, verificar tempos médios de 150 dias, ou mais.

Entende-se que cada escala representa uma modalidade de negócio diferenciada. Por esse motivo este estudo não pretendeu comparar escalas de produção diferentes, e sim alternativas tecnológicas e de mercado, dentro de cada escala.

As figuras a seguir apresentam os modelos de equipamentos em que foram baseados os arranjos propostos pelo estudo. São meramente ilustrativos e sua apresentação não objetiva indicar projetos, fabricantes ou sugestões de arranjos e montagens industriais.

---

<sup>2</sup> Devido ao choque de madeira durante o carregamento, bem como do prensamento do carvão vegetal durante a descarga.

Figura 1: Forno circular de superfície para pequena escala de produção.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 2: Fornos de pequena escala acoplados a queimadores de fumaças.



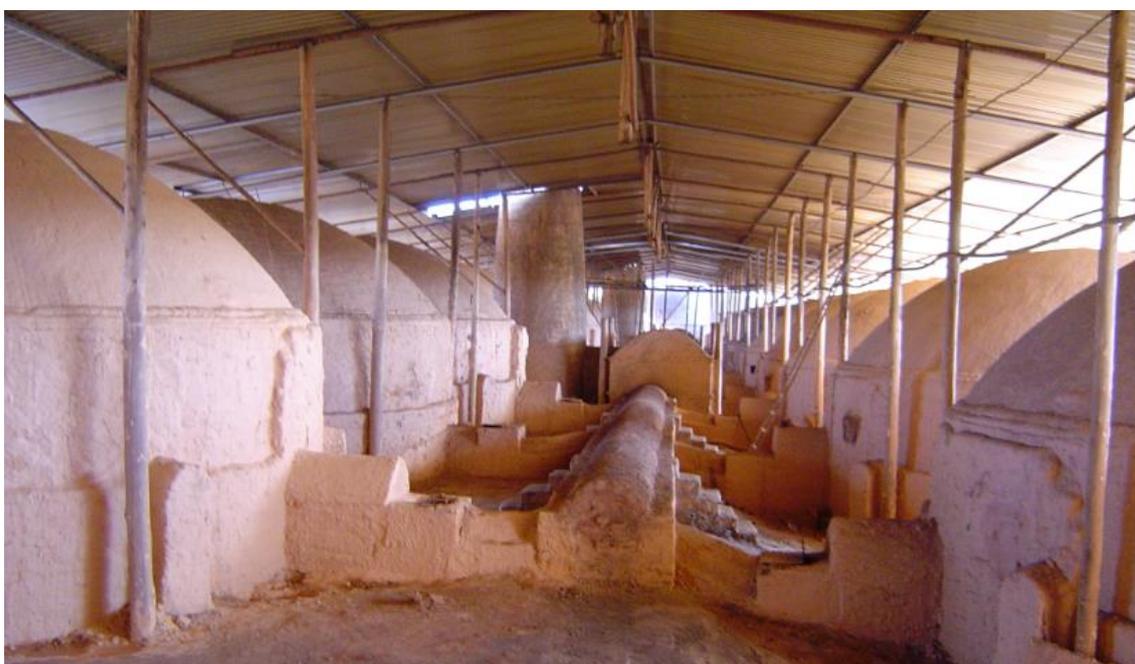
Fonte: Arquivo do autor.

Figura 3: Fornos circulares para média escala, com mecanização parcial da carga.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 4: Fornos circulares de médio porte, acoplados a queimador de fumaças.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 5: Forno retangular de médio porte, acoplado a queimador de fumaças.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 6: Conjunto de fornos retangulares de médio porte, acoplados a queimadores de fumaças.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 7: Peneiramento de carvão vegetal e carregamento de carretas.



Fonte: Arquivo do autor.

Figura 8: Produtos separados da operação de peneiramento.



Fonte: Arquivo do autor.

### **3.1.2 COPRODUTOS ASSOCIADOS ÀS TECNOLOGIAS**

Este item aborda a participação dos coprodutos nos sistemas de produção em cada escala e como é o comportamento de seus fluxos, de acordo com as características do mercado consumidor.

#### Condensados:

A partir da recuperação dos produtos líquidos presentes nas fumaças, optou-se por adotar a condensação forçada como tecnologia para os arranjos, uma vez que essa tecnologia apresentar melhor desempenho no controle dos processos de transporte e recuperação do bio-óleo, frente à condensação natural ou semiforçada. Os arranjos físicos de localização e distribuição dos equipamentos (recuperadores), propostos neste estudo, foram definidos de acordo com esquemas utilizados no passado, incluindo empresas em que o autor trabalhou e coordenou projetos desse tema. O valor dos equipamentos, obtidos pelo autor em diversos estudos desenvolvidos para empresas do setor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta), também obedeceu à proporção de escala, em função dos modelos de fornos. Para determinação dos coeficientes de recuperação do bio-óleo, foi utilizado um fator médio a partir das informações de Raad (2014), Benites (2016) e CGEE (2014). Para cada escala de produção e arranjo dos recuperadores em relação aos fornos, foi definido um rendimento médio de recuperação dos condensados, que estão apresentados na tabela 9. Para o valor comercial do bio-óleo, foi utilizado o relatado pelas mesmas fontes citadas. Importante frisar que não existe ainda um mercado desenvolvido para o bio-óleo, porém, o estudo procurou subsidiar com informações técnicas e de viabilidade, alternativas que possam ser desenvolvidas no futuro.

#### Gases:

Para esse coproduto foi adotada a tecnologia de transporte e queima de gases. Não foi considerado nenhum tipo de aproveitamento posterior da energia térmica gerada, por não haverem, até o momento, informações consistentes reportadas, para a montagem de cenários de viabilidade. Para a montagem dos arranjos foram considerados dutos de alvenaria (de superfície ou subterrâneos), com tiragem natural pelas chaminés.

Estes tipos de dutos são os mais comuns encontrados nas montagens que o autor verificou, ao longo de estudos desenvolvidos para diversos clientes. As construções são em alvenaria, revestidas com mantas ou argamassas refratárias. Considerou-se o consumo de madeira (tabela 9) para manter os sistemas de queima em funcionamento e um abatimento geral das emissões da ordem de 80%. A taxa de emissão considerada foi a mesma para todas as escalas de produção, ou seja, 1,068 tonelada de fumaças (gases de pirólise) por metro de carvão vegetal produzido. Esse coproduto não tem valor precificado (pois nada é comercializado diretamente), não aportando receitas aos respectivos cenários que o consideram. A possível precificação de valores que venham bonificar a técnica na forma de serviços ambientais, por exemplo, poderá ser agregada ao estudo na forma de receitas adicionais, na composição dos cenários apresentados adiante.

#### Moinha:

A tecnologia adotada em todas as escalas foi a do peneiramento nas próprias plantas de produção. Isso agrega valor ao produto, via melhoria de qualidade do carvão vegetal entregue nas usinas (evitando multas e descontos) e através de economia na cadeia logística (redução de transporte e manuseio desnecessários). Assim, foi considerado o conceito adotado no estudo de Rodriguez (2011), que agrega benefícios à cadeia de produção e fornecimento de carvão vegetal às usinas (redução de custos logísticos e melhoria da qualidade). Neste estudo, tais benefícios não foram valorados pela complexidade do cálculo, que envolve diversas opções de trajetos entre os produtores de carvão vegetal, usinas consumidoras e clientes finais dos coprodutos. Pela mesma razão, não foram consideradas as reduções das despesas das usinas (redução do custo com frete, movimentação interna, peneiramento, estocagens entre outros). Alguns clientes, tanto de carvão vegetal, quanto da moinha em si avaliam que esses fatos podem refletir, também, em uma possível melhoria do preço do carvão vegetal entregue, com melhor aproveitamento nos altos fornos, por exemplo. Foram aplicados os indicadores médios relatados no estudo, e levantados durante as visitas aos produtores e beneficiadores que utilizam essa prática. Foram adotados valores de

mercado do produto com maior qualidade (sem contaminação), de acordo com pesquisas feitas nos beneficiadores atuantes no mercado.

Em relação aos preços para o carvão vegetal, a partir da coleta de informações durante as entrevistas na primeira fase do estudo, observa-se que os mesmos estão em patamares bem abaixo dos valores históricos praticados. Essa depressão nos valores situa-se na faixa entre 20 a 30%, segundo opinião geral. Dos três coprodutos analisados, a moinha tem o preço mais atrelado aos valores praticados para o carvão vegetal. Essa também, como concorrente direta de outros combustíveis (coque verde, antracito ou óleos de origem fóssil), tem seus preços atrelados aos mesmos. A retomada da atividade econômica em geral, a patamares satisfatórios, modifica os resultados das analisadas aqui elaboradas.

### **3.1.3 EQUIPAMENTOS PERIFÉRICOS**

Para viabilizar o aproveitamento dos coprodutos associados a cada escala de produção, de acordo com os arranjos tecnológicos projetados, foram definidos os equipamentos apropriados para o processamento de cada coproduto selecionado. A identificação desses equipamentos resumidos na tabela 4, a seguir, baseou-se no mapeamento e análise das rotas tecnológicas para o aproveitamento dos coprodutos do carvão vegetal, realizado no primeiro estudo desta consultoria.

Tabela 4: Lista de equipamentos periféricos à produção de carvão vegetal.

EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA	COPRODUTO-ALVO
Transporte de fumaças	Canais em alvenaria de tijolos cerâmicos comuns. Para as escalas pequena e média foram considerados de superfície. Para a escala grande, subterrâneos, devido ao fato de maior área de tráfego nessas plantas.	Gases de pirólise. Podem ocorrer condensações pontuais no fundo dos canais.
Queimador de fumaças	Composto de fornalha, duto de transição e chaminé em alvenaria de tijolos comuns, revestidos com mantas ou argamassas refratárias. Dimensionado (volume da fornalha, diâmetro e altura da chaminé), de acordo com o número de fornos interligados.	Gases de pirólise (fumaças). Estudo de ciclos de produção, para definir o tamanho do <i>cluster</i> ótimo (será apresentado no Produto 4).
Condensador ou recuperador de alcatrão	Composto de sistemas de exaustão, ciclones, lavagem de gases e tanques de condensação. Seu dimensionamento se dá através do cálculo do nº de fornos acoplados simultaneamente. É um conjunto móvel que atende a diversos fornos, simultaneamente.	Bio-óleo, licor pirolenhoso ou alcatrão.
Peneiramento	Composto de <i>shut</i> de recepção do carvão bruto, sistema de peneiras vibratórias e correia transportadora, para carga das carretas de transporte. Seu dimensionamento está ligado à demanda da unidade. Podendo ser compacto para unidades de menor escala.	Moinha (finos). Podem ser classificados em diferentes malhas, de acordo com a qualidade que se queira atingir.
Mecanização	De acordo com o nível de atividades mecanizadas e modelo do forno. Varia desde unidades sem mecanização, ou com mecanização parcial (descarga de fornos, por exemplo), até unidades maiores com operações totalmente mecanizadas. O porte das máquinas (médias ou grandes) depende também desses fatores.	
Energia elétrica	O investimento nessa utilidade dependerá da localização da planta e da demanda de consumo. Plantas de menor escala, demandam menor consumo de energia elétrica.	

Fonte: Elaboração do autor.

### 3.2 ARRANJOS TECNOLÓGICOS

As tecnologias de produção, detalhadas no item anterior deste documento, foram dispostas em arranjos produtivos, a fim de estabelecer cenários para atender cada escala de produção. A tabela 5 apresenta a distribuição dos cenários, dentro das opções escolhidas, para a produção de carvão vegetal e coprodutos.

Tabela 5: Arranjos tecnológicos para avaliação de viabilidade técnica e econômica.

	ESCALA															
	PEQUENA				MÉDIA 1				MÉDIA 2				GRANDE			
PRODUÇÃO	15.000 mdc/ano				50.000 mdc/ano				50.000 mdc/ano				100.000 mdc/ano			
	CENÁRIO															
EQUIPAMENTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FORNO	Circular pequeno				Circular médio				Retangular médio				Retangular grande			
QUEIMADOR	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
CONDENSAÇÃO	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não
PENEIRAMENTO	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Não
MECANIZAÇÃO	Não	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
ENERGIA ELÉTRICA	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Fonte: Elaboração do autor.

