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

Relatório Técnico referente à:

Produto 1: Mapeamento das opções e rotas tecnológicas

Produto 2: Relatório Técnico sobre o aproveitamento dos coprodutos

Revisão 2

Augusto Valencia Rodriguez

Maio de 2017

Índice

LISTA DE TABELAS **4**

LISTA DE FIGURAS **5**

LISTA DE SIGLAS E TERMOS TÉCNICOS **6**

1. SUMÁRIO EXECUTIVO **10**

2. INTRODUÇÃO **11**

3. METODOLOGIA **15**

3.1 PROCEDIMENTOS E DOCUMENTOS **18**

3.1.1. AÇÕES ESTRATÉGICAS: 18

3.1.2. COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES: 19

3.1.2.1 Coleta de dados e informações – processos de aproveitamento de coprodutos 19

3.1.2.2 Coleta de dados e informações – processos siderúrgicos e metalúrgicos 24

3.1.2.3 Coleta de dados e informações – indústria cimenteira 27

3.1.3. RESULTADOS E DOCUMENTAÇÃO GERADA: 28

3.1.4. TRANSCRIÇÃO DAS VISITAS E CONTATOS REALIZADOS: 28

4. PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL, PROCESSAMENTO E DESTINAÇÃO DE COPRODUTOS. **73**

4.1 – CONDENSADOS **74**

4.1.1 CONDENSAÇÃO NATURAL 75

4.1.2 CONDENSAÇÃO SEMI-FORÇADA 76

4.1.3 CONDENSAÇÃO FORÇADA 78

4.2 – GASES **79**

4.2.1 – TRANSPORTE E LANÇAMENTO EM ALTURA 83

4.2.2 – TRANSPORTE E QUEIMA 85

4.2.3 – QUEIMA E RECIRCULAÇÃO 85

4.2.4 – QUEIMA E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 86

4.3 – MOINHA (OU FINOS DE CARVÃO VEGETAL) **87**

4.4 INDICADORES DOS COPRODUTOS **93**

5. SUGESTÕES PARA AÇÕES JUNTO AO SETOR DE CARVÃO VEGETAL: **95**

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS **100**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **101**

ANEXOS **107**

ANEXO 1 – Apresentação Nivelamento Visitas **108**

ANEXO 2 – Beneficiamento de finos para ICP **115**

ANEXO 3 – Sinterização e Pelotização **127**

ANEXO 4 - Carboquímica Vegetal..... 133
ANEXO 5 – Queima de Bio-óleo 139
ANEXO 6 – Programação de visitas e reuniões 143
ANEXO 7 – Roteiro de viagem..... 144
ANEXO 8 – Integração da produção de carvão vegetal..... 145
ANEXO 9 – Pesquisas Relacionadas no Exterior 157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Levantamento de dados para prospecção dos coprodutos na cadeia de carvão vegetal. 23
Tabela 2: Utilização de coprodutos na cadeia de produção de carvão vegetal em atividades siderúrgicas e metalúrgicas. 26
Tabela 3: Informações gerais sobre aquisição e consumo de moinha de carvão vegetal na produção de cimentos. 27
Tabela 4: Estudo sobre geração de finos na produção de carvão vegetal (Amostragem realizada em cliente da Biocarbono no ano de 2016) 46
Tabela 5: Geração de finos em função do local de movimentação 46
Tabela 6: Dados operacionais da planta EPL – com tecnologia DPC 52
Tabela 7: Dados operacionais da planta da S&D Florestal em Andrelândia. 54
Tabela 8: Informações sobre projetos aderentes aos coprodutos na cadeia de carvão 57
Tabela 9: Informações sobre a produção da Biocarbo Indústria e Comércio Ltda. 60
Tabela 10: Informações sobre produção e geração de finos na Minasligas. 62
Tabela 11: Análise física imediata de moinha beneficiada de carvão vegetal 89
Tabela 12: Caracterização e rotas tecnológicas de aproveitamento e aplicação de coprodutos 94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo de produção simplificado da tecnologia Ondatec. 37
Figura 2: Biodragão acoplado na entrada do queimador 40
Figura 3: Fluxo de produção do forno container RIMA (FCR). (Vilela, 2016) 48
Figura 4: Vista geral da planta e produção da Fazenda Guaxupé 49
Figura 5: Vista geral dos fornos da planta de Andrelândia. 53
Figura 6: Esquema de produção de carvão vegetal, subprodutos e gases não condensáveis a partir da carbonização controlada de madeira (Benites et al., 2016)..... 74
Figura 7: Caixa de coleta de EP na base de uma chaminé de um forno retangular (arquivo pessoal). 75
Figura 8: Coleta e armazenamento de EP de um forno retangular de alvenaria. (arquivo pessoal) 76
Figura 9: Adaptação de um forno para a produção do extrato pirolenhoso. (Campos, 2007)... 77
Figura 10: Fornos de alvenaria com sistemas de condensação semi-forçada 77
Figura 11: Modelos de recuperadores de alcatrão (Labirinto; Estrela; Ciclônico e Triplo Ciclone) Fonte: Castro, 1982. 78
Figura 12: Arranjo de uma planta de produção de carvão vegetal com fornos retangulares, canais de ligação das tomadas de gases e lançamento em altura para a atmosfera. 84
Figura 13: Arranjos físicos de plantas de produção de carvão com sistemas de transporte e queima das fumaças. (adaptado de: Martins, 2016). 85

LISTA DE SIGLAS E TERMOS TÉCNICOS

#	Abertura da malha de separação (ou corte) nas peneiras (dada em mm ou polegadas)
AAFF - Altos Fornos	Alto Forno a carvão vegetal - alto forno que utiliza o carvão vegetal como combustível e redutor no processo de produção do ferro-gusa.
Acamação	Índice, em percentual, que representa a redução do volume aparente (granel) nos veículos de transporte devido à acomodação do produto com a redução dos espaços vazios entre as peças de carvão vegetal.
Alcatrão	Substância betuminosa, espessa, escura e de forte odor, que se obtém da destilação (ou carbonização) da madeira.
Antracito	Carvão mineral fóssil, muito negro, compacto, rico em carbono e que queima sem chama e sem cheiro.
AQI	Análise Química Imediata
Aromatizantes	Substâncias ou misturas que adicionadas a um alimento ou medicamento lhes conferem um odor característico.
Atiços	Madeira que não foi totalmente carbonizada, normalmente com um teor de carbono fixo abaixo de 60 %.
Bio-óleo	Combustível renovável cuja matéria-prima é a biomassa, ou seja, substâncias de origem orgânica (vegetal, animal, etc.)
Briquetes autorredutores	Material elaborado a partir de carepas de aciaria e finos de carvão vegetal, com possibilidade de utilização na carga de fornos elétricos a arco.
% b.s	Base Seca – Quando o denominador da relação entre os produtos, objeto do cálculo, está com 0% de umidade.
Campanhas	Levantamentos de campo (unidades de produção de carvão vegetal), relativas às medições gasosas das emissões dos fornos de carbonização.
Carboquímica	Estudo dos produtos provenientes da destilação dos vários

	tipos de carvão mineral ou da madeira.
CF	Carbono Fixo
Classe granulométrica	Refere-se ao intervalo abertura da malha das peneiras utilizadas na separação da moinha de carvão vegetal (mm).
Clínquer	Material granular de 3 mm a 25mm de diâmetro, resultante da calcinação de uma mistura de calcário, argila e de componentes químicos como o silício, o alumínio e o ferro. É a matéria prima básica de diversos tipos de cimento.
Coque metalúrgico	Redutor ou combustível resultante da coqueificação ou carbonização do carvão mineral.
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).
Corrida	Representa uma batelada de produção de um forno ou reator
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CV	Carvão Vegetal
CZ	Cinzas
EP	Extrato Pirolenhoso - Extrato líquido obtido através da condensação da fumaça proveniente da carbonização da madeira.
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
F.O.B.	Do inglês "*Free on Board*". Refere-se ao valor de um produto considerando a seu carregamento nos veículos de transporte, considerando a origem do mesmo.
FR	Forno Retangular
GGQ	Gerador de Gases Quentes – equipamento para coleta das fumaças, queima e recirculação em processos posteriores.
GNC	Gases Não Condensáveis
ICP	Injeção de Carvão Pulverizado nos altos fornos para

	produção de ferro-gusa.
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/cm³; 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.
MBR	Minerações Brasileiras Reunidas
mdc	Metros cúbicos de carvão (a granel)
mm	Milímetro
MO	Mão de obra
MV	Matérias Voláteis
MWhe	Potência Elétrica (megawatt-hora elétrico)
MWht	Potência Térmica (megawatt-hora térmico)
MUSA	Mineração Usiminas SA
Nm³ 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 (kilo Joule)/kg
Pelotização	Processo aplicado para aglutinar as partículas de um minério que facilita as operações metalúrgicas posteriores.
Retorta contínua	Fornos de carbonização que utilizam uma fonte externa de calor para aquecer a biomassa contida em uma câmara fechada. São abastecidos continuamente com madeira, produzindo carvão também de forma contínua.
RG	Rendimento Gravimétrico: Relação entre o carvão produzido e a madeira consumida que lhe deu origem,

	normalmente em base seca.
RGO	Rendimento Gravimétrico Operacional: índice de conversão da madeira em carvão em base úmida, em peso, em condições operacionais de rotina.
Sinterização	Processo de aglomeração a quente que consiste na formação de um bloco poroso, denominado sínter, formado a partir da fusão incipiente de uma carga constituída por finos de minério de ferro juntamente com finos de coque ou carvão vegetal e fundentes.
st	Estéreo - Medida de volume aparente da madeira empilhada.
t	Tonelada.
Torete	Pequena peça de madeira obtida a partir do corte de toras mais longas. Mede cerca de 20 a 30 cm de comprimento
Trade-off ou tradeoff	Expressão que define uma situação em que há conflito de escolha. Ele se caracteriza em uma ação econômica que visa à resolução de problema, mas acarreta outro, obrigando uma escolha. Ocorre quando se abre mão de algum bem ou serviço distinto para se obter outro bem ou serviço distinto.
tCV	Tonelada de carvão vegetal. Para as informações apuradas em mdc 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

1. SUMÁRIO EXECUTIVO

O presente relatório apresenta a metodologia e os resultados das atividades de mapeamento, mensuração e avaliação das opções tecnológicas de coprodutos da cadeia de produção de carvão vegetal. Foi realizado extenso levantamento de campo, que prospectou os elementos-chave da cadeia de produção e aproveitamento dos coprodutos. Foram consultados produtores de carvão vegetal (e de coprodutos), processadores de coprodutos, fabricantes de equipamentos para beneficiamento de coprodutos, consumidores dos coprodutos, provedores de novas tecnologias de produção de carvão vegetal. Verificou-se o impacto na geração e aproveitamento dos coprodutos, bem como, de entidades ligadas à cadeia de produção, os quais, de diversas formas, contribuem com o tema (universidades, centros de pesquisa, consultores, associações, entre outros).

Como resultado, apresenta-se um panorama de como o tema central "COPRODUTOS", relaciona-se com o atual estágio de produção de carvão vegetal e como pode impactar diretamente na melhoria da cadeia de produção (da geração ao consumo final). A introdução de novos processos e equipamentos agrega valor a essa cadeia, através da melhoria de qualidade, redução de custos e pela potencial remuneração por serviços ambientais. O desenvolvimento e maturação dos mercados de coprodutos poderão representar um aliado à sustentabilidade. Devem demonstrar a efetiva redução de emissões atmosféricas, através de mecanismos adequados. As pesquisas para desenvolvimento de estudos para a redução das emissões de gases a partir da queima e aproveitamento energético (térmico e elétrico) devem ser incentivadas através de mecanismos de incentivo adequados.

Por fim, apresentam-se sugestões para ações junto ao setor de carvão vegetal, na forma de temas (17), que foram elencados durante os levantamentos e pesquisas, com seus respectivos fatores potenciais e limitantes. Esses temas podem servir como direcionadores de ações setoriais, para o incremento da cadeia de produção de carvão vegetal, via o desenvolvimento das rotas tecnológicas e de mercado mais eficientes.

2. INTRODUÇÃO

A cadeia da produção de carvão vegetal caracteriza-se por diversos elementos que impactam de forma diferenciada, os resultados obtidos pelos produtores, quer seja pela rentabilidade de seu negócio (impactada pelos custos de matéria-prima, nível de investimento, grau de mecanização, tecnologia adotada, custos de produção e logística). É impactada também pela qualidade do produto final, onde se inserem de forma significativa, os coprodutos desta cadeia de produção. Isto pôde ser observado em um Estudo dos Indicadores Operacionais nas áreas de silvicultura, colheita e produção de carvão vegetal em Minas Gerais (Rodriguez, 2015).

Como registrado neste documento, coprodutos oriundos da produção de carvão vegetal são pouco ou totalmente não aproveitados, em função das características dos sistemas tradicionais de produção, que se apresentam quase sempre em unidades descentralizadas e em escalas diversas e com pouco conteúdo tecnológico, do ponto de vista do tratamento desses (coleta, processamento, armazenagem e comercialização). O coproduto com maior representatividade dentro da cadeia de produção do carvão vegetal é a moinha (ou finos de carvão). A moinha advém da separação do carvão, como consequência, principalmente, do peneiramento desse, imediatamente antes da carga dos altos fornos, chamado de “carvão de topo”. Isso permite uma adequada permeabilidade da carga metálica e das outras matérias-primas necessárias ao processo de redução do minério. A moinha pode ser aproveitada basicamente de duas formas: nos processos termorredutores através da injeção de carvão pulverizado, (Assis, 2008) ou sendo comercializada como combustível sólido para utilização nas indústrias cimenteiras (Maringolo, 2004), calcinações ou cerâmicas (Lucena, 2007). Outras aplicações são observadas quando as usinas possuem processos de sinterização ou pelotização integrados à sua produção e podem substituir o coque metalúrgico ou antracito por finos de carvão vegetal (Paul Wurth, 2017). A geração total de moinha pode chegar a até 30 %, do total de carvão entregue em uma usina siderúrgica (Relatórios internos ArcelorMittal Juiz de Fora, 2011). A moinha pode ser tratada diferenciadamente, seja através de adequação de sua geração e destinação, como, por exemplo, o peneiramento nas unidades de produção de carvão vegetal. Assim, evita-se que seja transportada até as usinas

juntamente com o total do carvão e, somente lá, ser segregada, o que pode reduzir os custos com fretes desnecessários (Rodriguez, 2011). Pode também, passar por processos de beneficiamento intermediário, antes do seu aproveitamento final, onde é reduzida a contaminação, adequação da granulometria e até a redução de umidade (MF Rural, 2017).

Do ponto de vista da qualidade e das relações comerciais, é prática comum, as usinas limitarem o teor de moinha no conteúdo total do carvão recepcionado, a um percentual máximo, descontando o excedente do valor total pago. Esse fato foi relatado por diversos produtores entrevistados durante o trabalho de pesquisa de campo realizado para esta consultoria e também em especificações de contratos de fornecimento de carvão vegetal e em especificações de contratos de fornecimento de carvão vegetal. Assim, alguns produtores alegam adotar um menor nível de mecanização na produção de carvão, com o intuito de manter menores níveis de geração de finos. Uma característica comum a todos os produtores que tomam essa decisão é a colocação de madeira na posição vertical nos fornos, a fim de reduzir a pressão interna e consequente quebra do carvão.

Outra aplicação para a moinha é o seu beneficiamento na forma de briquetes para uso doméstico (cocção). Atualmente, esses briquetes são pouco encontrados no mercado, devido à quase inexistência de produtores dedicados ao produto, conforme pesquisa em sítios eletrônicos de comercialização de produtos (Mercado Livre, 2017).

Existem também algumas experiências na utilização em compostos chamados autorredutores, mas não é uma prática usual na cadeia de produção do ferro gusa (Buzin, 2009).

Resíduos florestais (galhos e cascas), também podem ser classificados como coprodutos da produção de carvão vegetal, uma vez que, participam da cadeia de produção. Se adequadamente beneficiados, podem contribuir para o aporte de combustível em sistemas de geração de energia térmica em geral (Carneiro et al, 2012).

Outros coprodutos da produção de carvão vegetal, tais como os gases de pirólise, na forma de vapores ou condensados, foram avaliados neste documento em suas rotas tecnológicas possíveis. Abordaram-se também os aspectos técnicos e as limitações dos processos e dos mercados atuais e potenciais.

Sobre esses gases, vale explicar que, a madeira libera grande quantidade de voláteis no processo de carbonização. Ao serem condensados, geram o extrato pirolenhoso, o qual corresponde a uma mistura complexa de dezenas de constituintes, que podem ser aproveitados para diversas aplicações, como a fabricação de aromatizantes e conservantes de alimentos (Alves, 2003).

Por caracterizar-se como um processo de combustão incompleta da madeira, a carbonização também oferece como coproduto, gases não totalmente combustos, com potencial energético suficiente para serem aproveitados em processos subjacentes (secagem da madeira, cogeração de energia elétrica). Campanhas de caracterização dos gases condensáveis e não condensáveis, emitidos durante a carbonização, já foram realizadas em plantas de produção e carvão vegetal (Leme, 2016). Também foram calculados os potenciais térmicos e termo – elétricos. Um desses estudos, realizado pelo NEST (2016), apresentou os indicadores de produção de energia elétrica, bem como, do potencial de redução dos gases de efeito estufa, associados aos processos descritos para a queima e aproveitamento energético dos gases de pirólise.

O aproveitamento dos gases de pirólise vem sendo praticado em escalas experimentais, por diversas empresas do setor de carvão vegetal (Brito et al, 2014). Algumas empresas já realizam a queima dos gases sem nenhum aproveitamento posterior (Martins, 2016). Outros projetos já contemplam o aproveitamento do calor gerado para a secagem da madeira ou mesmo na geração de energia elétrica, (Carneiro et al, 2015), (Rodriguez, 2015).

Os gases também podem ser reciclados e aproveitados nos próprios reatores de produção de carvão. Assim, ocorre uma melhoraria nos fluxos gasosos, aumentando a eficiência global ao processo (DPC, 2016), Carbonex (2014), Andrade (2016).