Como se pode observar na tabela acima, além dos fornos, coprodutos e equipamentos periféricos, os cenários consideram também a utilização de recursos operacionais acessórios, tais como, a mecanização (parcial ou total) e o suprimento de energia elétrica.

Para criação das combinações que resultaram nos 16 cenários, procurou-se agregar a cada escala de produção, a partir da produção exclusiva de carvão vegetal (base), tecnologias que contemplassem os três coprodutos identificados. Assim, nas avaliações seguintes, podem-se verificar as informações fabris (que compõe cada um dos 16 arranjos), com seus respectivos resultados operacionais de produção, custos, receitas e viabilidade econômica, de acordo com as premissas de mercado e preços estabelecidos. As tecnologias (condensação, peneiramento e queima de gases) são factíveis e já foram experimentadas em diversas formas e com diversos resultados. Todos os indicadores são oriundos de estudos do autor, em diversos projetos desenvolvidos para várias empresas do setor, abrangendo as três escalas de produção. Uma opção que foi abordada no estudo apresenta uma alternativa para a produção de média escala. Essa alternativa foi adotada pois a consultoria identificou, ao longo dos

levantamentos (e projetos específicos desenvolvidos para algumas empresas), que existe uma tendência do médio produtor em adotar sistemas de operação com maior horizonte de tempo e com maior grau de mecanização. Isso ocorre, principalmente, pelo fato de que já há um bom volume de produção ofertado ao mercado, na forma de venda *spot* e/ou de contratos de fornecimento firmes. Assim, a partir dessa visão, o empreendedor procura opções de fornos com maior capacidade de produção, mais resistentes do ponto de vista da mecanização e, portanto, mais duráveis ao longo do maior horizonte de tempo pretendido. Os dois grupos de cenários avaliados então compreendem a utilização de fornos circulares de média capacidade (cenários 5 a 8) e fornos retangulares de média capacidade (cenários 9 a 12), com os respectivos arranjos produtivos que consideram os três coprodutos avaliados.

O item seguinte deste documento apresenta os parâmetros utilizados no desenvolvimento das combinações de arranjos produtivos que compõem os cenários analisados neste estudo.

### **3.3 PARÂMETROS OPERACIONAIS E FINANCEIROS**

Este item do estudo busca apresentar como foram estruturadas as informações para compor o conjunto de cenários descritos na tabela 5, acima, bem como para o cálculo dos itens que perfazem as análises de viabilidade técnica, econômica e ambiental (VTEA).

Algumas premissas são elucidadas ao longo da apresentação para tornar claro onde foi obtida a informação e como o leitor poderá consultar os documentos de forma objetiva e, sempre que possível, de maneira lógica e sequencial.

Nessa etapa da consultoria optou-se por utilizar a unidade de produção de carvão vegetal em **volume (mdc)** pelos seguintes motivos:

- O estudo trata da operação de plantas em diversas escalas de produção. As unidades de menor escala, e mesmo as de média escala e algumas de grande escala, não possuem balanças ou outra forma de aferir os valores em peso, quer da matéria-prima, quer do produto final, ou mesmo de resíduos e atijos.

- Existe muita variabilidade nos materiais genéticos empregados na produção (clonais e seminais), em idades diversas, que afetam diretamente os valores de densidade da madeira e do carvão vegetal.
- A variação significativa também, na umidade contida nos materiais (madeira e carvão vegetal), em função de tempo de secagem, época do ano e local, implica em desvios importantes nos cálculos de rendimentos de transformação (em peso), produtividade, custos e resultados finais.
- A apresentação dos indicadores em volume é facilmente entendida por todos os operadores e empresários, independente da escala.
- Os próprios órgãos de controle e fiscalização governamentais indicam a unidade de volume em suas resoluções e documentação comprobatória ambiental e fiscal, dentro da cadeia de produção de carvão vegetal, no estado de Minas Gerais (como se observa na tabela 1 deste estudo).

A tabela 6 apresenta as variações dos parâmetros citados acima, seus intervalos correntes no mercado e as variações sobre as médias desses intervalos, levantados pelo autor em diversos estudos desenvolvidos para empresas do setor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta).

Tabela 6: Parâmetros de matéria prima (madeira de *eucalyptus*) e carvão vegetal

CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS ENVOLVIDOS				
ITEM	NÍVEL	UNID	VALOR	%/M
Densidade da madeira (% base seca)	Baixa	kg/m <sup>3</sup> m	480	-7,7
	Média	kg/m <sup>3</sup> m	520	0,0
	Alta	kg/m <sup>3</sup> m	550	5,8
Tempo de secagem	Baixo	dias	90	-25
	Médio	dias	120	0
	Alto	dias	150	25
Densidade do carvão (% base seca)	Baixa	kg/mdc	180	-18,2
	Média	kg/mdc	220	0,0
	Alta	kg/mdc	240	9,1
Umidade da madeira	Baixa	% bs	25%	-16,7
	Média	% bs	30%	0,0
	Alta	% bs	45%	50,0
Umidade do carvão	Baixa	% bs	6%	-25,0
	Média	% bs	8%	0,0
	Alta	% bs	10%	25,0
Finos (% < 9,52 mm)	Baixo	%	5%	-50,0
	Médio	%	10%	0,0
	Alto	%	20%	100,0

Fonte: Elaboração do autor.

Todas as informações coletadas para elaboração deste estudo estão apresentadas em um arquivo eletrônico em Excel referenciado como: Cenários VTEA-Produto 4.xlsx.

As informações foram levantadas pelo autor em diversos estudos desenvolvidos para empresas do setor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta).

Denomina-se cada pasta de trabalho de “aba”. São apresentados neste relatório na forma de tabelas, como se observa a seguir.

A primeira aba do referido arquivo, denominada “Base”, contém informações preliminares para formatação dos cenários e os dados básicos que compõe cada dimensão de empreendimento (escala). Trata-se de um memorial resumido do que o estudo aborda.

A tabela 7, abaixo, apresenta a aba “Base”.

Tabela 7: Dados básicos para formatação dos cenários

ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS PARA ESTUDO DE VTEA DE TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL EM DIVERSAS ESCALAS				
ESCALA		PEQUENA	MÉDIA	GRANDE
Produção de carvão	mdc/ano	15.000	50.000	100.000
Densidade	kg/mdc	220		
Produção-base	t/mês	275	917	1.833
IMA carvão	tCV/há.ano	5		
Floresta sob manejo	há	650	2.167	4.333
Raio médio	km	2,9	5,3	7,4
TECNOLOGIAS		CENÁRIOS		
Forno		S	S	S
Transporte de gases		N	S/N	S/N
Queima de gases		N	S/N	S/N
Condensação		S/N	S/N	S/N
Secagem		N	S/N	S/N
Peneiramento		S/N	S/N	S/N
Mecanização		N	S	S
Energia elétrica		N	S/N	S
PRODUÇÃO				
Carvão	f(RG)			
Condensáveis	kg/tCV	Onde houver aproveitamento - quantificar e precificar, senão=emissões		
Finos	%< 9,52 mm	Sem mecanização = sem excesso na usina; com mecanização=10% excesso de finos (usina x UPC)		
CAPEX	R\$/módulo			
OPEX	R\$/tCV			
RECEITAS				
Carvão	R\$/tCV			
Bioóleo	R\$/kg			
Finos	R\$/tCV			
CASH FLOW				
VPL/TIR/PB				
IMPACTO AMBIENTAL				
Emissões p/RG	kgCO <sup>2</sup> /tCV			
LIMITANTES-temas Prod. 1 e2				

Modelos disponíveis			
	PEQUENA	MÉDIA	GRANDE
Modelo	Circular	FR-P	FR-G
Referência	JG/SD	Guax.	FR390

Fonte: Elaboração do autor

Na aba “Dados” estão todos os parâmetros operacionais e financeiros para os quatro modelos de fornos escolhidos, apresentadas em tabelas sequenciais, a fim de permitir o melhor entendimento dos dados de entrada.

A tabela 8 apresenta os dados de produção, rendimentos, ciclo operacional e indicadores de produtividade, investimentos e de operação e manutenção.

Tabela 8: Parâmetros operacionais dos fornos de produção de carvão vegetal

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	FCP	FCM	FRM	FRG
			VALOR			
Modelo de fornos	Diâmetro/Largura x altura x comprimento	um	3,8X2,0	5,5X2,2	3,5X4x10	4X2X32
Produção	Capacidade de carga	m <sup>3</sup> m	13	32	50	230
	Rendimento transformação	m <sup>3</sup> m/mdc	1,25	1,18	1,15	1,15
	Carvão produzido (CP)	mdc/mês	28	68	117	420
Ciclo	Total	dias	11	12	11	14
	Carga/Descarga	dias	1	1	1	1
	Carbonização	dias	4	4	4	5
	Resfriamento	dias	6	7	6	8
	Ciclos mensais	um/mês	2,7	2,5	2,7	2,1
Investimento	Incluindo terraplenagem, construção e demais infra estruturas	R\$/um	3.500	8.500	80.000	350.000
Indicadores	Manutenção	%P	4%	4%	4%	4%
	Vida útil	anos	3	5	10	15
	Valor residual	%P	5%	5%	10%	20%
	Produtividade pessoal	mdc/H.mês	80	150	200	250
	Custo pessoal	R\$/H.mês	1.500	1.750	1.750	2.000
	Produtividade máquina média	mdc/M.mês	2.000	2.000		
	Custo máquina média	R\$/M.mês	15.000	15.000		
	Produtividade máquina grande	mdc/M.mês			3.000	3.500
Custo máquina grande	R\$/M.mês			30.000	30.000	

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 9, a seguir, apresenta as informações sobre as três tecnologias complementares que atuam como alternativas à produção, diretamente ligadas aos coprodutos, associados às diferentes escalas de produção. Assim, por exemplo, para cada equipamento periférico (queimador, condensador, peneirador), estabeleceu-se o valor do recurso (investimento, produtividade), proporcional ao conjunto de operação. As informações foram levantadas pelo autor em diversos estudos desenvolvidos para empresas do setor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta).

Tabela 9: Indicadores dos equipamentos periféricos (tecnologias para coprodutos)

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	FCP	FCM	FRM	FRG
			VALOR			
Condensação	Equipamentos e materiais (P)	R\$/um	75.000	100.000	100.000	150.000
	Manutenção (% P)	%P	4%	4%	4%	4%
	Vida útil	anos	5	5	5	5
	Valor residual (% P)	%P	0	0	0	0
	Recuperação de bioóleo	kg/mdc	56	56	56	56
	Eficiência recuperação	%	60%	75%	75%	85%
	Produção líquida	kg/mdc	33,60	42	42	47,6
	Energia elétrica	kWh/kg	0,3	0,3	0,3	0,3
Queima de fumaças	Pessoal	mdc/H.mês	1500	2000	2000	2500
	Equipamentos e materiais (P)	R\$/um	60.000	80.000	80.000	100.000
	Transporte de fumaças	R\$/m	200	200	300	400
	Comprimento do trecho	m/forno	4	8	10	12
	Manutenção (% P)	%P	2	2	3	4
	Vida útil	anos	3	3	3	5
	Valor residual (% P)	%P	5%	5%	10%	20%
	Consumo de madeira	m³m/mdc	0,07	0,07	0,05	0,05
Peneiramento de finos	Pessoal	H.mês/um	2	2	2	2
	Equipamentos e materiais (P)	R\$/um	50.000	75.000	75.000	100.000
	Manutenção (% P)	%P	4	4	4	4
	Vida útil	anos	5	5	5	5
	Valor residual (% P)	%P	5%	5%	5%	5%
	Peneiramento	mdc/h	100	120	120	150
	Energia elétrica	kWh/mdc	0,1	0,1	0,1	0,1
	Pessoal	H.mês/um	1	1	1	1

Fonte: Elaboração do autor.

Finalizando essa aba, apresenta-se a tabela 10, que mostra as informações gerais sobre os demais investimentos comuns às plantas, bem como, valores referentes à logística da madeira. Apresenta também, os percentuais de BDI e a taxa utilizada para as análises de viabilidade. As informações foram levantadas pelo autor em diversos estudos desenvolvidos para empresas do setor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta).

Tabela 10: Indicadores gerais dos projetos, custos logísticos de madeira, BDI e taxa de remuneração.