Por sua vez, a condensação dos vapores da carbonização também é uma alternativa que deve ser considerada no estudo de rotas de aproveitamento dos coprodutos. Na década de 1980, algumas empresas do setor investiram e desenvolveram equipamentos para a condensação e recuperação do alcatrão vegetal. O alcatrão era utilizando como alternativa aos óleos combustíveis de origem fóssil (Castro et al, 1982). Essa rota foi praticamente abandonada no início dos anos 2000. Um dos fatores que contribuíram para a descontinuidade da linha de aproveitamento desse coproduto

foi a geração concomitante do licor pirolenhoso. O pirolenhoso era aproveitado para o próprio processo de condensação, atuando como fluído lavador de gases sendo consumido nesse processo, quando o processo era adequadamente controlado. No caso de excesso, era descartado nas praças de carbonização ou pulverizado sobre a madeira. Isso desestimulou as empresas a continuarem a prática de recuperação do alcatrão.

Um exemplo de ações no sentido de lançar produtos nessa linha (biofertilizantes; condicionadores de solo; aromatizantes; quelatizantes; argamassas para tamponamento), pôde ser observado durante a pesquisa de campo desta consultoria, nos relatos da RIMA (Vilela, 2016), DPC e BIOCARBO. Existe também, divulgação dessa rota em produções de pequena escala, em nível artesanal (Campos, 2007).

Algumas ações recentes procuram incentivar a produção e utilização desses produtos, tais como, investimentos em plantas piloto de demonstração (Anexo 4), e regularização para produção e comercialização junto aos organismos oficiais de certificação (Campos, 2106).

No caso do bio-óleo, pesquisas têm sido realizadas para o desenvolvimento da sua produção e de seus derivados de maior valor agregado, tendo como matéria-prima biomassas de origem diversa, na forma de resíduos ou mesmo com utilização de madeira de florestas energéticas (Bioware, 2017) (Pimenta, 2016).

A produção de carvão vegetal, bem como o processamento e a destinação de todos os coprodutos acima citados, é analisada em detalhe nas seções subsequentes deste documento, onde também se descreve a metodologia de coleta de dados e informações.

3. METODOLOGIA

Este é um trabalho essencialmente prospectivo, cujos resultados dependem de uma ampla base de consulta da cadeia de produção de carvão vegetal/coprodutos. Em consequência, procurou-se elaborar um planejamento que contemplasse pessoas e empresas que contribuíssem com informações relevantes. Essas informações estão referenciadas por estudos e trabalhos desenvolvidos e aplicados aos diversos setores da cadeia de produção de carvão vegetal e aproveitamento de coprodutos, localizados no território nacional. Os consultados fazem parte de um grupo maior de envolvidos com estes temas, ou seja, a pesquisa poderá ainda ser expandida. Durante os levantamentos procurou-se obter o maior número de indicadores de processos operacionais e econômicos possível. Também foram identificados pontos de melhoria e oportunidades. Foi elaborada a planilha que consta do Anexo 6 (Avaliação do estágio atual e perspectivas da cadeia de produção de carvão vegetal e coprodutos - Programação de visitas e reuniões – PVR). Essa planilha sintetiza todos os contatos levantados pela consultoria, classificados por Grupo de Interesse dentro do assunto.

Para cada contato, foram descritas de forma resumida:

A característica de atuação no grupo de interesse (ex. pequeno produtor de carvão vegetal). Relevância de sua participação na lista de referência (ex. experiência em beneficiamento de coprodutos). A especificidade de atuação no setor (ex. tecnologia de produção única no mercado nacional). Foi considerado também o conjunto de informações obtido pela consultoria, a partir de contatos pessoais e de diversas fontes disponíveis do setor (vide referências bibliográficas), como também, através de experiência profissional e atuação institucional do consultor. Para definição das prioridades e planejamento do programa de visitas, foi considerado o tempo para sua realização (4 semanas), e a otimização da rota de viagens semanais, procurando englobar todos os temas e localização, dentro do estado de Minas Gerais (roteiro no Anexo 7).

As mais variadas tecnologias de produção foram pesquisadas e visitadas pessoalmente pela consultoria. Conheceu-se o fluxo de produção, com o objetivo de levantar detalhes, informações e índices relativos a cada processo, o que nem sempre foi possível no momento da vista. Como detalhado adiante, nem todos os entrevistados

retornaram com as informações solicitadas. Os sigilos industriais de cada processo, de acordo com as solicitações específicas das pessoas e empresas, foram respeitados.

Para a prospecção de campo os contatos foram divididos em 6 (seis) grupos de interesse, de acordo com a função de cada grupo na cadeia de produção de carvão vegetal/coproduto. Os grupos foram divididos e caracterizados por:

1 – Produtores

Foram selecionados produtores de carvão vegetal que representassem a cadeia de produção, tanto nos aspectos de escala de produção, tecnologias diferenciais empregadas na produção e/ou tratamento dos coprodutos, quanto de localização no estado de Minas Gerais, representando as diferentes regiões produtoras.

2 – Processadores

Para esse grupo foram selecionadas empresas que adquirem coprodutos no mercado diverso e fazem o seu beneficiamento de acordo com a caraterística de entrada e demanda dos mercados que atendem. É um grupo com poucos participantes ativos no mercado de carvão vegetal em Minas Gerais. Considera-se que são nichos de mercado, como é o caso da INEAR (beneficiamento de moinha) e da BIOCARBO (processamento de alcatrão vegetal).

3 - Fabricantes de equipamentos

Também representado por um grupo restrito, pelo fato da baixa demanda por equipamentos para processamento ou beneficiamento de coprodutos (Guia Brasileiro de Biomassa, 2015). Possuem experiências bem-sucedidas de atendimento a projetos pontuais para o setor de carvão vegetal, tratamento e beneficiamento de coprodutos (peneiradores, secadores, injetores de biomassa, sistemas para transporte de gases, queimadores, entre outros). São referências para a composição de cenários de estudos de viabilidade futuros.

4 – Consumidores

Nesse grupo foram selecionados consumidores de três diferentes usos de finos (moinha), representando o principal coproduto da cadeia, através de:

- Utilização como Injeção de Carvão Pulverizado (ICP) tanto para altos fornos a carvão vegetal quanto para fornos a coque.
- Coprocessamento para obtenção de matérias-primas para siderurgia (sinterização; pelotização; etc.).
- Como combustível para os processos de produção de cimentos.

Para os coprodutos da rota líquida (condensados dos gases e seus derivados), foram levantadas as informações sobre os mercados atuais e potenciais, com bases nas entrevistas da Biocarbo, Ibiré, UFRN, Embrapa e Rima (Vilela 2016).

Para os coprodutos da rota gasosa (queima de fumaças e calor), os consumidores foram os próprios processos internos que foram detectados durante as prospecções das tecnologias tradicionais e de novas tecnologias.

5 – Novas Tecnologias

São aquelas que se apresentam ao mercado com diferenciais em resultados na produção de carvão vegetal. Possuem conteúdos tecnológicos avançados em relação ao mercado tradicional, com relatos de ganhos de produtividade, rendimentos, redução de custos e aproveitamento integral dos gases de pirólise (Rezende, 2014) e (Raad, 2014)

6 – Entidades

Professores e pesquisadores de instituições que trabalham nas áreas de projetos, estratégias de mercado e negócios. Contribuem, tanto no desenvolvimento tecnológico, quanto na tomada de decisões e ao suporte em ações que impactam a cadeia de produção de carvão vegetal. Representam entidades de classe, universidades, centros de pesquisa e outros órgãos de fomento e divulgação do setor.

Para nivelar o entendimento das atividades desta consultoria na fase prospectiva, foi elaborado o documento apresentado no Anexo 1, a fim de facilitar o diálogo com os grupos consultados. Esse documento, juntamente com uma carta apresentando o consultor, foram amplamente divulgados para todos os entrevistados. Foram enviados previamente e serviram como um roteiro nas entrevistas que se seguiram.

O estudo abordou quatro diferentes rotas tecnológicas envolvendo a produção de carvão vegetal e a destinação de seus coprodutos, a saber:

Rota 1 – Adoção de novas tecnologias em plantas de produção existentes (ex. queima de gases da pirólise com ou sem aproveitamento posterior).

Rota 2 – Novas plantas de produção com tecnologias avançadas (ex. reatores para carbonização contínua com aproveitamento de coprodutos).

Rota 3 – Tecnologias para exploração de coprodutos, exclusivamente (ex. beneficiamento da moinha ou do extrato pirolenhoso bruto).

Rota 4 – Tecnologias de utilização dos coprodutos diretamente em processos posteriores (ex. uso da moinha na produção de pelotas redutoras - pelotização).

3.1 PROCEDIMENTOS E DOCUMENTOS

Para melhor entendimento dos procedimentos planejados pela consultoria, visando o atingimento das metas e objetivos propostos, a metodologia de trabalho foi projetada dentro de estratégias segmentadas e complementares. Foram elaborados documentos específicos para atender a execução das atividades requeridas e elaboração dos produtos solicitados, a saber:

3.1.1. AÇÕES ESTRATÉGICAS:

Para realizar o trabalho de coleta e análise de informações prevista nesta consultoria, buscou-se planejar ampla consulta sobre o atual estágio da produção de carvão vegetal e coprodutos, suas perspectivas tecnológicas, no âmbito das empresas produtoras, setores acadêmicos e institucionais, fornecedores de tecnologias e equipamentos e consumidores em geral. O estudo desenvolveu-se dentro do estado de Minas Gerais englobando as regiões Centro-Oeste, Norte, Jequitinhonha, Triângulo Mineiro, Zona da Mata e Sul.

Com o intuito de verificar quais as tecnologias de produção empregadas (equipamentos, processos e indicadores) definiu-se e efetuou-se visitas a plantas de produção de carvão vegetal representativas em diferentes escalas. Com essa ação, os tipos e características dos coprodutos gerados, destinação e/ou aproveitamento foram conhecidos. Assim, foram levantados os indicadores correspondentes, bem como, da escala de produção mínima que cada tecnologia demanda, para sua viabilização, quando for o caso.

As ações estratégicas também incluíram a descrição e caracterização dos coprodutos envolvidos no processo de produção de carvão vegetal, os impactos positivos e negativos de sua geração, bem como a apresentação da visão atualizada do mercado e fatores inerentes que desenvolvem o setor, em relação aos coprodutos.

Realizou-se, ainda, uma pesquisa sobre as tecnologias disponíveis para o aproveitamento dos coprodutos nos próprios processos de produção existentes, disponíveis em operação ou relatados de forma potencial, caracterizando preliminarmente suas funções e resultados encontrados (Rota 1).

Também se incluiu o levantamento de informações sobre as tecnologias de produção de carvão vegetal e de aproveitamento dos coprodutos em estágios de desenvolvimento preliminar ou ainda não utilizadas em escalas significativas; verificou-se as evidências de desempenho e avaliação para os mesmos parâmetros das tecnologias usuais, bem como, da escala de produção mínima que cada tecnologia demanda, quando for o caso (Rota 2).

Buscou-se ainda levantar as atuais e potenciais rotas tecnológicas para coleta, processamento e destinação de coprodutos da produção de carvão vegetal, determinando seus indicadores: plantas existentes, capacidade instalada e produção atual, consumo e especificações de entrada e saída, custos de produção e preços praticados, com exemplos práticos de produtos e mercados – (Rota 3).

Por fim, foram levantadas informações sobre outros usos do carvão vegetal e seus coprodutos relacionados à produção metalúrgica em geral ou como substitutos em outras cadeias produtivas (Rota 4).

3.1.2. COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES:

3.1.2.1 Coleta de dados e informações – processos de aproveitamento de coprodutos

Para coleta e organização dos dados e informações referentes aos processos de aproveitamento de coprodutos, foram elaboradas planilhas de campo, preenchidas ao longo das vistas. As mesmas são detalhadas a seguir.

A construção da Tabela 1, “Levantamento de dados para prospecção coprodutos na cadeia de carvão vegetal”, foi realizada levando em consideração os campos abaixo detalhados.

Em primeiro lugar, informações básicas sobre a planta de produção visitada, a tecnologia empregada e o contato de referência:

Planta	
Tecnologia	
Contato	

Para descrição dos coprodutos foram criados os campos para as três rotas estudadas (sólida, líquida e gasosa), apontando os coprodutos gerados em cada uma delas:

SÓLIDA		LÍQUIDA		GASOSA	
MOINHA	RESÍDUOS	EPB	PIRO	VAPORES	CALOR

Para os grupos de interesse consultados (descritos anteriormente), foram elaborados os campos específicos, de acordo com a particularidade de cada um. Assim, por exemplo, o grupo de PRODUTORES está relacionado com a geração dos coprodutos, e o campo "Geração" contém as informações particulares para o entendimento dessa parte da cadeia:

ITEM	UNID.	SÓLIDA		LÍQUIDA		GASOSA	
		MOINHA	RESÍDUOS	EPB	PIRO	VAPORES	CALOR
Geração							
Índice	tCP/tCV						
Produção	tCV/mês						
Destinação							
Valor de venda - classe	R$/tCP						
Valor de venda - classe	R$/tCP						

O campo "Beneficiamento" objetiva coletar informações dos PROCESSADORES que adquirem os coprodutos na sua origem (moinha, condensados, etc.) e os transformam em produtos de mercado, levantando as informações de entrada e saída de materiais, custo de aquisição e preço de venda. O campo apresenta-se:

ITEM	UNID.	SÓLIDA		LÍQUIDA		GASOSA	
		MOINHA	RESÍDUOS	EPB	PIRO	VAPORES	CALOR
Beneficiamento							
P1 entrada	tCP/mês						
P1 saída	tP/mês						
Custo	R$/tCP						
Preço	R$/tP						

Para o grupo Coprocessamento, o objetivo é coletar informações de processos com maior grau de manufatura dos coprodutos, verificando qual a participação de cada produto no processo da planta (%P – produto final), o volume de produção (tCP-coproduto/mês) e o valor de venda (R$/tCP), como no exemplo a seguir:

ITEM	UNID.	SÓLIDA		LÍQUIDA		GASOSA	
		MOINHA	RESÍDUOS	EPB	PIRO	VAPORES	CALOR
Coprocessamento							
Briquetagem	% P						
	tCP/mês						
Preço	R$/tP						
Pelletização	% P						
	tCP/mês						
Preço	R$/tP						
Pelotização	% P						
	tCP/mês						
Preço	R$/tP						

O campo “Utilidades” informa sobre os diferentes consumos nas usinas ou plantas que utilizam os diversos coprodutos nas suas mais diferentes apresentações. Procura relacionar o balanço de consumo e excedente e, juntamente, com informações de custo/preço, pode indicar pontos a serem trabalhados, do ponto de vista de ajustes desses balanços e de oportunidades nos aspectos logísticos, por exemplo. Apresenta-se como:

ITEM	UNID.	SÓLIDA		LÍQUIDA		GASOSA	
		MOINHA	RESÍDUOS	EPB	PIRO	VAPORES	CALOR
Utilidades (Usinas)							
Injeção	kg/t produto final						
Peneria: # mm	tCP/mês						
Excedente (p/)	tCP/mês						
Valor 1	R$/tP						
Valor 2	R$/tP						
Gaseificação	kg/t produto final						
	tCP/mês						
Valor	R$/tP						
Queima direta	kg/t produto final						
	tCP/mês						
Valor	R$/tP						

Para relacionar os elementos da cadeia (geração – beneficiamento – coprocessamento e consumo), procurou-se levantar informações sobre os processos e equipamentos envolvidos em cada segmento. O objetivo é fornecer subsídios para os estudos de viabilidade, através da descrição de suas características, investimentos e custos operacionais. Tem-se então:

ITEM	UNID.	PROCESSOS - EQUIPAMENTOS						
		Descrição	Valor (R$)	Cons. EE (kWh/t-h)	MO (um)	%manut.	C. Total (R$/tCP)	Produção (t/h)
Geração								
Índice	tCP/tCV							
Produção	tCV/mês							
Destinação								
Valor de venda - classe	R$/tCP							
Valor de venda - classe	R$/tCP							
Potencial								

Também constam campos para que os participantes pudessem colocar observações e considerações gerais, sobre as particularidades do seu negócio.

CHECK LIST PARA PROSPECÇÃO COPRODUTOS NA CADEIA DE CARVÃO VEGETAL

| Planta | | |

3.1.2.2 Coleta de dados e informações – processos siderúrgicos e metalúrgicos

Para a coleta de informações nos processos siderúrgicos e metalúrgicos, foi elaborada uma planilha específica, detalhada a seguir:

A construção da Tabela 2, "Utilização de coprodutos da cadeia de produção de carvão vegetal em atividades siderúrgicas e metalúrgicas", foi realizada levando em consideração os campos abaixo, divididos conforme detalhado abaixo.

Em primeiro lugar, a tabela apresenta os processos de aproveitamento dos coprodutos relacionados com as atividades em si:

SINTERIZAÇÃO	PELOTIZAÇÃO	INJEÇÃO	QUEIMA DIRETA	GASEIFICAÇÃO	OUTROS

Em seguida, inclui-se o levantamento dos índices de consumo dos coprodutos em cada processo específico. Permite calcular o consumo total para determinada planta, e respectivos valores:

PRODUTO	UNIDADE
MOINHA DE CARVÃO	
CARACTERÍSTICAS AMPLIADAS - QCAMS	
CONSUMO POR t/PRODUTO BENEFICIADO (PB)	% moinha/t PB kg moinha/tgusa
PRODUÇÃO DO PB	t PB/ano tgusa/ano
DEMANDA MOINHA	t. Moinha/ano
VALOR MOINHA	R$/t
FOB	R$/t
Frete (-----km)	R$/t
VALOR PB	R$/t
Consumo	t/t.gusa

Acrescenta-se, em seguida, a identificação da participação dos coprodutos na substituição aos produtos tradicionais no processo:

SUBSTITUTO	
GÁS NATURAL	t/tPB
	R$/tPB
COQUE VERDE	t/tPB
	R$/tPB
CARVÃO MINERAL	t/tPB
	R$/tPB
ANTRACITO	t/tPB
	R$/tPB

UTILIZAÇÃO DE COPRODUTOS DA CADEIA DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL EM ATIVIDADES SIDERÚRGICAS E METALÚRGICAS

ROTEIRO DE PROSPECÇÃO

PRODUTO	UNIDADE	SINTERIZAÇÃO	PELOTIZAÇÃO	INJEÇÃO	QUEIMA DIRETA	GASEIFICAÇÃO	OUTROS
MOINHA DE CARVÃO							
CARACTERÍSTICAS AMPLIADAS - QCAMS							
CONSUMO POR t/PRODUTO BENEFICIADO (PB)	% moinha/t PB kg moinha/tgusa						
PRODUÇÃO DO PB	t PB/ano tgusa/ano						
DEMANDA MOINHA	t. Moinha/ano						
VALOR MOINHA	R$/t						
FOB	R$/t						
Frete (----km)	R$/t						
VALOR PB	R$/t						
Consumo	t/t.gusa						
SUBSTITUTO							
GÁS NATURAL	t/tPB						
	R$/tPB						
COQUE VERDE	t/tPB						
	R$/tPB						
CARVÃO INERAL	t/tPB						
	R$/tPB						
ANTRACITO	t/tPB						
	R$/tPB						

Tabela 2: Utilização de coprodutos na cadeia de produção de carvão vegetal em atividades siderúrgicas e metalúrgicas.