ITEM	DESCRIÇÃO	UNIDADE	FCP	FCM	FRM	FRG
			VALOR			
Gerais	Investimento energia elétrica	R\$/um	60.000	80.000	80.000	120.000
	Terraplenagem	R\$/m <sup>2</sup>	10,00	10,00	15,00	25,00
	Terraplenagem	m <sup>2</sup> /forno	150	1.500	2.000	2.500
	Infra estruturas	R\$/um	20.000	20.000	40.000	40.000
	Vida útil	anos	20	20	20	20
	Valor residual (% P)	%P	0%	0%	0%	0%
	Manutenção global média	%P	4%	4%	4%	4%
	Custo da madeira em pé	R\$/m <sup>3</sup> m	32,00	32,00	32,00	32,00
	Custo de colheita	R\$/m <sup>3</sup> m	18,00	18,00	18,00	18,00
	Custo transporte primário	R\$/km	16,00	16,00	16,00	16,00
	Custo transporte primário	R\$/m <sup>3</sup> m	4,60	8,41	8,41	11,89
	Custo carga carvão	R\$/mdc	1,00	1,00	1,00	1,00
	Tarifa energia elétrica	R\$/kWh	0,35	0,35	0,35	0,35
Bonificação despesas indiretas (BDI)	Baixo	% custo FOB	5%			
	Médio	% custo FOB	10%			
	Alto	% custo FOB	15%			
Taxa remuneração capital		% a.a	12%			

Fonte: Elaboração do autor

Já a aba MP-CV apresenta as informações já mostradas na tabela 6, complementadas pelas informações de preços de mercado, levantados em diversos clientes do autor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta). Para compor os faturamentos de cada cenário específico. Também possui informações sobre coeficientes relacionados aos valores energéticos dos combustíveis, tanto dos coprodutos, quanto daqueles que podem ser substituídos, diante da alternativa de aplicação dos primeiros. Esses dados se encontram na tabela 11, abaixo.

Tabela 11: Preços de produtos, coprodutos e correlatos.

PREÇOS				
Preço CV - spot	F.O.B	R\$/mdc	100,00	-9,1
Preço CV - contratos	F.O.B	R\$/mdc	120,00	9,1
Preço CV - médio	F.O.B	R\$/mdc	110,00	0,0
Preço Biooleo	F.O.B	R\$/t	420,00	
Preço finos	F.O.B	R\$/t	160,00	
Gas natural	F.O.B	R\$/m <sup>3</sup>	1,25	
Óleo BPF	F.O.B	R\$/t	1.400,00	
VALORES ENERGIA-EMISSÕES				
Carvão vegetal - 78%CF		Mcal/t	6.474	
Moinha # 9,52 mm -CF 85%		Mcal/t	5.644	
Bioóleo		Mcal/t	6.600	
Óleo BPF		Mcal/t	9.600	
Gás natural		Mcal/t	11.200	
Coque verde		Mcal/t	8.200	
Gases de pirólise (GP)		Mcal/t	600	
Emissão GP		t/mdc	1,068	
Consumo geração EE-GN		m <sup>3</sup> /kWh	0,30	

Fonte: Elaboração do autor

Em relação aos preços do carvão vegetal (F.O.B), levantados em diversos clientes do autor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta), foram consideradas as diferenças de escalas das unidades produtivas e também o horizonte de produção, para aplicação em cada caso e formação no cálculo das receitas, em cada cenário. Não foi considerado o transporte até as usinas. Dessa forma, ficam niveladas as análises do ponto de vista da origem das produções, pelo fato de que essas ocorrem em diversos pontos do estado (Minas Gerais).

A aba “Cenários” organiza as informações referentes a todas as demais, para os cenários em cada escala, e calcula os recursos e investimentos necessários, custos de produção, composição das receitas dos produtos vendidos e os fluxos de caixa (anual e acumulado), bem como, a análise econômica. Para efeito de melhor visualização no corpo do relatório, as tabelas a seguir mostram as colunas com os parâmetros (somente a primeira coluna à direita) referentes à produção em pequena escala, ou seja, apenas 4 dos 16 cenários estudados (tabela 5).

A tabela 12 mostra a composição dos cenários. Essa tabela é semelhante à tabela 5.

Tabela 12: Composição dos cenários com os modelos de fornos e periféricos.

ESCALA		PEQUENA ESCALA			
Produção	Cenário	mdc/ano	15.000		
		1	2	3	4
EQUIPAMENTO	ITEM				
Forno					
Circular Pequeno	opção	1	1	1	1
Circular Médio	opção	0	0	0	0
Retangular Médio	opção	0	0	0	0
Retangular Grande	opção	0	0	0	0
Periféricos					
Transporte de fumaças	opção	0	0	0	1
Queima de fumaças	opção	0	0	0	1
Condensação	opção	0	1	0	0
Peneriamento	opção	0	0	1	0
Mecanização	opção	0	0	1	0
Energia elétrica	opção	0	1	1	0

Fonte: Elaboração do autor.

Uma entrada de dados binária (0 = não ou 1 = sim) determina a participação de cada EQUIPAMENTO (forno ou periférico), na composição dos cenários. Outras opções poderão ser estudadas livremente, devendo-se observar certas coerências para sua aplicação, como por exemplo, a existência de “energia elétrica”, quando os equipamentos assim requererem essa utilidade.

A tabela 13 apresenta o dimensionamento dos equipamentos em unidades necessárias para atender a cada cenário, bem como, os investimentos equivalentes, utilizando os dados das tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 13: Dimensionamento e investimentos.

EQUIPAMENTOS	Cenário	1	2	3	4
Fornos por unidade	um	45	45	45	45
Transporte de fumaças	m	0	0	0	178
Queima de fumaças	um/100 m	0	0	0	2
Condensação	um/25000 mdc	0	1	0	0
Peneriamento	um/100000	0	0	1	0
Mecanização	um/mês	0	0	1	0
INVESTIMENTOS	Cenário	1	2	3	4
Fornos	R\$ x 1.000	156	156	156	156
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	36
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	107
Condensação	R\$ x 1.000	-	75	-	-
Peneriamento	R\$ x 1.000	-	-	50	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	-	60	60	-
Terraplenagem	R\$ x 1.000	67	67	67	67
Infra estrutura	R\$ x 1.000	20	20	20	20
Total	R\$ x 1.000	243	378	353	385

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 14 apresenta o Custo Operacional da produção de carvão vegetal e das operações envolvendo os coprodutos, com base nos levantamentos em diversos clientes do autor (onde é mantido o sigilo das fontes de consulta).

Tabela 14: Custo operacional de produção de carvão vegetal e coprodutos.

CUSTO OPERACIONAL	Cenário	1	2	3	4
Depreciação	R\$/mdc	3,58	4,28	4,10	6,59
Madeira	R\$/mdc	40,00	40,00	40,00	40,00
Colheita	R\$/mdc	22,50	22,50	22,50	22,50
Transporte	R\$/mdc	5,76	5,76	5,76	5,76
Mão de obra	R\$/mdc	18,75	18,75	11,25	18,75
Máquinas	R\$/mdc	0,00	0,00	12,00	0,00
Manutenção	R\$/mdc	0,65	1,01	0,94	1,03
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	4,78
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	2,40
Condensação	R\$/mdc	0,00	12,00	0,00	0,00
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00	1,24	0,00
Subtotal	R\$/mdc	92,23	105,29	98,78	102,80
BDI	R\$/mdc	4,61	5,26	4,94	5,14
Total	R\$/mdc	96,84	110,56	103,71	107,94
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	93,26	106,28	99,62	101,35

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 15 apresenta a composição da produção, das receitas (faturamento bruto) e dos resultados financeiros de custo unitário, calculados com base nos valores e dados identificados para cada cenário.

Tabela 15: Composição das receitas e resultados unitários

RECEITAS	Cenário	1	2	3	4
Carvão	R\$/ano	1.500.000	1.500.000	1.410.000	1.500.000
Bioóleo	R\$/ano	-	211.680	-	-
Finos	R\$/ano	-	-	52.800	-
Total		1.500.000	1.711.680	1.462.800	1.500.000
Receita unitária	R\$/mdc	100,00	114,11	97,52	100,00
		-			-
Receita-custo	R\$/mdc	3,16	3,55	- 6,19	- 7,94

Fonte: Elaboração do autor.

Assim, pode-se verificar, do ponto de vista estrito do resultado operacional, qual a melhor alternativa a adotar, seja, a de maior valor positivo de receita-custo.

A tabela 16, por sua vez, apresenta os fluxos de caixa, simples e acumulado, bem como, os resultados para os indicadores e desempenho de cada cenário (VPL e TIR).

Tabela 16: Fluxos de caixa e resultados econômicos.

FLUXO DE CAIXA (R\$)	Cenário	1	2	3	4
Ano 0		- 242.578	- 377.578	- 352.578	- 385.028
Ano 1		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 2		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 3		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 4		- 54.757	- 38.328	- 185.402	- 176.047
Ano 5		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 6		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 7		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 8		- 54.757	- 38.328	- 185.402	- 176.047
Ano 9		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 10		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 11		101.048	117.477	- 29.597	- 20.242
Ano 12					
Ano 13					
Ano 14					
Ano 15					
<b>FLUXO DE CAIXA-ACUM</b>					
Ano 0		- 242.578	- 377.578	- 352.578	- 385.028
Ano 1		- 141.531	- 260.101	- 382.175	- 405.270
Ano 2		- 40.483	- 142.624	- 411.772	- 425.512
Ano 3		60.565	- 25.147	- 441.369	- 445.754
Ano 4		5.808	- 63.474	- 626.771	- 621.801
Ano 5		106.856	54.003	- 656.367	- 642.043
Ano 6		207.903	171.480	- 685.964	- 662.284
Ano 7		308.951	288.957	- 715.561	- 682.526
Ano 8		254.194	250.629	- 900.963	- 858.573
Ano 9		355.242	368.107	- 930.560	- 878.815
Ano 10		456.290	485.584	- 960.156	- 899.057
Ano 11		557.337	603.061	- 989.753	- 919.298
Ano 12					
Ano 13					
Ano 14					
Ano 15					
<b>Avaliação</b>	<b>Cenário</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
VPL		174.526	141.091	- 616.303	- 595.681
TIR		30,3%	21,5%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaboração do autor.

Nessa tabela, pode ser observada a formação das receitas totais anuais ao longo da duração do empreendimento, sinalizando para o investidor qual a expectativa de entrada de valores positivos, que remunerem o investimento inicial aportado. O item

Avaliação apresenta dois indicadores-chave para a análise de viabilidade de cada nível de investimento. O VPL (Valor Presente Líquido) indica qual o melhor resultado positivo do investimento é obtido em cada cenário. Complementarmente, a análise da TIR (Taxa Interna de Retorno) apresenta os valores acima da taxa de desconto, ou taxa de remuneração do capital, estipulada em 12% ao ano, que satisfazem o resultado do negócio. Esta deve ser a maior possível, comparativamente entre os cenários, para as mesmas escalas de produção. A taxa de desconto também é particular a expectativa de remuneração que o empreendedor deseja, em comparação com outras opções que ele possa ter. O valor ora adotado foi obtido pela consulta a diversos clientes do autor.

A tabela 17 apresenta os valores para as emissões de gases (na forma de fumaças), calculados com base em estudos desenvolvidos pelo autor, a partir de campanhas em campo, em empresas do setor. Essas emissões foram transformadas em conteúdo energético, o qual pode ser considerado para todos os coprodutos, recuperados ou não. Assim, podem-se avaliar as emissões, de acordo com o balanço energético específico de cada cenário, não somente para as emissões gasosas (que contém os gases de efeito estufa - GEE), mas para os demais coprodutos (bio-óleo e moinha) Esses valores podem ser precificados e valorizar, de certa forma, as opções que contemplam o aproveitamento dos coprodutos, funcionando como uma espécie de “*bonificação por serviços ambientais*”, pela emissão evitada ou substituição de produtos fósseis de aplicação equivalente.

Tabela 17: Balanço das emissões do carvão vegetal e coprodutos associados.