3.1.2.3 Coleta de dados e informações – indústria cimenteira

Para a indústria cimenteira, foi elaborada uma planilha para coleta de dados específicos. Pode ser observada na Tabela 3, "Informações gerais sobre aquisição e consumo de moinha de carvão vegetal na produção de cimentos", apresentada abaixo:

Informações gerais sobre aquisição e consumo de moinha de carvão vegetal na produção de cimentos

Caso os itens tenham variações expressivas de valorees que queiram ser informados

Empresa:	Cimentos Nacional		Contato:		Data:					
ITEM	VALOR	UNID.			Info 1	Info 2	Info 3	Info 4	Info 5	média
Produção de cimento		t/ano								
Consumo de moinha processo		t/ano								
Participação moinha		% total processo								
Consumo de moinha energia		t/ano								
Participação moinha		% total energia								
Faixa granulométrica moinha de:		mm a		mm						
Carbono fixo mádio		%CF								
Cinzas (médio)		% cinzas								
Pode calorífico inferior (PCI)		kcal/kg								
Preço medio coque verde		R$/t								
Fornecedores - Forn 1		nome								
Fornecedores - Forn 2		nome								
Fornecedores - Forn 3		nome								
Fornecedores - Forn 4		nome								
Preço médio 2016 - Forn 1		R$/t								
Preço médio 2016 - Forn 2		R$/t								
Preço médio 2016 - Forn 3		R$/t								
Preço médio 2016 - Forn 4		R$/t								
Cosnumo de coque verde		t/ano								
Preço medio coque verde		R$/t								
Comentáiros gerais sobre fornceimento de moinha:										
Qualidade										
Custos										
Sazonalidade										
Logística										

Tabela 3: Informações gerais sobre aquisição e consumo de moinha de carvão vegetal na produção de cimentos.

As planilhas foram apresentadas e discutidas durante as visitas. Todas as dúvidas sobre o preenchimento foram esclarecidas, bem como a necessidade de alguma adaptação em situações específicas. As planilhas também foram enviadas de modo eletrônico para posterior preenchimento das informações acordadas com os entrevistados e posterior reenvio à consultoria. O nível de retorno das informações variou entre satisfatório e nulo (ver item 4.4).

3.1.3. RESULTADOS E DOCUMENTAÇÃO GERADA:

Os resultados das atividades (campo e escritório), que compuseram essas duas primeiras etapas do trabalho, são apresentados na forma de:

- Transcrição dos assuntos por contato realizado durante as viagens e visitas.
- Caracterização dos coprodutos, rotas tecnológicas, processos, equipamentos, aplicações e índices relativos à produção e consumo.
- Produção de carvão vegetal, processamento e destinação de coprodutos.
- Sugestões para ações junto ao setor de carvão vegetal.
- Pesquisas relacionadas no exterior, referentes à utilização de coprodutos da produção de carvão vegetal.
- Anexos.

3.1.4. TRANSCRIÇÃO DAS VISITAS E CONTATOS REALIZADOS:

As entrevistas foram transcritas cronologicamente, de acordo com o roteiro de visitas programado. Relatam-se os pontos discutidos entre a consultoria e os entrevistados em cada área de atuação dos mesmos. Os relatos são baseados na opinião dos entrevistados, em suas experiências e em pontos que possam contribuir para proposições desse estudo. Sempre que necessário, foram adicionadas fontes para consulta complementar, tais como, endereços eletrônicos, referências bibliográficas e anexos. As informações levantadas durante as entrevistas, ou enviadas posteriormente à consultoria, foram tabuladas na forma de uma planilha denominada “Caracterização e rotas tecnológicas de aproveitamento e aplicação de coprodutos” (tabela 12), que apresenta uma visão comparativa do mapeamento realizado. Ao final de cada trecho relatado foram pontuadas as contribuições para auxiliar na tomada de decisões no âmbito do projeto. Duas empresas (Dynamis Mecânica Aplicada e ArcelorMittal Tubarão) não retornaram com informações complementares importantes para a elaboração do documento final, e por isso foram retiradas dessa revisão.

1 – S&D Florestal

Empresa de produção de florestas e carvão vegetal, destinadas a usinas integradas e independentes (www.sdflorestal.com.br)

Entrevistado: João Batista (proprietário)

Visita realizada em Martinho Campos no dia 21 de novembro de 2016.

A S&D Florestal é uma empresa atuante nas regiões Centro Oeste e Norte do estado de Minas Gerais. Tem operações em produção de mudas, reflorestamento próprio, industrialização de madeira (serraria e preservação) e produção e transporte de carvão vegetal para diversas usinas do polo siderúrgico mineiro.

Produz cerca de 26.000 tCV/mês em diversas modalidades de negócios (florestas próprias, compra de madeira, arrendamento de floretas de terceiros ou dos próprios clientes finais). Trata-se de uma expressiva produção, distribuída por diversas unidades de produção. Nos últimos anos, a S&D instalou fornos tradicionais do tipo JG, (Filho (2016), e desenvolveu também outros modelos de fornos circulares e retangulares. Construiu fornos em diversas dimensões com o objetivo de aumentar a produção das suas plantas, através da mecanização parcial das atividades. Como características relatadas para adoção do modelo operacional hoje em uso, destacam-se:

- Forno circular de alvenaria de construção mais simples e rápida.
- Arranjo dos fornos na planta que permite a interligação das saídas das fumaças, por meio de canais superficiais de alvenaria até chaminés centrais. Opcionalmente, podem-se instalar queimadores de fumaça, já testados em algumas unidades, mas não utilizados atualmente, devido aos custos de implantação e manutenção, não havendo nenhum retorno correspondente.
- Atividades de movimentação de madeira e carvão, semi-mecanizadas. Colocação da madeira mecanicamente na porta dos fornos, carga manual dos fornos, descarga mecanizada do carvão.
- A madeira é colocada manualmente nos fornos na posição vertical. O entrevistado relata que assim, conseguem-se baixos níveis de geração de finos. Na maioria dos contratos de fornecimento de carvão, o índice máximo permitido é de 15%.
- O entrevistado considera que instalação de energia elétrica nas plantas, pode facilitar a melhoria da produção (ex. uso de exaustores, separadores de atiços,

utilidades – oficina, água, iluminação), como é o caso de algumas plantas que já visitou.

Os modelos de produção adotados pela S&D (fornos e distribuição nas plantas) serão objeto de estudo das alternativas para as demais etapas do projeto (Produtos 3 a 5).

Os fatores apontados como contribuintes para uma menor geração de finos (carga manual com a madeira na vertical) sugerem um estudo mais detalhado sobre a o grau de mecanização e a produtividade global das plantas. O modelo utilizado pela S&D pode contribuir para análises de custo em função do grau de mecanização e ajudar a definir o melhor modelo para cada situação. Também pode contribuir para o desenvolvimento de equipamentos para atender a essa situação.

Outra contribuição para o modelo adotado pela S&D diz respeito à concepção de interligação dos fornos a chaminés centrais, por meio de canais de alvenaria (com ou sem queima das fumaças). Pode representar uma alternativa para melhoria do ambiente de trabalho e como passo anterior a adoção de queimadores de gases, com ou sem aproveitamento posterior.

2 – ArcelorMittal Bioflorestas (AMBIO)

Empresa do Grupo ArcelorMittal, produz carvão vegetal a partir de florestas renováveis de eucalipto.

Entrevistados: Vanderlan Santos (gerente técnico e engenharia) e Guilherme Souza (Engenheiro Mecânico)

Visita realizada em Martinho Campos no dia 21 de novembro de 2016.

A ArcelorMittal Bioflorestas produz 304.000 tCV/ano em quatro unidades de produção.

Os fornos para produção de carvão são do tipo retangular de alvenaria. Utilizam dois modelos de fornos, com capacidades para 40 e 100 tCV/batelada, cada.

Todas as atividades de movimentação de lenha e carvão vegetal são mecanizadas, com sistema supervisório para controle de processos. No acompanhamento da rotina operacional, observou-se uma relação inversamente proporcional entre o rendimento de transformação da madeira em carvão vegetal, chamado de RGO (Rendimento Gravimétrico Operacional) e o percentual de finos gerado no carvão vegetal produzido (Santos, 2016). Esse parâmetro (RGO) é útil no controle dos processos e na

previsibilidade da quantidade de finos gerada, a partir da medição direta do carvão vegetal produzido e da madeira consumida, sem necessidade da apuração final da quantidade de finos gerada, na recepção das usinas, por exemplo.

Estão implantando novos sistemas de transporte de fumaças (canais subterrâneos) e conjunto de fornalha-chaminé para a queima dos gases.