EMISSÕES	CENÁRIO	1	2	3	4
Fumaças	t/ano	16.020	16.020	16.020	16.020
Fumaças	Gcal/ano	9.612	9.612	9.612	9.612
Evitado					
Moinha	Gcal/ano	-	-	1.863	-
Condensados	Gcal/ano	-	3.326	-	-
	CENÁRIO	1	2	3	4
Emissão líquida	Gcal/ano	9.612	6.286	7.749	1.922
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,42	0,52	0,13
Redução/base	%	0,0	-34,6	-19,4	-80,0

Fonte: Elaboração do autor.

Para exemplificação dessa premissa, tome-se o cenário 1 (ver tabela 5) para uma produção anual em pequena escala de 15.000 mdc. Pela tabela 11, verifica-se que a taxa de emissão das fumaças seria da ordem de 1,068 t para cada metro de carvão vegetal produzido. Essas possuem um poder calorífico de 600 Mcal por tonelada. Então, uma produção nessa escala emitiria o equivalente a uma energia liberada de 9.612 Gcal/ano. Como nesse cenário não há recuperação de coprodutos, não haveria nenhuma emissão evitada a ser contabilizada como benefício ambiental adicional. Porém, observa-se que nos demais cenários esse fato ocorre. No caso do cenário 2, onde acontece a recuperação do bio-óleo, a produção do condensado de 504 t/ano, com um poder calorífico inferior de 6.600 Mcal/tonelada, representa uma energia equivalente de 3.326 Gcal/ano. Assim, descontando-se a energia liberada pelas fumaças (sem recuperação), da energia contida nos condensados, haveria uma liberação líquida de energia da ordem de 6.286 Gcal/ano, significando uma redução de 34,6% em relação à base de estudo (produção de carvão vegetal, exclusivamente). Raciocínio análogo poderia ser feito para a moinha gerada. Nesse caso pode ser considerado que um combustível fóssil, por exemplo, poderia ter sua emissão evitada, pela equivalente substituição da moinha. Por fim, para o caso da queima das fumaças, considera-se que o abatimento dos gases (condensáveis e GNC's) seria a ordem de 80% (Costa, 2012).

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise dos resultados foi elaborada para cada escala de produção, conforme registrado nesta seção. Dentro de cada escala, procurou-se equalizar os fluxos de caixa, para que os investimentos em equipamentos de maior vida útil pudessem participar com a sua produção e receita, e assim, equilibrar os resultados em cada cenário.

Para cada escala foram construídos quatro cenários, sendo que o cenário base considera que a praça de carbonização produz exclusivamente carvão vegetal. Os três cenários alternativos, por sua vez, consideram a incorporação dos seguintes processos, respectivamente: a produção de bio-óleo (condensação de gases), a separação da moinha (por inclusão do peneiramento) e a queima das fumaças.

As seguintes premissas foram utilizadas na análise:

- A produção de pequena escala atua principalmente no mercado *spot*, ou seja, em transações em que a entrega do carvão vegetal é imediata e o pagamento é feito à vista, sem a formalização de contratos de fornecimento;
- Na produção em média escala foram considerados dois tipos de fornos de produção e duas formas de atendimento ao mercado:
  - Produção com fornos circulares, com menor escala de mecanização e, portanto, com um menor nível de investimento em estrutura civil. Neste modelo de produção, o preço do carvão é formado um *mix* entre os preços de mercado *spot* (mais baixos) e aqueles formados a partir de contratos com maior duração (preços mais elevados);
  - Em segundo lugar, produção de média escala com fornos retangulares, mais estruturados e resistentes, com horizonte de produção mais longo. Por sua vez, trabalha com a venda firme da forma de contratos de maior duração ou de suprimento a usinas integradas, com melhor preço;
- A produção de bio-óleo encontra mercado e é vendida sem obstáculos pelo produtor, desde que a qualidade do produto seja garantida;
- As emissões são calculadas em Gcal/ano, para cada cenário, envolvendo ou não, a participação de um coproduto. Isso permite estabelecer parâmetros comparativos, com as emissões de outros tipos de produtos (combustíveis substitutos, p.ex);
- A adoção de tecnologias acessórias, tais como a energia elétrica ou a mecanização em diferentes níveis, está associada a estratégias empresariais (expectativa de tempo para duração do negócio, p. ex.), ou fatores locais, como por exemplo, a existência de rede de energia próxima ao local escolhido para a localização da planta;
- O valor adotado para a “madeira em pé” (madeira em ponto de corte para processamento), considerou os custos de formação da floresta médios, praticados para as regiões de topografia plana em Minas Gerais. Considerando também, uma produtividade média para dois cortes de produção (14 anos).

#### 4.1 PEQUENA ESCALA

Nos cenários estudados para produção de pequena escala (15.000 mdc/ano), considerando-se praças de carbonização com 45 fornos circulares pequenos (3,8x2m), observou-se a seguinte distribuição dos investimentos por cenário, apresentada na tabela 18<sup>3</sup>.

Tabela 18: Investimentos em equipamentos e infraestrutura para pequena escala de produção.

INVESTIMENTOS		1	2	3	4
Fornos	R\$ x 1.000	156	156	156	156
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	36
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	107
Condensação	R\$ x 1.000	-	75	-	-
Peneiramento	R\$ x 1.000	-	-	50	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	-	60	60	-
Terraplenagem	R\$ x 1.000	67	67	67	67
Infra estrutura	R\$ x 1.000	20	20	20	20
Total	R\$ x 1.000	243	378	353	385

Fonte: Elaboração do autor.

Para a produção em pequena escala, qualquer adição de um novo arranjo produtivo, que vise explorar um coproduto, impacta consideravelmente no nível de investimentos. Os acréscimos se dão respectivamente: 56% para a adoção da produção de bio-óleo (cenário 2); 45% para o peneiramento (cenário 3) e 58% para a introdução do sistema de queima (cenário 4). Para o aproveitamento dos coprodutos (moinha ou condensados) os investimentos praticamente se equivalem (7%), porém, são ainda 50% superiores, em média, aos da planta-base.

<sup>3</sup> Os valores considerados são aqueles registrados nas tabelas de 8 a 10 (disponíveis no arquivo anexo, "Cenários VTEA-Produto 4", aba "Dados").

Em relação ao custo operacional, a tabela 19 apresenta os resultados.

Tabela 19: Custo operacional para produção em pequena escala.

CUSTO OPERACIONAL	Cenário	1	2	3	4
Depreciação	R\$/mdc	3,58	4,28	4,10	6,59
Madeira	R\$/mdc	40,00	40,00	40,00	40,00
Colheita	R\$/mdc	22,50	22,50	22,50	22,50
Transporte	R\$/mdc	5,76	5,76	5,76	5,76
Mão de obra	R\$/mdc	18,75	18,75	11,25	18,75
Máquinas	R\$/mdc	0,00	0,00	12,00	0,00
Manutenção	R\$/mdc	0,65	1,01	0,94	1,03
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	4,78
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	2,40
Condensação	R\$/mdc	0,00	12,00	0,00	0,00
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00	1,24	0,00
Subtotal	R\$/mdc	92,23	105,29	98,78	102,80
BDI	R\$/mdc	4,61	5,26	4,94	5,14
Total	R\$/mdc	96,84	110,56	103,71	107,94
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	93,26	106,28	99,62	101,35

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que os maiores elementos de custo, para todos os cenários, são a madeira (considerada a um custo de R\$ 32,00 /m<sup>3</sup>m), a colheita e a mão de obra na carbonização. Em média, representam 76% do custo total. O maior custo unitário é o que considera o cenário com condensação dos gases (cenário 2). Observa-se que a mecanização parcial (cenário 3) das atividades não foi suficiente para reduzir os custos somados de máquinas e mão de obra, pois o nível de mecanização é limitado pelo tipo de forno (tamanho e acesso). A introdução da queima de fumaças é a que apresenta o pior resultado de custos (total, com depreciação).

Em relação ao comportamento das receitas, apresentado na tabela 20, observa-se que a venda do bio-óleo (cenário 2) acrescentou um ganho adicional de 14% em relação à produção exclusiva de carvão vegetal (cenário 1), enquanto a de moinha reduziu a receita global em 2,5%. Isso se dá porque, ao adicionar o peneiramento, desconta-se em torno de 6% ao volume total de carvão produzido, para separar a moinha (ao nível de 10% do peso total), sendo que o valor da moinha é inferior ao do carvão vegetal bruto. Não foram considerados ganhos de qualidade e benefícios de logística, que poderiam melhorar o preço de venda da moinha. A produção de bio-óleo representa

uma receita de 12%, correspondendo a um volume mensal de 42 toneladas ou, aproximadamente, 1,4 tonelada diária. Esse volume pode ser considerado pouco relevante (suficiente para substituição de 0,5 t de vapor por hora apenas)<sup>4</sup>. Porém, pode representar um indicador para a busca de um número maior de produtores, que possam fazer frente a um fornecimento em maior escala (*pool*). Pode ser interessante, por exemplo, se estiverem estrategicamente localizados em relação a uma fonte de consumo estável.

As receitas para o carvão vegetal foram consideradas como sendo oriundas de vendas em 100% para o mercado *spot* (caracterizado por baixo poder de negociação entre clientes e fornecedores).

Tabela 20: Receitas e custo operacional líquido para a produção em pequena escala.

RECEITAS	Cenário	1	2	3	4
Carvão	R\$/ano	1.500.000	1.500.000	1.410.000	1.500.000
Bioóleo	R\$/ano	-	211.680	-	-
Finos	R\$/ano	-	-	52.800	-
Total		1.500.000	1.711.680	1.462.800	1.500.000
Receita unitária	R\$/mdc	100,00	114,11	97,52	100,00
		-			-
Receita-custo	R\$/mdc	3,16	3,55	6,19	7,94

Fonte: Elaboração do autor.

Do fluxo de caixa então, a tabela 21 apresenta os resultados:

Tabela 21: Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em pequena escala.

Avaliação	Cenário	1	2	3	4
VPL		174.526	141.091	- 616.303	- 595.681
TIR		30,3%	21,5%	0,0%	0,0%

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se que para as condições de valores adotados (madeira a R\$ 32,00/m<sup>3</sup>m e carvão vegetal F.O.B, 100% para o mercado *spot*, a R\$ 100,00/mdc), os resultados para os dois primeiros cenários (1) Produção de carvão, exclusivamente e (2) venda adicional de bio-óleo, superam a taxa de atratividade definida (12% ao ano). O cenário

<sup>4</sup> 0,5 tonelada de vapor por hora é considerado o consumo de uma caldeira de baixa potência térmica (0,38 MWt)

2 apresenta uma redução na atratividade em relação ao cenário 1. Para um equilíbrio de resultados, por exemplo, o valor do bio-óleo deveria estar em R\$ 474,00/t (13% acima do projetado). Para atratividade mínima considerada (12% ao ano) do cenário 3, a moinha deveria ser comercializada a pelo menos R\$ 534,00/t, o que representaria um acréscimo de 234 % no valor inicial estipulado, ou cerca de 27 % superior ao valor do carvão vegetal bruto, no mercado *spot*.

Em relação às emissões, a tabela 22, abaixo, apresenta os resultados.

Tabela 22: Emissões para os cenários de pequena escala.

EMISSÕES	CENÁRIO	1	2	3	4
Fumaças	t/ano	16.020	16.020	16.020	16.020
Fumaças	Gcal/ano	9.612	9.612	9.612	9.612
Evitado					
Moinha	Gcal/ano	-	-	1.863	-
Condensados	Gcal/ano	-	3.326	-	-
	CENÁRIO	1	2	3	4
Emissão líquida	Gcal/ano	9.612	6.286	7.749	1.922
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,42	0,52	0,13
Redução/base	%	0,0	-34,6	-19,4	-80,0

Fonte: Elaboração do autor.

Excetuando a queima das fumaças (cenário 4), a produção de bio-óleo traria a maior redução de emissões em relação à linha de base (cenário 1). Como citado, a eventual bonificação desse efeito redutor de emissões, implicaria em alterações positivas também nos fluxos de caixa dessas opções.

#### 4.2 MÉDIA ESCALA

Como comentado, para a produção em média escala (50.000 mdc/ano) foram elaborados dois conjuntos de cenários que consideram duas tecnologias de fornos diferentes. A primeira com a utilização de fornos circulares de maior capacidade (em relação aos utilizados em pequena escala), com possibilidade de mecanização parcial e com vida útil superior. Essa pode ser uma opção para empreendimentos que têm uma visão um pouco maior de fornecimento ao mercado, e seu *mix* de vendas pode atender tanto ao mercado *spot*, quanto a contratos mais firmes e com remuneração melhor no valor de venda do carvão vegetal. A segunda opção considera o

investimento em fornos de maior durabilidade (estruturados e de maior intensidade de mecanização), que tem uma vida útil superior, aos fornos circulares para a mesma escala de produção. Para esta opção, considerou-se a venda firme na forma de contratos de maior duração ou de suprimento a usinas integradas, com melhor preço. Inicialmente, são apresentados os resultados para cada conjunto de tecnologias em cada subgrupo (circular e retangular).

#### 4.2.1 MÉDIA ESCALA – FORNO CIRCULAR

A tabela 23 apresenta o nível de investimentos para os cenários avaliados para a produção de média escala com 61 fornos circulares médios (5,5x2,2m) na praça de carbonização.

Tabela 23: Investimentos em unidade com fornos circulares para produção em média escala.

INVESTIMENTOS		5	6	7	8
Fornos	R\$ x 1.000	522	522	522	522
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	98
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	393
Condensação	R\$ x 1.000	-	200	-	-
Peneiramento	R\$ x 1.000	-	-	75	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	-	80	80	80
Terraplenagem	R\$ x 1.000	922	922	922	922
Infra estrutura	R\$ x 1.000	20	20	20	20
Total	R\$ x 1.000	1.464	1.744	1.619	2.036

Fonte: Elaboração do autor.

Para esta opção, considera-se o uso de mecanização em todos os cenários. A energia elétrica não é considerada no cenário 5 (exclusivamente produção de carvão vegetal). Os acréscimos no investimento necessário, em relação à linha de base (cenário 5) são: 11 % para o peneiramento (cenário 7), 19 % para a produção de bio-óleo (cenário 6) e 39% para a implantação de queimadores de fumaça (cenário 8). Os valores para o transporte de gases e para as células de queima, aos preços praticados atualmente, superam consideravelmente os equipamentos ditos “produtivos”, como os recuperadores e peneiradores. São temas a evoluir, do ponto de vista dos projetos de

engenharia (*lay outs* das plantas, materiais, etc.). Esses assuntos serão abordados no produto 4, da consultoria.

A tabela 24 apresenta os resultados dos custos operacionais.

Tabela 24: Custos operacionais - fornos circulares para média escala

CUSTO OPERACIONAL	Cenário	5	6	7	8
Depreciação	R\$/mdc	2,93	3,41	3,15	6,12
Madeira	R\$/mdc	37,76	37,76	37,76	37,76
Colheita	R\$/mdc	21,24	21,24	21,24	21,24
Transporte	R\$/mdc	9,92	9,92	9,92	9,92
Mão de obra	R\$/mdc	11,67	11,67	11,67	11,67
Máquinas	R\$/mdc	10,80	10,80	10,80	10,80
Manutenção	R\$/mdc	1,17	1,40	1,30	1,63
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	4,82
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	0,84
Condensação	R\$/mdc	0,00	10,50	0,00	0,00
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00	0,46	0,00
Subtotal	R\$/mdc	96,48	107,69	97,29	105,80
BDI	R\$/mdc	9,65	10,77	9,73	10,58
Total	R\$/mdc	106,13	118,46	107,01	116,38
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	103,21	115,05	103,86	110,26

Fonte: Elaboração do autor.

Estão próximos os custos dos cenários 5 (base) e 7 (peneiramento) e dos cenários 6 (condensação) e 8 (queima de fumaças), ou seja, adotar o peneiramento não implicaria muito no aumento do custo operacional (1,0%).

Em todos os cenários, os custos somados de mão de obra e mecanização representam, em média, cerca de 20% do custo total. É importante então, observar o quanto as atividades devem ser mecanizadas, considerando a dependência de mão de obra, e os efeitos e limitações no modelo de forno utilizado (estratégias empresariais).

Para a composição das receitas, observa-se pela tabela 25, que a produção de bio-óleo (cenário 6) agrega 16% às receitas do cenário-base, enquanto o peneiramento (cenário 7) reduz esse valor em 2,8 %.

Para o carvão vegetal, a premissa pela qual a maior escala de produção leva a uma composição de preços entre o mercado *spot* e contratos de maior duração confere um valor superior médio de 10%.

Tabela 25: Receitas e custo operacional líquido para a produção com fornos circulares, para média escala.

RECEITAS	Cenário	5	6	7	8
Carvão	R\$/ano	5.500.000	5.500.000	5.170.000	5.500.000
Bioóleo	R\$/ano	-	882.000	-	-
Finos	R\$/ano	-	-	176.000	-
Total		5.500.000	6.382.000	5.346.000	5.500.000
Receita unitária	R\$/mdc	110,00	127,64	106,92	110,00
Receita-custo	R\$/mdc	3,87	9,18	- 0,09	- 6,38

Fonte: Elaboração do autor.

Considerando então o fluxo de caixa apresentado na tabela 26, observa-se uma agregação de valor dada pela produção de bio-óleo, enquanto o peneiramento e a queima das fumaças reduzem a atratividade.

Para atratividade mínima (12 % ao ano) da comercialização da moinha (cenário 7), o preço deveria ser de R\$ 343,00/t , ou 114% superior do estipulado inicialmente.

Tabela 26 Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em média escala (fornos circulares).

Avaliação	Cenário	5	6	7	8
VPL		170.201	1.380.872	- 957.606	- 2.119.332
TIR		15,3%	32,0%	-9,3%	0,0%

Fonte: Elaboração do autor.

Para a produção do bio-óleo, a agregação de valor é clara, pois aproveita-se um produto que era emitido para atmosfera. Nesse caso há uma relação investimento/receita, satisfatória para o fluxo de caixa. No caso do peneiramento, um melhor resultado só seria possível se os benefícios de qualidade e logística fossem refletidos nos preços tanto do carvão vegetal, quanto da moinha comercializada.

Em relação às emissões, a tabela 27 apresenta o comportamento das reduções em relação à linha de base (cenário 5). O bio-óleo supera a moinha, uma vez que, sua produção total é 91% superior em peso, tendo um poder calorífico 16% maior.

Tabela 27: Emissões para os cenários de média escala – fornos circulares.

EMISSIONES	CENÁRIO	5	6	7	8
Fumaças	t/ano	53.400	53.400	53.400	53.400
Fumaças	Gcal/ano	32.040	32.040	32.040	32.040
Evitado					
Moinha	Gcal/ano	-	-	6.208	-
Condensados	Gcal/ano	-	13.860	-	-
	CENÁRIO	5	6	7	8
Emissão líquida	Gcal/ano	32.040	18.180	25.832	6.408
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,36	0,52	0,13
Redução/base	%	0,0	-43,3	-19,4	-80,0

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.2.2 MÉDIA ESCALA – FORNO RETANGULAR

Os cenários aqui analisados consideraram praças de carbonização com 35 fornos retangulares médios (3,5x4x10 m).

O nível de investimentos em fornos (cenário 9) é consideravelmente maior do que o necessário para fornos circulares médios (ver tabela 23). Na escala aqui analisada, as diferenças entre os totais de cada cenário alternativo (cenários 10, 11 e 12) ao cenário base (9) são maiores (7%; 4% e 12%, respectivamente), como apresentado na tabela 28. Assim, nessa opção, o investidor pode optar pela construção de somente a planta de carbonização (cenário 9) e agregar outras tecnologias assim que a situação lhe for mais atrativa, como por exemplo, a consolidação do mercado de bio-óleo.

Tabela 28: Investimentos em unidade com fornos retangulares para produção em média escala.

INVESTIMENTOS		9	10	11	12
Fornos	R\$ x 1.000	2.840	2.840	2.840	2.840
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	106
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	-	284
Condensação	R\$ x 1.000	-	200	-	-
Peneriamento	R\$ x 1.000	-	-	75	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	-	80	80	80
Terraplenagem	R\$ x 1.000	1.065	1.065	1.065	1.065
Infra estrutura	R\$ x 1.000	40	40	40	40
Total	R\$ x 1.000	3.944	4.224	4.099	4.415

Fonte: Elaboração do autor.

Todas as opções contemplam a mecanização e o cenário 9 (somente produção de carvão vegetal) não contempla a utilização de energia elétrica.

Em relação aos custos operacionais, a depreciação passa a ter uma maior participação, ao contrário da mão de obra, que decai pelo maior grau de mecanização (aumento de produtividade). Essas informações estão apresentadas na tabela 29.

Tabela 29: Custos operacionais - fornos retangulares para média escala.

CUSTO OPERACIONAL	Cenário	9	10	11	12
Depreciação	R\$/mdc	6,22	6,70	6,44	8,64
Madeira	R\$/mdc	36,80	36,80	36,80	36,80
Colheita	R\$/mdc	20,70	20,70	20,70	20,70
Transporte	R\$/mdc	9,67	9,67	9,67	9,67
Mão de obra	R\$/mdc	8,75	8,75	8,75	8,75
Máquinas	R\$/mdc	14,40	14,40	14,40	14,40
Manutenção	R\$/mdc	3,16	3,38	3,28	3,53
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	3,36
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	0,00	0,00	0,84
Condensação	R\$/mdc	0,00	10,50	0,00	0,00
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00	0,46	0,00
Subtotal	R\$/mdc	100,69	111,90	101,49	107,69
BDI	R\$/mdc	10,07	11,19	10,15	10,77
Total	R\$/mdc	110,76	123,09	111,64	118,45
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	104,54	116,39	105,20	109,82

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 30 apresenta as informações para o comportamento das receitas. Como comentado, esse tipo de investimento, de maior maturação e de fornos mais estruturados, vem acompanhado de uma estratégia de participação no mercado em que se obtêm preços de venda melhores (contratos firmes). Assim, as receitas unitárias são superiores também.

Tabela 30: Receitas e custo operacional líquido para a produção com fornos retangulares, para média escala.

RECEITAS	Cenário	9	10	11	12
Carvão	R\$/ano	6.000.000	6.000.000	5.640.000	6.000.000
Bioóleo	R\$/ano	-	882.000	-	-
Finos	R\$/ano	-	-	176.000	-
Total		6.000.000	6.882.000	5.816.000	6.000.000
Receita unitária	R\$/mdc	120,00	137,64	116,32	120,00
Receita-custo	R\$/mdc	9,24	14,55	4,68	1,55

Fonte: Elaboração do autor.

Contudo, pelo fluxo de caixa e a avaliação dos cenários, como apresentado na tabela 31, há uma pequena diferença entre o cenário-base (9) e o cenário 10 (bio-óleo). Uma melhoria de produção (rendimento) ou preços do bio-óleo, nesse último cenário, pode aumentar consideravelmente sua atratividade. O resultado do peneiramento foi melhor, em relação ao cenário equivalente com fornos circulares (cenário 7), pois as receitas do cenário 11 foram alavancadas pelo melhor preço de produção do carvão vegetal, o que demonstra que esse fato (melhor preço) pode ser atingido via melhoria da qualidade também.

Tabela 31: Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em média escala (fornos retangulares).

Avaliação	Cenário	9	10	11	12
VPL		377.699	358.517	39.755	- 252.566
TIR		14,6%	14,4%	12,3%	10,5%

Fonte: Elaboração do autor.

Um provável tratamento da valorização das emissões poderia deslocar os resultados da atratividade dos cenários opcionais ao da linha de base, para uma melhor situação, como um fator de receita adicional, para todos os coprodutos, tanto na redução da emissão direta pela queima das fumaças, quanto pela valorização bio-óleo e moinha, como substitutos de combustíveis fósseis. Os indicadores nesse sentido apresentam-se na tabela 32.

Tabela 32: Emissões para os cenários de média escala – fornos retangulares.

EMISSÕES	CENÁRIO	9	10	11	12
Fumaças	t/ano	53.400	53.400	53.400	53.400
Fumaças	Gcal/ano	32.040	32.040	32.040	32.040
Evitado					
Moinha	Gcal/ano	-	-	6.208	-
Condensados	Gcal/ano	-	13.860	-	-
	CENÁRIO	9	10	11	12
Emissão líquida	Gcal/ano	32.040	18.180	25.832	6.408
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,36	0,52	0,13
Redução/base	%	0,0	-43,3	-19,4	-80,0

Fonte: Elaboração do autor.