O peneiramento de carvão é feito no ato da expedição para a usina, retirando a fração menor que 9,52 mm. No passado, retiravam também a fração de 0 a 2 mm para reter o excesso de cinzas (ver tabela 11).

O peneiramento nas plantas de produção do carvão vegetal foi adotado como forma de reduzir a quantidade de finos entregues às usinas de ferro-gusa, que não eram integralmente utilizados na ICP (Injeção de Cravão Pulverizado). Os excedentes são comercializados aos clientes diretos (principalmente indústrias cimenteiras), reduzindo custos com fretes, manuseios, estocagem e quebras de carvão inerentes a maior presença de finos na carga. A íntegra desse estudo 2011 ("Aspectos logísticos do beneficiamento de finos de carvão vegetal para injeção de carvão pulverizado em altos fornos") é apresentada no Anexo 2.

Um levantamento mais detalhado sobre os resultados da atividade de peneiramento poderia contribuir como uma alternativa a ser adotada, para casos específicos citados no estudo (excesso de finos nas usinas, proximidade do cliente final da moinha, etc.).

3 – Meu Negócio Florestal

Empresa de consultoria especializada na produção de carvão vegetal.

Entrevistado: Daniel Câmara Barcelos (proprietário)

Entrevista realizada no dia 22 de novembro de 2016 (via telefone).

Empresa de consultoria especializada em projetos para modernização da produção de carvão vegetal. Atuou no desenvolvimento de diversos equipamentos e processos periféricos à produção, tais como, queimadores de fumaça, trocadores de calor, secadores de lenha, controle de qualidade. Trabalhou para diversas empresas do setor de carvão vegetal.

O interesse da entrevista era o de levantar informações mais recentes sobre o estágio atual do aproveitamento dos coprodutos na produção de carvão vegetal.

O entrevistado indicou a RECICARBON, localizada no estado do Espírito Santo, como projeto recente de produção de carvão vegetal com a adoção de tecnologias e melhorias ambientais (queima dos gases; trocadores de calor; peneiramento; etc.). O contato direto com a empresa não foi conseguido. No entanto, numa consulta pela internet (https://www.youtube.com/watch?v=0MCMrD6lK_Q), pode-se visualizar o processo de produção e a demonstração de funcionamento desses equipamentos. O sistema observado no vídeo da empresa RECICARBON pode ser consultado, caso a empresa disponibilize visitas e informações complementares.

Também reforçou importância de conhecer o projeto da Fazenda Guaxupé como exemplo de enfoque empresarial diferenciado em relação à produção e comercialização de carvão vegetal.

4 – APERAM Bioenergia

Empresa de produção de florestas e carvão vegetal próprio (fornecimento à siderúrgica integrada).

Entrevistado: Kleolvane de Paula (Engenheiro Metalúrgico)

Visita realizada em Capelinha no dia 23 de novembro de 2016.

O carvão vegetal é produzido em fornos retangulares de grande porte, modelo RAC 700, com capacidade para 100 tCV/batelada, transporte e queima de fumaças e sistema supervisório para controle da carbonização. Os condensados são recolhidos nas caixas de tomada de gases das chaminés e nos canais que conduzem aos queimadores utilizados na preparação de argamassas para reboco dos fornos. Não há separação do alcatrão e do extrato pirolenhoso.

Está em implantação uma caixa de decantação pré-fornalha do queimador para melhorar a coleta dos condensados. As coletas para quantificação foram iniciadas.

Outro projeto em estudo é a criação de uma câmara de combustão metálica com o objetivo de melhorar a eficiência do sistema e análise custo/benefício.

A empresa, também desenvolve alguns projetos relacionados aos coprodutos, tais como: compostagem de resíduos (parceria com a Universidade São João Evangelista), briquetagem de moinha e utilização como ligante do alcatrão, em parceria com a Bioware (Bioware, 2017).

O carregamento das carretas de carvão vegetal é feito por meio de um sistema de correia transportadora acoplada a um separador de atiços.

5 – VALLOUREC FLORESTAL

Empresa de produção de florestas e carvão vegetal próprio para fornecimento à siderúrgica integrada.

Entrevistado: Fabiano Mendes (Engenheiro – Pesquisa e desenvolvimento)

Visita realizada em Curvelo e Paraopeba no dia 24 de novembro de 2016.

A produção de carvão vegetal é feita em fornos retangulares dos modelos FR 190 e FR 390. Os condensados são recolhidos nas caixas de tomada de gases das chaminés e utilizados na preparação de argamassas para reboco dos fornos. Há separação entre o alcatrão, utilizado nas argamassas de vedação, e o pirolenhoso.

A produção de carvão vegetal também foi realizada em escala piloto durante 6 anos, em uma planta de carbonização contínua (Carboval). A Vallourec Florestal fez, durante a visita à empresa, uma apresentação descritiva do processo de produção com as rotas que envolvem o aproveitamento de condensados e a queima dos gases de pirólise com retorno ao processo dos gases superaquecidos oriundos da queima (GGQ) de parte dos gases e dos condensados. Uma parte dos gases gerados no processo de carbonização era utilizada para secagem da matéria prima (toretes de 20 cm).

A empresa possui 189 fornos modelo FR190 e 159 fornos modelo FR390. Cada forno, modelo FR190, produz em média 20 t/fornada e os FR390 50 t/fornada.

Os parâmetros relacionados a ICP, valores de venda e quantidade excedente estão sob gestão da Usina VSB Barreiro.

6 – CARBONEX

Empresa de produção de carvão vegetal em fornos tipo container.

Entrevistado: Guilherme Lana (sócio gestor do projeto)

Vista realizada em Sete Lagoas no dia 25 de novembro de 2016

A Carbonex é uma empresa francesa com associações no Brasil visando divulgação e comercialização da tecnologia para produção de carvão vegetal em fornos tipo container com aproveitamento de gases de pirólise para secagem e cogeração de energia elétrica.

A comercialização se dá soba forma de venda dos equipamentos, atrelada à prestação dos serviços de produção (gestão da operação por 5 anos).

Ainda não foi comercializado nenhum projeto deste tipo no Brasil.

As informações detalhadas da tecnologia estão disponíveis no sítio eletrônico da empresa: www.carbonex.fr e na referência bibliográfica Carbonex, 2014.

Segundo o entrevistado, a Carbonex possui um sistema em operação na França com planta operativa de 12.000 t CV/ano e 3,3 MWhe.

O sistema integra a produção de carvão vegetal com a geração de energia térmica (secagem da madeira) e elétrica, com diversos combustíveis (gases de pirólise, gás natural e biomassas) e caldeira de recuperação. O entrevistado informou que a tecnologia tem diferenciais importantes no sistema de picagem da madeira e secagem (não detalhado).

As informações contidas nas referências e as atualizações dos valores enviados pelo entrevistado servirão de subsídios ao Produto 3 (análise de viabilidade de tecnologias), para uma produção de larga escala (60.000 tCV/ano).

7 – CARBOJOTA

Empresa de consultoria em produção de carvão vegetal.

Entrevistado: José Gonçalves Bastos Filho (proprietário).

Visita realizada em Sete Lagoas no dia 25 de novembro de 2016.

A Carbojota é uma consultoria em sistemas de produção de carvão vegetal em média e pequena escalas (projeto e construção de fornos de alvenaria e condução dos processos para melhoria operacional). A descrição desses modelos e informações sobre a evolução, capacidades e rendimentos, podem ser vistas em Bastos Filho (2016).

Os primeiros trabalhos em fornos para produção de carvão vegetal foram feitos nos fornos circulares tradicionais, por serem os mais usuais no mercado. A evolução desses modelos priorizou, inicialmente, a simplificação nos sistemas de entradas de ar, permitindo um melhor controle e menores perdas por queima excessiva. Posteriormente, trabalhou-se para incrementar o grau de mecanização das operações

dentro dos fornos, aumentando o diâmetro e altura dos mesmos, mas mantendo o princípio da facilidade de construção e do baixo custo.

Atualmente a Carbojota trabalha em duas linhas de fornecimento: fornos retangulares em alvenaria e, estrutura metálica; e, fornos containers, com aproveitamento dos gases de pirólise com recirculação interna.

A Carbojota também desenvolve um projeto de um forno retangular com recirculação de gases. O modelo ainda está na fase de protótipo. Segundo suas projeções, o valor será competitivo e a recirculação dos gases irá permitir bons níveis de rendimento do processo.

O entrevistado acredita que algum tipo de beneficiamento (peneiramento ou redução do tamanho do carvão) realizado nas próprias unidades de produção irá melhorar a qualidade de fornecimento para as usinas (atendimento no quesito de percentual máximo de finos), o que poderá bonificar o produtor, pela venda direta da moinha ao cliente final e, assim, reduzir os custos com frete dessa parcela de finos.

Os sistemas desenvolvidos pela Carbojota, que consideram o aproveitamento dos gases no próprio processo de produção, poderão ser um diferencial para pequenos e médios produtores, pela redução das emissões e pela melhoria do rendimento.

8 – INEAR – Indústria de Energias Alternativas e Renováveis

Empresa especializada na compra, beneficiamento e venda de moinha de carvão vegetal.

Entrevistados: Silvio Moreira da Silva (proprietário); Lucas Barbosa (Eng. de produção).

Visita realizada em São Gonçalo do Pará no dia 28 de novembro de 2016.