### 4.3 GRANDE ESCALA

Os investimentos para essa escala de produção são consideravelmente maiores, haja vista, a adoção de fornos retangulares de maior porte (20 fornos de 4x4x32m), com nível de mecanização mais avançado e concepção do projeto civil elaborado para conferir maior resistência e vida útil ao equipamento. Como podem ser observadas pela tabela 33, as diferenças entre os cenários são pequenas (em média 4 %, em relação ao cenário-base), devido à forte participação do investimento em fornos (cerca de 80% em todos os cenários).

Tabela 33: Investimentos para produção em grande escala – fornos retangulares.

INVESTIMENTOS		13	14	15	16
Fornos	R\$ x 1.000	6.944	6.944	6.944	6.944
Transporte de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	95	95
Queima de fumaças	R\$ x 1.000	-	-	238	238
Condensação	R\$ x 1.000	-	600	-	-
Peneriamento	R\$ x 1.000	-	-	100	-
Energia elétrica	R\$ x 1.000	120	120	120	120
Terraplenagem	R\$ x 1.000	1.240	1.240	1.240	1.240
Infra estrutura	R\$ x 1.000	40	40	40	40
Total	R\$ x 1.000	8.345	8.945	8.778	8.678

Fonte: Elaboração do autor.

Com isso, o custo operacional (tabela 34), é pouco influenciado pela depreciação (cerca de 5% superior em relação ao cenário-base). O destaque para o custo é o item transporte. Por serem unidades de maior escala, a abrangência das áreas de produção de madeira é maior, os custos médios de transporte se elevam proporcionalmente.

Tabela 34: Custos operacionais - fornos retangulares para grande escala.

CUSTO OPERACIONAL	Cenário	13	14	15	16
Depreciação	R\$/mdc	4,40	5,00	5,03	4,94
Madeira	R\$/mdc	36,80	36,80	36,80	36,80
Colheita	R\$/mdc	20,70	20,70	20,70	20,70
Transporte	R\$/mdc	13,67	13,67	13,67	13,67
Mão de obra	R\$/mdc	8,00	8,00	8,00	8,00
Máquinas	R\$/mdc	10,80	10,80	10,80	10,80
Manutenção	R\$/mdc	3,34	3,58	3,51	3,47
Madeira no queimador	R\$/mdc	0,00	0,00	3,56	3,56
Carga	R\$/mdc	1,00	1,00	1,00	1,00
Queima de fumaças	R\$/mdc	0,00	0,00	0,48	0,48
Condensação	R\$/mdc	0,00	9,60	0,00	0,00
Peneiramento	R\$/mdc	0,00	0,00	0,28	0,00
Subtotal	R\$/mdc	98,71	109,16	103,83	103,42
BDI	R\$/mdc	14,81	16,37	15,57	15,51
Total	R\$/mdc	113,52	125,53	119,40	118,93
Total (sem depreciação)	R\$/mdc	109,12	120,53	114,37	113,99

Fonte: Elaboração do autor.

A tabela 35 apresenta a formação das receitas para os diferentes cenários. Nela se observa a expressiva contribuição da produção de bio-óleo na melhoria do fator receita-custo. Isso se justifica pelo fato de que nesse tipo de escala de produção, há um bom aproveitamento do bio-óleo, dada pela maior capacidade dos fornos em fornecer gases condensáveis, permitindo maior rendimento dos equipamentos de recuperação. No caso do peneiramento, o fator de elevação do preço de venda do carvão vegetal, não foi suficiente para compensar um maior custo operacional (principalmente, devido ao custo do transporte).

Tabela 35: Receitas e custo operacional líquido para a produção com fornos retangulares, para grande escala.

RECEITAS	Cenário	13	14	15	16
Carvão	R\$/ano	12.000.000	12.000.000	11.280.000	12.000.000
Bioóleo	R\$/ano	-	1.999.200	-	-
Finos	R\$/ano	-	-	352.000	-
Total		12.000.000	13.999.200	11.632.000	12.000.000
Receita unitária	R\$/mdc	120,00	139,99	116,32	120,00
Receita-custo	R\$/mdc	6,48	14,46	- 3,08	1,07

Fonte: Elaboração do autor.

A avaliação econômica para os cenários de grande escala (tabela 36), demonstra que não há atratividade de produção exclusiva de carvão vegetal no cenário-base (13), com as premissas consideradas. Isso pode indicar, por exemplo, que o preço selecionado como o de contratos de maior duração, não é suficiente para amortizar os demais custos. Como normalmente a adoção de produções com maior escala ocorre em empresas verticalizadas (integradas), pode haver uma absorção desses resultados pela agregação de valor na cadeia imediatamente à frente da produção de carvão vegetal.

Tabela 36: Resultado do fluxo de caixa para os cenários de produção em grande escala (fornos retangulares).

Avaliação	Cenário	13	14	15	16
VPL		- 831.442	3.850.605	- 6.722.485	- 4.095.226
TIR		9,9%	20,4%	-11,9%	0,5%

Fonte: Elaboração do autor.

A produção de bio-óleo (cenário 14) apresenta um bom resultado, revertendo as condições do cenário-base (13).

A tabela 37 apresenta os referenciais de emissões para este nível de produção. Como referência para um valor teórico estimado, a potência térmica dispendida em uma planta desse tipo, seria equivalente a 21 MWt, considerando a emissão das fumaças.

Tabela 37 Emissões para os cenários de grande escala – fornos retangulares.

EMISSIONES	CENÁRIO	13	14	15	16
Fumaças	t/ano	106.800	106.800	106.800	106.800
Fumaças	Gcal/ano	64.080	64.080	64.080	64.080
Evitado					
Moinha	Gcal/ano	-	-	12.417	-
Condensados	Gcal/ano	-	31.416	-	-
	CENÁRIO	13	14	15	16
Emissão líquida	Gcal/ano	64.080	32.664	10.333	12.816
Emissão unitária	Gcal/mdc	0,64	0,33	0,10	0,13
Redução/base	%	0,0	-49,0	-83,9	-80,0

Fonte: Elaboração do autor.

Como se pode observar na tabela acima, na grande escala, a adoção simultânea do peneiramento e da queima de gases (cenário 15) oferece maior redução de emissões.

## 5. CONSIDERAÇÕES

O presente relatório procurou abordar, através de análise técnica, econômica e ambiental, as tecnologias que foram prospectadas durante a elaboração do relatório dos produtos 1 e 2 (RTCP1-2), considerando a sua aplicabilidade. Por aplicabilidade, entendem-se aquelas tecnologias que disponibilizaram informações suficientes para compor um conjunto de arranjos produtivos, em diferentes escalas. Entretanto, durante as etapas de prospecção, solicitação, recebimento de informações e elaboração dos cenários, as informações sobre diversas tecnologias que poderiam ser avaliadas, não foram suficientes para compor o estudo. Optou-se então, por avaliar as tecnologias que possuem informações disponíveis, em função de expressiva representatividade (aplicabilidade), em relação aos modelos de fornos avaliados. Essas informações foram coletadas em diversos estudos acompanhados pela consultoria e complementadas pelas entrevistas realizadas, onde foram elaborados cenários diversos, contemplando a geração e/ou aproveitamento dos coprodutos anteriormente identificados.

Os indicadores dos processos produtivos e os valores de mercado para composição das receitas também obedeceram às mesmas fontes de consulta, devendo ser consolidados à medida que avancem as iniciativas que viabilizem as tecnologias. Foram utilizadas apenas informações de fontes secundárias. Para a geração de fontes primárias, são necessários de levantamentos específicos, que não estão contemplados no escopo desta consultoria (balanços de massa, campanhas de medição, análises laboratoriais, auditorias de sistema de gestão, etc.).

A tabela 38, a seguir, apresenta uma visão geral sobre as escalas de produção e como os diferentes fatores influentes nos resultados podem impactar seus negócios. Fornece uma visão simplificada, porém, sistêmica, de como cada escala pode criar estratégias para alavancar seus resultados.

Tabela 38: Características das diferentes escalas de produção e seus fatores influentes no resultado dos negócios

ESCALA	NÍVEL DE INVESTIMENTOS	CUSTOS DE PRODUÇÃO	MERCADO CARVÃO VEGETAL	MERCADO COPRODUTOS	IMPACTO NO RESULTADO	FATORES A ALAVANCAR
<b>Pequena</b>	É relativamente baixo, porém impactado à medida que se agregam as tecnologias alternativas.	Madeira e logística são os mais expressivos. Baixo nível de mecanização possível não compensa os custos de mão de obra e máquinas.	Mercado <i>spot</i> com baixo poder de negociação.	Condensados: necessário maior nº de produtores para alcançar escala viável. Moinha: Se valorizada pela melhor qualidade e ganhos em logística, tende a melhorar seu preço final.	Bom resultado no cenário-base com perda de valor ao agregar tecnologias (redução em 29% na TIR).	Produção de coprodutos em cooperativa, incluindo projetos, energia elétrica e logística integrada das cadeias (estocagem, transporte etc.). Em todas as escalas a redução das emissões pelo aproveitamento dos coprodutos ou pela adoção da queima das fumaças, pode ser um fator de incentivo para a adoção das práticas, através de alguma forma de bonificação dos custos de produção.
<b>Média</b>	Os cenários que utilizam FCM são negativamente impactados, com aumento maior dos valores necessários para investimento, pelas tecnologias. Para FRM, os investimentos são maiores, porém, com menor variação entre cenários.	Aumentam à medida que cresce a mecanização, em detrimento à menor dependência de mão de obra.	Pode flexibilizar o fornecimento em <i>spot</i> e em contratos, incluindo negociações de madeira.	Condensados: Bom desempenho no FCM. Moinha: Idem pequena escala.	Estável em todos os cenários, com destaque para o bioóleo em FCM (boa relação receita /investimento)	Investimentos gradativos em produção de bioóleo, com volumes razoáveis, podem incrementar a utilização do produto e alavancar os demais (plantas piloto). A moinha pode ser diferencial positivo (clientes CV e outros via logística favorável).
<b>Grande</b>	Estão concentrados nos fornos retangulares equipamento que deve garantir a extensão da vida útil e com pouca adição de custo ao se implantar novas tecnologias.	Aumentam os custos com transporte de madeira em função do maior raio percorrido para suprimento.	Somente viável em caso de preços firmes (ou custo de produção)	Condensados: Pode ser diferencial se agregar mais produtores.	Muita variação em função do alto investimento e receitas (via	Bioóleo como diferencial, fazendo frente a uma maior demanda, via produção cooperada, agregada a unidades de demonstração. Moinha: facilidade em comprovar

			repassados na verticalização.	Moinha: Idempequena escala	preços) adequadas a cada cenário.	melhorias e influenciar cliente externo ao setor.
--	--	--	-------------------------------	----------------------------	-----------------------------------	---

Fonte: elaboração do autor.

A produção e exploração dos coprodutos oriundos da produção de carvão vegetal são ainda atividades incipientes no setor. Por consequência, os mercados para os coprodutos ainda não estão maduros, o que não alavanca a demanda e a prática de preços firmes que estimule a oferta. Ou seja, iniciativas (públicas e privadas) para fomentar a produção e o consumo dos coprodutos poderiam romper com a inércia apresentada, contribuindo para o estabelecimento de mercados competitivos e formação de preços atrativos para novos investimentos, procurando viabilizar as diversas tecnologias de produção. Como benefícios também, haveria a redução de emissões e de custos de produção, a partir da bonificação com receitas adicionais.

Em relação a essas iniciativas, apresenta-se a seguir, algumas tecnologias e ações operacionais e de mercado, que foram verificadas durante a primeira parte do estudo (RTCP1-2), em diferentes níveis, que poderão ser adotadas em plantas já existentes ou novas instalações, de acordo com a análise caso a caso. Essas informações, resumidas, foram compiladas no anexo 2 deste documento.

Para facilitar o entendimento de aplicação de cada tecnologia, as mesmas foram divididas em três categorias, a saber: 1- Controle Operacional; 2- Alteração de Processo e 3 – Geração de um novo produto ou coproduto. Cada iniciativa foi avaliada do ponto de vista de seus fatores potencias e fatores limitantes, que poderão dar suporte ao desenvolvimento posterior de iniciativas para elaboração de estratégias operacionais ou mercadológicas. Os fatores limitantes foram classificados em níveis de importância, em relação ao grau de dificuldade para sua viabilização: A (alto); M (médio) e B (baixo), de acordo com o entendimento de como podem ser superados, a partir de ações coordenadas do setor. Também são informados (quando aplicáveis), aspectos sobre as necessidades de desenvolvimento tecnológico e a existência (ou não) de mercado consolidado para cada coproduto.

As seguintes iniciativas estão descritas a seguir, de acordo com sua aplicação em cada categoria:

## 1 – Controle Operacional:

### 1.1 - Interligação de fornos de alvenaria e lançamento dos gases em altura.

- Característica: Um grupo de fornos (*cluster*) é interligado por canais de alvenaria até uma chaminé central com altura suficiente para realizar a tiragem dos gases e lançá-los a maiores alturas do que as convencionais. Promove uma melhoria do ambiente nas áreas de trabalho das unidades de produção.
- Fatores potenciais: Permite evoluir os estudos para o acoplamento posterior de queimadores de fumaças e aproveitamento dos gases combustos.
- Fatores limitantes: Maior custo de implantação. De acordo com as distâncias, pode haver a necessidade de energia elétrica para instalar exaustores. Sistema deve ser bem dimensionado para não influenciar negativamente a marcha dos fornos. Pode haver riscos de queima e explosões.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim. Em nível de projetos e materiais.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não. Poucas iniciativas no momento.

### 1.2 - Utilização do indicador RGO: Rendimento Gravimétrico Operacional.

- Característica: É a relação entre o carvão produzido e a madeira que lhe deu origem, tomada na umidade real desses produtos.
- Fatores potenciais: Indicador simples e de fácil determinação e que possibilita o controle dos rendimentos de produção. Permite acompanhar a geração de moinha em relação ao rendimento de transformação da madeira em carvão vegetal. Se adotado amplamente, permite comparações entre unidades de produção e entre empresas do setor, possibilitando o estudo para melhores práticas.
- Fatores limitantes: Instalação de balanças nas unidades.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível B.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Não. Sistema de pesagem já tradicional no mercado.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não. Prática não é comum no setor.

### 1.3 - Licenciamento ambiental para produção de carvão vegetal.

- Característica: A legislação ambiental, de forma, geral, procura estabelecer critérios para controle das emissões atmosféricas de todas as atividades industriais, concedendo as licenças de operação para aquelas que se enquadrarem na regulação específica.
- Fatores potenciais: A ampliação da discussão no setor sobre padrões de controle das emissões poderá beneficiar tecnologias que agreguem controle adequado das mesmas, a partir da bonificação pelas reduções equivalentes.
- Fatores limitantes: Necessidade de se desenvolver, de forma consensual, critérios específicos para as emissões nos processos de produção de carvão vegetal.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 1.4 – Troca de informações relativas à produção de carvão vegetal e coprodutos.

- Característica: Elaborar um grupo de indicadores-chave dos processos, estabelecidos em mesmas bases de comparação, que sejam de amplo conhecimento do setor.
- Fatores potenciais: Captura de ganhos para o setor e adoção de melhores práticas operacionais e ambientais.
- Fatores limitantes: Desenvolvimento de metodologia que contemple a geração de informações, ao mesmo tempo em que, resguarde informações estratégicas das empresas.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não. Baixo nível de troca de informações.

## 2 – Alteração de Processo:

### 2.1 - Recirculação de gases nos processos de carbonização.

- Característica: Os gases de pirólise são utilizados nos próprios processos de produção, seja como fluido de transferência de calor, seja como fluido para secagem da madeira.
- Fatores potenciais: Redução das emissões através da queima parcial ou total e melhoria dos rendimentos de transformação, em diferentes tecnologias.
- Fatores limitantes: Falta de informações e escalabilidade dessas tecnologias. Necessidade de investimentos em energia elétrica e equipamentos de maior valor inicial.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não. Poucas iniciativas relatadas no setor.

### 2.2 - Utilização da moinha e/ou resíduos florestais para injeção em queimadores de fumaças.

- Característica: Nas unidades que dispuserem desse material poderá haver esse aproveitamento potencial, reduzindo custos de produção e melhorando a eficiência operacional e ambiental.
- Fatores potenciais: Redução do consumo de madeira e atíços para manutenção das condições de queima, com material de qualidade inferior (contaminantes).
- Fatores limitantes: Investimentos em equipamentos e suprimento de energia elétrica.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 2.3 - Produção de carvão vegetal com queima dos gases.

- Característica: Adoção de tecnologias, equipamentos e processos que sejam viáveis para promover a queima dos gases dos processos de carbonização.

- Fatores potenciais: Redução das emissões e aproveitamento da energia em outras aplicações (secagem, cogeração de energia elétrica), com melhoria do rendimento e bonificação por redução das emissões.
- Fatores limitantes: Projetos específicos com viabilidade técnica e econômica do aproveitamento posterior. Inexistência de mecanismos para bonificação da redução das emissões. Consumo de biomassa.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

#### 2.4 - Suprimento de energia elétrica para o setor de carvão vegetal

- Características: Várias tecnologias em uso e potenciais demandam pelo crescimento do abastecimento de energia elétrica nas plantas de produção de carvão vegetal.
- Fatores potenciais: Modernização da produção de carvão vegetal e coprodutos (melhoria da eficiência econômica e ambiental).
- Fatores limitantes: Distância e dispersão das áreas de produção em relação às linhas de distribuição de energia elétrica. Custo das instalações.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

#### 2.5 - Estudos sobre mecanização da produção e geração de finos.

- Características: Um maior nível de mecanização das atividades de produção de carvão vegetal gera um maior percentual de finos. Por outro lado, operações pouco mecanizadas (manuais) levam a obtenção de um produto com maior granulometria (baixa densidade a granel).
- Fatores potenciais: Melhoria da produtividade na produção de carvão vegetal e redução de custos. Melhor entendimento dos fatores de geração de finos e seu controle.

- Fatores limitantes: Necessidade de maiores estudos a respeito, considerando também, a integração com outros temas afins (beneficiamento, aumento da utilização de moinha, qualidade).
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3 – Geração de um novo produto/coproduto:

#### 3.1 - Cogeração de energia elétrica com gases de pirólise.

- Característica: Aproveitamento dos gases de pirólise em sistemas de cogeração de energia elétrica, como combustível ou pelo aproveitamento do calor residual da queima.
- Fatores potenciais: Redução de emissões e geração de energia elétrica nas unidades de produção e comercialização de excedentes.
- Fatores limitantes: Necessidade de investimentos em projetos específicos para este item.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

#### 3.2 - Utilização do extrato pirolenhoso bruto como combustível em queima direta.

- Característica: Produto com característica potencial para substituição de combustíveis tradicionais.
- Fatores potenciais: Substituição direta sem necessidade de beneficiamento.
- Fatores limitantes: Necessidade de investimentos para desenvolver a demanda pela substituição viável e a oferta pela produção técnica e econômica do coproduto.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3.3 - Desenvolvimento dos mercados para os produtos da rota líquida.

- Característica: Aplicação dos derivados condensados em diversas aplicações (carboquímica).
- Fatores potenciais: Existência de tecnologias em diferentes escalas e mercados potenciais para serem desenvolvidos.
- Fatores limitantes: Estudos de viabilidade econômica e incentivo à cadeia de produção específica. Investimentos em plantas de produção e energia elétrica e processos de produção. Certificação e controle de qualidade.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3.4 - Produção de extrato pirolenhoso em pequena escala

- Característica: Aplicação de técnicas simplificadas para obtenção dos condensados.
- Fatores potenciais: Alternativa para pequenos produtores com redução de emissões e efluentes.
- Fatores limitantes: Adequação dos processos de produção que garantam qualidade aos produtos gerados. Necessidade de regulamentação do mercado.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3.5 - Beneficiamento do carvão nas plantas de produção.

- Característica: Através do peneiramento com separação de atíços, e finos em diferentes classes.
- Fatores potenciais: Permite a organização dos estoques de moinha e reduz a contaminação, melhorando a qualidade do produto final. Melhoria de aspectos logísticos pela redução de transportes e movimentações.
- Fatores limitantes: Investimentos em equipamentos, custo operacional e energia elétrica. Necessário avaliar questões comerciais e de logística.

- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Não.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3.6 - Aglomeração de minérios

- Característica: Substituição de combustíveis tradicionais fósseis por biomassa renovável.
- Fatores potenciais: Aumento do consumo de pelotas de minério de ferro em função da redução da qualidade do mesmo. Redução de custos e bonificação por redução das emissões.
- Fatores limitantes: Disseminação da prática em mais empresas.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Não.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3.7 - Aumento do consumo de moinha nos altos fornos

- Característica: Via taxa de injeção ou substituição de combustíveis fósseis.
- Fatores potenciais: Valorização da moinha a partir do aproveitamento integral e redução das emissões provocadas pelo consumo de combustíveis de origem fóssil.
- Fatores limitantes: Investimentos em equipamentos nas usinas (ICP; produção de oxigênio) e redução da contaminação da moinha.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Não.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não.

### 3.8 - Projetos de pesquisa vinculados às Universidades e Centros de Pesquisas ligadas ao setor.

- Característica: Apoio às linhas de pesquisas de forma cooperada com o setor.
- Fatores potenciais: Diversas linhas e pesquisa em estágios de desenvolvimento diferenciados, com incentivos diversos (setor público e privado).

- Fatores limitantes: Maior necessidade de aporte de recursos e editais específicos para o setor de carvão vegetal visando à redução das emissões.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível A.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): NA<sup>5</sup>

### 3.9 – Indicadores relativos à produção de carvão vegetal e coprodutos

- Característica: Estabelecimento de práticas de mercado para conhecer os indicadores, sua formação e sua divulgação dentro do setor.
- Fatores potenciais: Captura de ganhos para o setor e adoção de melhores práticas operacionais e ambientais.
- Fatores limitantes: Baixa resposta a demanda por informações do setor.
- Grau de dificuldade para sua viabilização: Nível M.
- Necessidade de desenvolvimento tecnológico (sim ou não): Sim.
- Mercado consolidado (sim ou não): Não

Dado o caráter prospectivo deste estudo, as análises e recomendações aqui listadas, não tem o intuito de estabelecer estratégias específicas para a condução de planos para criação ou incremento de mercados e, por consequência, a organização em si da cadeia de coprodutos. Isso dependerá da efetividade das ações que serão conduzidas pelo grupo de atores que poderá ser envolvido, a partir de ações do projeto em si. Portanto, não se pretende, também, definir prazos e períodos estimados para a consolidação e maturação de cada mercado potencial. Nesse sentido, sugere-se recorrer novamente às fontes de referência consultadas nesse estudo (ver RTCP1-2), de forma a suportar a construção das estratégias para a evolução de cada assunto específico ou daqueles que se apresentam de forma mais abrangente.

---

<sup>5</sup> NA: Não se aplica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benites, V.M; Teixeira, W.G; Rezende, M.E; Pimenta, A.S. Utilização de Carvão e Subprodutos da Carbonização Vegetal na Agricultura: Aprendendo com as Terras Pretas de Índio **In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas**, 32, Goiânia. Rumo aos novos desafios: anais: SBCS, Núcleo Regional Centro-Oeste, FertBio, 2016.
- Castro, P.F; Petrocchi Correa, L.C; Silva Franco, W. Obtenção de alcatrão vegetal em forno de alvenaria e sua utilização como combustível. **In: Congresso Anual da ABM**, 37, Rio de Janeiro, 1982.
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. Nota Técnica: “Análise comparativa das diferentes tecnologias de carbonização e recuperação de subprodutos”. Subsídios 2014 ao Plano Siderurgia do MDIC: Modernização da Produção de Carvão Vegetal. Contrato Administrativo CGEE/MDIC49/2013. Brasília: **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos**, 2014. (Produto1).
- COSTA, Júlia Melo Franco Neves. **Temperatura final de carbonização e queima dos gases na redução de metano, como base à geração de créditos de carbono**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- Medeiros, C.A; Rezende, M. A. E. Alcatrão Vegetal: perspectivas de produção e utilização. **Revista da Fundação João Pinheiro**, Belo Horizonte, n. 13 (9 a 12), pp. 42-48, set. a dez. 1983.
- MINAS GERAIS (estado). Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37095>>. Acesso em: 03 out. 2017.
- Raad, T. Fortalecimento da competitividade do gusa por florestas plantadas. In: Seminário CGEE & DECOI da SDP/MDIC - Brasília, 20.05.2014(Apresentação).
- Rezende, M.E.A. Comparações das tecnologias de carbonização e recuperação de coprodutos. In: **Seminário CGEE & DECOI da SDP/MDIC**, Brasília, 20.05.2014-a. Disponível em: <[http://www.cgee.org.br/eventos/arquivos/CarvaoVegetal-14h20\\_Comparacoes\\_200514.pdf](http://www.cgee.org.br/eventos/arquivos/CarvaoVegetal-14h20_Comparacoes_200514.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2017.
- Rezende, M.E.A. Diagnóstico das eficiências das tecnologias de carbonização, e sugestões. In: **Seminário CGEE & DECOI da SDP/MDIC**. Brasília, 20.05.2014-b. Disponível em: <[http://www.cgee.org.br/eventos/arquivos/CarvaoVegetal-14h\\_Diagnostico\\_200514.pdf](http://www.cgee.org.br/eventos/arquivos/CarvaoVegetal-14h_Diagnostico_200514.pdf)>. Acesso em: 04 out. 2017.