A INEAR é uma empresa especializada na compra, beneficiamento e venda de moinha de carvão vegetal classificada para diversos segmentos (cimenteiro; calcinação; mineração, cerâmicas).

A empresa adquire moinha de carvão vegetal de diversas fontes no mercado (carvoarias, usinas siderúrgicas). A moinha é uma matéria-prima muito heterogênea, por isso é necessária sua classificação inicial, para determinar o tratamento posterior que será dado: classificação por sistema de peneiramento, secagem em forno rotativo ou moagem em moinho de martelos.

A capacidade de produção da empresa é de 4.000 a 5.000 t de moinha/mês. Classes granulométricas de 0 a 2 mm; 2 a 4 mm; 4 a 8 mm; 8 a 25 mm. A INEAR produz também pós de injeção com granulometria na faixa de 0,074 mm.

Os produtos são fornecidos com as seguintes especificações: AQI - Análise Química Imediata, para determinação do carbono fixo, voláteis e cinzas; PCI - Poder Calorífico Inferior entre 5.500 a 7.200 kcal/kg e umidade entre 20 % no período chuvoso e 15% no período seco. Esses parâmetros são importantes para o cliente que utiliza os produtos como fonte de energia, uma vez que, altos teores de cinzas contribuem para a redução do poder calorífico, visto que os materiais minerais (cinzas) não participam do processo de combustão, mas são contabilizados na massa do combustível submetido ao processo de queima (Brand, 2010). As classes granulométricas inferiores concentram os maiores teores de cinzas.

O entrevistado ressaltou a importância que deve ser dada ao manuseio da moinha na origem, evitando ao máximo a contaminação, por terra, areia e outros resíduos indesejáveis. Cuidados na movimentação e estocagem da moinha nas plantas de produção de carvão e nas usinas são importantes para garantir a qualidade. Para obter maior controle dessa qualidade, o mesmo estuda a possibilidade de oferecer a prestação de serviços de beneficiamento de carvão vegetal nas próprias plantas de produção, àqueles que tiverem interesse.

O transporte dos produtos beneficiados é realizado em veículos especializados (caminhões-silo), para evitar aeração indesejável que possa provocar combustão nos trajetos.

O beneficiamento da moinha de carvão como parte da cadeia de coprodutos pode ser um fator de interesse para o setor de carvão vegetal, como forma de valorizar esse coproduto, a partir da melhoria da qualidade e de uma logística mais eficiente, com consequente agregação de valor aos produtos beneficiados.

9 – ONDATEC BIOENERGIA S.A

Empresa de produção de carvão vegetal e coprodutos da rota líquida com a utilização de micro-ondas em forno contínuo.

Entrevistados: Ricardo Naufel (proprietário); Carlos Eduardo Musa Resende e Lélio Alves Vieira; Lauro K. Saito (sócios)

Visita realizada em Uberaba no dia 29 de novembro de 2016.

A tecnologia de produção de carvão vegetal com a utilização de micro-ondas foi desenvolvida há alguns anos com o suporte da UNIUBE (Universidade de Uberaba) e ações concretas no sentido de demonstrar sua viabilidade (operação de um forno em escala industrial por 2 anos). Detalhes sobre a empresa (constituição e histórico), tecnologia, produtos (equipamentos) e processos, podem ser vistos no sítio eletrônico da empresa: www.ondatec.com.

O fluxo simplificado do processo pode ser observado na Figura 1, a seguir:

Figura 1: Fluxo de produção simplificado da tecnologia Ondatec.

Especificamente, um forno em escala industrial operou em Tietê – SP, para produção de carvão vegetal para uso doméstico. Dessa experiência, foram coletadas diversas informações do processo, que compõe alguns indicadores-chave do conjunto. Por questões societárias e de baixo interesse do mercado pela inovação apresentada (na opinião do entrevistado), o equipamento foi paralisado. Atualmente, ainda se encontra parado na UNIUBE, mas caso haja interesse, o equipamento poderá funcionar em escala demonstrativa para avaliação dos interessados.

Os indicadores de investimento e operacionais informados, (contidos na tabela 12), servirão de subsídio ao Produto 3 (análise de viabilidade de tecnologias), para uma

produção de média escala (24.000 tCV/ano), com venda do bio-óleo e energia elétrica produzidos.

Em relação à comercialização do bio-óleo foi apresentado um estudo teórico de aplicação da substituição do gás natural para produção de vapor em caldeiras. Esse estudo considera medições do PCI do bio-óleo e o balanço de energia, em contraposição ao uso do gás natural. Com essa substituição, pode haver uma redução de até 45% nos custos de produção de vapor, quando a substituição for de 100%. O estudo encontra-se no Anexo 7.

Durante a visita à Ondatec pode-se observar uma breve campanha em um equipamento em escala reduzida (cerca de 50 litros). Foi demonstrada a utilização do sistema de micro-ondas na secagem e carbonização simultâneas, sem entrada de ar atmosférico. Também, observou-se recuperação (condensação) dos gases de pirólise. O sistema está integrado a um modelo supervisório que mostra a evolução térmica do processo com o tempo. Posteriormente, foram disponibilizadas fotos do carvão produzido e um vídeo em que se apresenta uma demonstração de resistência mecânica do carvão, aparentemente, satisfatória.

Segundo o entrevistado, caso haja interesse, o equipamento que está parado, poderá funcionar em escala demonstrativa para avaliação dos interessados.

Como contribuição ao estudo, a confirmação dos indicadores de processo informados, bem como, da certificação que uma rota de produção e consumo dos gases (na forma direta na cogeração ou através da venda como combustível), seria importante para o setor, por considerar uma solução integrada entre a produção e as emissões gasosas.

10 – Tiago Claret Santiago - ME

Consultor nas áreas de mineração e siderurgia com mais de 40 anos de experiência.

Entrevistado: Tiago Claret Santiago (consultor).

Visita realizada em Belo Horizonte no dia 01 de dezembro de 2016.

Engenheiro Metalurgista (UFMG) com Pós-Graduação em Eng. de Minas e Metalurgia. Ocupou os seguintes cargos em empresas siderúrgicas em Minas Gerais: Coordenador de Pesquisas Tecnológicas (CSN; MBR; MUSA), Eng. de Processos e Assessor de Qualidade (Usiminas). Atualmente desenvolve e dá suporte a projetos de operação e modernização de plantas de sinterização e pelotização, tendo trabalhado com moinha

de carvão vegetal como alternativa às matérias-primas tradicionais (antracito, carvão mineral, coque verde, etc.).

O entrevistado forneceu informações gerais sobre a produção de sínter e pelota para redução (produção de ferro-gusa) em altos-fornos (características diferenciais; consumo dos produtos nos altos-fornos; preços e participação da moinha de carvão vegetal como substituto de produtos de origem fóssil, especialmente o antracito). As informações relativas aos consumos de moinha estão tabuladas na tabela 12, que servem de referência para projeções para expansão do mercado com essas aplicações. Uma planta que produza 400.000 t/ano de pelota, com um consumo de 2,2% de moinha, demandaria cerca de 8.800 t moinha/ano, o equivalente à uma produção de 88.000 tCV/ano considerando um excedente de 10% sobre o carvão vegetal equivalente produzido. Essas informações são baseadas em experiências recentes repassadas por um cliente do setor siderúrgico tradicional.

Os fluxogramas de processos para entendimento das rotas (sinterização e pelotização) estão apresentados no Anexo 3. Esse anexo é uma apresentação que o consultor utiliza em seus projetos de desenvolvimento nas plantas de sinterização e pelotização, com o objetivo de demonstrar quais são os equipamentos e meios para obtenção de sínter e pelota e quais são as vantagens de sua utilização (p. ex. aproveitamento de resíduos). O entrevistado relata que essas tecnologias de aglomeração se tornam muito atrativas (técnica e economicamente), para fazer frente a situação de redução da qualidade de modo geral no minério de ferro utilizado (teor de Fe e granulometria).

11 – MDL AMBIENTAL

Fabricante de equipamentos para produção de carvão vegetal.

Entrevistados: Laércio Zica e Pedro Zica (proprietários)

Visita realizada em Dores do Indaiá no dia 2 de dezembro de 2016.

A MDL Ambiental é uma indústria fabricante de equipamentos para suporte a produção de carvão vegetal (injetores; processadores de resíduos; queimadores; trocadores de calor; caldeiras; gaseificadores). Detalhes da empresa podem ser encontradas em: www.mdlambiental.com.br

A empresa elabora projetos e fabrica equipamentos customizados para o beneficiamento e aproveitamento de coprodutos (resíduos florestais; moinha e

condensados) em plantas de produção de carvão vegetal e para clientes consumidores. Conhecida no mercado por fabricar equipamento de injeção de biomassa em sistemas de queima, denominado Biodragão. De acordo com o entrevistado, esse equipamento já operou como suporte à queima de fumaças, utilizando moinha de carvão vegetal, com bom desempenho. A figura 2, mostra o esquema de acoplagem do equipamento ao sistema de queima de gases para fornos retangulares da ArcelorMittal Bioflorestas (2007).