Rodriguez, A.V. Aspectos Logísticos do beneficiamento de finos de carvão vegetal para ICP em Altos Fornos. In: **66º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais**. São Paulo, julho 2011.

Vital, B.R et al. Estimativa do Teor de Umidade de Lenha para Carvão Vegetal em Função do Tempo de Secagem. **Revista Árvore**, vol. 9,(1):10-27. 1985.

# ANEXOS

Anexo 1 – Folha de coleta de dados para atualização das tecnologias de produção de carvão vegetal

FOLHA DE DADOS PARA ATUALIZAÇÃO DO ESTADO DA ARTE DAS TECNOLOGIAS DE CARBONIZAÇÃO - PROJETO PNUD BRA 14/31				
Descrição	unidade	CAP = Faixa de capacidade dos reatores (m3 sólido)		
		CAP <=50	50 < CAP <= 150	CAP > 150
Densidade média da madeira enfornada	kg/m3 bs			
Tempo de secagem da madeira no campo	dias			
Volume médio enfornado	m3 sólido/fornada			
Volume de carvão vegetal produzido	mdc/fornada			
Volume de atijo produzido	mdc/fornada			
Densidade média do carvão vegetal	kg/mdc			
Umidade do carvão vegetal produzido	% bs			
Carbono fixo médio	%			
Geração de finos na entrega	%			
Granulometria de corte dos finos	mm			
Existe alguma destinação para os finos? *	(sim/não)			
Rendimento Gravimétrico obtido via balança industrial	% bs			
Produção específica dos reatores	t. cv /fornada			
Ciclo de processo (carga, carbonização, resfriamento, descarga e manutenções)	dias			
Custo da matéria prima (madeira em pé + colheita + transporte e carga do forno)	R\$/m3 sólido			
Produção base para o custo fixo operacional de carbonização	t./mês			
Quadro de pessoal da planta de produção base (**)	quant colaboradores			
Custo Operacional da Planta de Carbonização (OPEX)	R\$/mês			
Investimento para a produção base - reatores	R\$/reator			
Investimento para a produção base - Infraestrutura (terraplanagem, utilidades, escritório)	R\$/planta			
Capacidade de recuperação das fumaças condensáveis (alcatrão e pirolenhoso)	kg cond/kg mad bs			
Quadro de pessoal para sistema de recuperação (**)	quant colaboradores			
Custo Operacional do sistema de recuperação (OPEX)	R\$/mês			
Investimento para a sistema de recuperação (CAPEX)	R\$/reator			
Queima das fumaças da carbonização ***	(sim/não)			
Quadro de pessoal da planta de produção base (**)	quant colaboradores			
Custo Operacional da Planta de Carbonização (OPEX)	R\$/mês			
Investimento para a produção base - reatores	R\$/reator			
Secagem de madeira utilizando gases queimados da carbonização ****	(sim/não)			
Quadro de pessoal da planta de produção base (**)	quant colaboradores			
Custo Operacional da Planta de Carbonização (OPEX)	R\$/mês			
Investimento para a produção base - reatores	R\$/reator			

\* descrever finalidade do uso dos finos e valores de venda

\*\* listar as funções e quantitativos do quadro operacional da produção base

\*\*\* descrever o sistema de queima de gases

\*\*\*\* descrever o sistema de secagem

Anexo 2 – Fatores Potenciais e Limitantes para Elaboração de Estratégias de Incremento dos Coprodutos da Produção de Carvão Vegetal

TEMA	COPRODUTO	FATORES POTENCIAIS	FATORES LIMITANTES	GRAU DE DIFICULDADE DE VIABILIZAÇÃO	NECESSIDADE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO?	MERCADO CONSOLIDADO?	REFERÊNCIAS RTCP1-2
Interligação de fornos de alvenaria e lançamento dos gases em altura	Gases	Promove uma melhoria do ambiente nas áreas de trabalho das unidades de produção. Permite evoluir os estudos para o acoplamento posterior de queimadores de fumaças e aproveitamento dos gases combustos.	Custos de implantação, energia elétrica para instalar exaustores, influência na marcha dos fornos, riscos de queima e explosões, necessidade de projetos adequados.	Médio.	Sim. Em nível de projetos e materiais.	Não. Poucas iniciativas no momento.	(1) e (19)
Utilização do indicador RGO: Rendimento Gravimétrico Operacional	Moinha	Indicador simples e de fácil determinação e que possibilita acompanhar a geração de moinha em relação ao rendimento de transformação da madeira em carvão vegetal. Se adotado amplamente, permite comparações entre unidades de produção e entre empresas do setor, possibilitando o estudo para melhores práticas.	Instalação de balanças nas unidades.	Baixo.	Não. Sistema de pesagem já tradicional no mercado.	Não. Prática não é comum no setor.	(2) e (Santos, 2016).
Licenciamento ambiental para produção de carvão vegetal	Gases	Ampliar a discussão no setor para estabelecer padrões de controle sobre as emissões.	Necessidade de se desenvolver, de forma consensual, critérios específicos para as emissões nos processos de produção de carvão vegetal.	Médio.	Sim.	Não.	(4.2)
Troca de informações	Todos	Captura de ganhos para o setor e adoção de melhores	Desenvolvimento de metodologia que contemple	Médio.	Sim.	Não. Baixo nível de troca de	

TEMA	COPRODUTO	FATORES POTENCIAIS	FATORES LIMITANTES	GRAU DE DIFICULDADE DE VIABILIZAÇÃO	NECESSIDADE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO?	MERCADO CONSOLIDADO?	REFERÊNCIAS RTCP1-2
relativas à produção de carvão vegetal e coprodutos		práticas operacionais e ambientais.	a geração de informações, ao mesmo tempo em que, resguarde informações estratégicas das empresas			informações.	
Recirculação de gases nos processos de carbonização	Gases	Redução das emissões através da queima parcial ou total e melhoria dos rendimentos de transformação, em diferentes tecnologias.	Domínio de tecnologias, energia elétrica, investimentos.	Alto.	Sim.	Não. Poucas iniciativas relatadas no setor.	(5); (6); (7); (18); (20); (tabela 8).
Utilização da moinha para injeção em queimadores de fumaças	Moinha	Redução do consumo de madeira e atijos para manutenção das condições de queima, com material de qualidade inferior (contaminantes).	Investimento em equipamentos e energia elétrica.	Médio.	Sim.	Não.	(11)
Produção de carvão vegetal com queima dos gases	Gases	Redução das emissões, adoção da queima das fumaças permitindo a evolução de outras tecnologias posteriores. Referencial nas relações de mercado	Projetos específicos com viabilidade técnica e econômica do aproveitamento posterior. Existência de mecanismos para bonificação da redução das emissões. Consumo de biomassa.	Alto	Sim.	Não	(17)
Suprimento de energia elétrica para o setor de carvão vegetal	Todos	Modernização da produção de carvão vegetal e coprodutos.	Distância e dispersão das áreas de produção em relação às linhas de distribuição de energia elétrica.	Alto.	Sim.	Não.	(1); (18); (19); (Leme, 2016); (Moura, 2015); Rodriguez, 2016; Anexo 2; Anexo 8
Conhecimento	Todos	Captura de ganhos para o	Baixa resposta a demanda				Item 4.4;

TEMA	COPRODUTO	FATORES POTENCIAIS	FATORES LIMITANTES	GRAU DE DIFICULDADE DE VIABILIZAÇÃO	NECESSIDADE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO?	MERCADO CONSOLIDADO?	REFERÊNCIAS RTCP1-2
sobre indicadores relativos à produção de carvão vegetal e coprodutos		setor e adoção de melhores práticas operacionais e ambientais	por informações do setor				(tabela 12); (Rodriguez, 2015).
Estudos sobre mecanização da produção e geração de finos	Moinha	Melhoria da produtividade na produção de carvão vegetal e redução de custos. Melhor entendimento dos fatores de geração de finos e seu controle.	Necessidade de maiores estudos a respeito, considerando também, a integração com outros temas afins (beneficiamento, aumento da utilização de moinha, qualidade).	Médio.	Sim.	Não.	(1); (19)
Potencial de cogeração de energia elétrica com gases de pirólise. Estudos apontam viabilidade técnica	Gases.	Redução de emissões e geração de energia elétrica nas unidades de produção e comercialização de excedentes.	Necessidade de investimentos em projetos específicos para este item	Alto.	Sim.	Não.	(11); (20); (Moura, 2016); (Leme, 2016); (Carneiro, 2015); (anexo 8).
Estudo da utilização do extrato pirolenhoso bruto como combustível em queima direta.	Condensados	Substituição direta sem necessidade de beneficiamento.	Necessidade de investimentos para desenvolver a demanda pela substituição viável e a oferta pela produção técnica e econômica do coproduto.	Alto.	Sim.	Não.	(9).
Desenvolvimento dos mercados para os produtos	Condensados	Existência de tecnologias e mercados potenciais para desenvolvimento.	Estudos de viabilidade econômica e incentivo à cadeia de produção	Alto.	Sim.	Não.	(14); (16);(18);(21);(22);

TEMA	COPRODUTO	FATORES POTENCIAIS	FATORES LIMITANTES	GRAU DE DIFICULDADE DE VIABILIZAÇÃO	NECESSIDADE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO?	MERCADO CONSOLIDADO?	REFERÊNCIAS RTCP1-2
da rota líquida			específica. Investimentos em plantas de produção e energia elétrica e processos de produção. Certificação e controle de qualidade.				(23);(24);(26); (Campos, 2007); (anexo 4).
Produção de extrato pirolenhoso em pequena escala	Condensados	Alternativa para pequenos produtores com técnicas simplificadas	Qualidade irregular dos produtos gerados e regularização do mercado	Alto.	Sim.	Não	(Campos, 2007) item 4.1.2
Beneficiamento do carvão nas plantas de produção	Moinha	Permite a organização dos estoques de moinha e reduz a contaminação, o que melhora a qualidade do produto final.	Investimentos em equipamentos, custo operacional e energia elétrica. Necessário avaliar questões comerciais e de logística.	Médio.	Não.	Não.	(2); (7);(8);(12);(13); (15); (19); (Barroso, 2007);(anexo 2); e tabela 11
Aglomeração de minérios	Moinha	Substituição de combustíveis fósseis por biomassa renovável	Disseminação da prática em mais empresas	Médio.	Não.	Não.	(10); (12)
Aumento do consumo de moinha nos altos fornos	Moinha	Valorização da moinha a partir do aproveitamento integral e redução das emissões provocadas pelo consumo de combustíveis de origem fóssil.	Investimentos em equipamentos nas usinas (ICP; produção de oxigênio) e redução da contaminação da moinha.	Alto.	Não.	Não.	(6); (8); (12); (Assis, 2008); (Barroso, 2007); (tabela 11).
Projetos de pesquisa vinculados às Universidades ligadas ao setor	Todos	Diversas linhas e pesquisa e estágios de desenvolvimento diferenciados, com incentivos diversos (setor público e privado).	Maior necessidade de aporte de recursos e editais específicos para o setor de carvão vegetal visando à redução das emissões.	Alto.	Sim.	Não se aplica.	(20);(21);(22);(26).

Fonte: elaboração do autor.