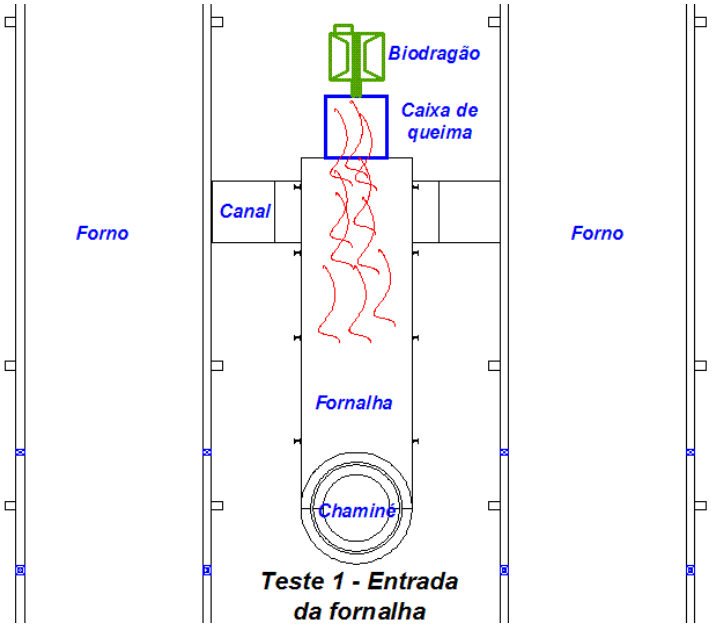


Figura 2: Biodragão acoplado na entrada do queimador

A MDL Florestal forneceu os processadores e injetores de resíduos florestais picados e os da linha de transportes de fumaças para o projeto GT 358 – P&D Cemig/Aneel para a ArcelorMittal Bioflorestas. Esse projeto teve como objetivo o transporte das fumaças, queima, cogeração de energia elétrica com os gases combustos em turbinas a gás de queima externa, e gerador elétrico. Como complemento energético, utilizaram resíduos florestais da unidade de produção. Os objetivos foram alcançados e os resultados podem ser vistos em Carneiro, 2015.

Atualmente, a MDL trabalha com sistemas de manipulação de cavacos de madeira e substituição de gás natural ou óleo combustível em caldeiras para produção de vapor.

Por ter capacidade técnica e flexibilidade na execução de projetos para o setor de carvão vegetal, é uma referência para projetos que aproveitem os coprodutos.

12 – José Raimundo dos Santos – Consultor de processos siderúrgicos

O entrevistado atua há mais de 40 anos no setor siderúrgico nas áreas de redução, beneficiamento de matérias-primas, logística integrada e desenvolvimento de melhorias de processos e equipamentos para produção de ferro-gusa. Participou de vários projetos no setor, tais como: reativação da Siderúrgica Itatiaia (1980); Constituição da Calsete Siderúrgica (1984); ativação da Siderúrgica Santa Marta (1993) e montagem e operação da Jorasa - beneficiamento de moinha (2007).

Foram realizadas duas visitas para levantamento das informações e opiniões.

12.1 – Visita 1

Entrevistado: José Raimundo dos Santos

Visita realizada em Sete Lagoas no dia 5 de dezembro de 2016

O entrevistado é da opinião de que as siderúrgicas independentes deveriam investir mais em equipamentos para melhorar seus sistemas de produção e, consequentemente, seus resultados. Para ele, seria importante a adoção dos seguintes equipamentos: trocadores de calor, distribuidores de carga, secador de minério, fábrica de oxigênio e ICP. Ele calcula algo em torno de 25% de melhoria de desempenho global em uma usina que adote essas tecnologias. Um dos fatores dessa melhoria é que a injeção de oxigênio propicia temperaturas mais altas e aumento das taxas de injeção de finos, o que melhora o aproveitamento desse coproduto.

Atualmente, as taxas de injeção utilizadas pela siderurgia situam-se na casa de 50-60 kg/t.gusa. Com a adoção da injeção de oxigênio, por exemplo, poderiam ser elevadas para cerca de 100-120 kg/t.gusa. Poucos altos fornos estão equipados com ICP (cerca de 6 na região de Sete Lagoas). No período seco, algumas empresas chegam a comprar moinha para fazer frente ao aumento da ICP. O entrevistado estima que a sobra de moinha nas usinas seja da ordem de 15%. Com base no fluxo de produção e comercialização de sua indústria de beneficiamento (Jorasa), as classes granulométricas, geradas no peneiramento nas usinas, situam-se na faixa de 5-6 mm, que vão para as cimenteiras. O entrevistado relatou uma prática isolada e pontual, ou seja, não é comum do mercado, de uma usina integrada (que tem a necessidade de utilizar carvão vegetal com maior granulometria), que gera uma classe granulométrica de carvão vegetal entre 5-15 mm, destinada a uma usina independente que o utiliza como carvão de topo.

Sobre o consumo de coque verde nas usinas de ferro-gusa, o entrevistado informou estimar que a participação desse insumo chega a cerca de 20 a 25%, com base em informações sobre transporte na região.

12.2 – Visita 2

Essa segunda visita teve por objetivo esclarecer alguns pontos abordados na primeira, sobre as questões de melhoria dos processos nas usinas, visando levantar opiniões e sugestões, relativas ao consumo da moinha de carvão vegetal. Por sugestão do Sr. José Raimundo a reunião contou com a participação do Sr. Bruno Chaves, atual Secretário de Desenvolvimento Econômico e Turismo de Sete Lagoas. O Sr. Bruno é proprietário da Siderúrgica Barão de Mauá, também localizada em Sete Lagoas – MG.

Entrevistados: José Raimundo dos Santos e Bruno Chaves Violante

Visita realizada em Sete Lagoas no dia 23 de março de 2017

O Sr. Bruno Violante discorreu sobre a evolução da usina (Barão de Mauá) em relação à modernização fabril como fator de diferenciação dos seus produtos (p. ex. adoção de distribuidor de carga no alto forno, fábrica de nitrogênio, cogeração de energia elétrica com gás de alto forno, testes com motores a gás, etc.). Também discorreu sobre o histórico do consumo de carvão vegetal (de origem nativa passando para 100% de floresta plantada) e das relações comerciais do mercado de carvão (utilização do coque pelas usinas e pelas cimenteiras, geração e utilização dos finos), como parte da evolução de sua empresa. Quanto à viabilidade da ICP citou números os quais, no momento, não atraem tal investimento. Também não vê, no curto prazo, a viabilidade de implantação de unidades e beneficiamento de minério (sinterização ou pelotização), como uma solução para esse problema. Por outro lado, caso não sejam encontradas alternativas para melhorar o desempenho do setor, o entrevistado mostrou preocupação em relação à sustentabilidade do negócio de ferro-gusa na região. Do ponto de vista da base florestal implantada para a produção de carvão vegetal, pontuou que poderá ocorrer uma migração para o abastecimento das indústrias de celulose, que já tem se suprido dessas florestas e que são mais atrativas em termos de resultados de negócio.

O Sr. José Raimundo pontuou os comentários sobre os assuntos tratados, com base em sua experiência profissional.

Como conclusão das conversas mantidas e, tendo em vista os objetivos do Projeto Siderurgia Sustentável, foram elencados os seguintes pontos:

- O setor de ferro-gusa necessita de modernização de suas tecnologias e as experiências efetuadas comprovam isto. Essa modernização levará a um maior consumo de moinha, melhorando a competitividade pelo aproveitamento integral do carvão vegetal.
- Também ocorrerá a redução no consumo de combustíveis fósseis, reduzindo as emissões de GEE (gases de efeito estufa) do setor.
- O estudo e disseminação das melhores práticas de mercado (processos, equipamentos e capacitação) poderão alavancar as ações para essa modernização.

Os entrevistados sugeriram a criação de um grupo multidisciplinar que possa elaborar e conduzir um projeto nesse sentido, podendo interagir com o Projeto Siderurgia Sustentável.

13 – BRENAND – Cimento Nacional

Fábrica de cimento.

Entrevistado: Edson Riberio (Diretor Industrial)

Visita realizada em Sete Lagoas no dia 5 de dezembro de 2016

A Brenand é uma fábrica de cimentos que consome moinha de carvão vegetal oriunda das indústrias siderúrgicas da região.

Na produção de cimento, a moinha exerce dois papéis importantes: (1) no circuito de produção para equilibrar os teores de enxofre; e, (2) como combustível (queima direta).No processo de produção de cimento são utilizadas as seguintes matérias primas: coque verde (nacional ou importado), moinha de carvão vegetal e a combustão de resíduos de outras atividades (processo conhecido como coincineração), junto com os combustíveis convencionais, em fornos de clínquer, para obtenção de calor para o processo de clinquerização (Santi, 2003).

Para a geração de calor necessário ao processo, se utiliza uma mistura de: carvão mineral, coque de petróleo nacional, coque de petróleo importado de alto enxofre, e moinha de carvão vegetal, como combustíveis em fornos rotativos (Paula, 2010). A variação de consumo dentro do *mix* é ditado pelos preços das diversas matérias

primas. Em média, a planta de Sete Lagoas utiliza de 15 a 20 % de moinha de carvão vegetal, com consumo anual da ordem de 30.000 toneladas. O consumo potencial pode chegar a até 70.000 toneladas/ano.

Segundo o entrevistado, por ser muito abrasiva, a moinha desgasta mais os equipamentos dos processos dos quais participa (silos, correias, fornos, etc.). A melhoria da qualidade da moinha (redução da contaminação e umidade) altera a relação de consumo para a indústria cimenteira. Ou seja, a melhor qualidade da moinha, tenderia a aumentar seu consumo em detrimento aos fatores de competição por preços, como relatado anteriormente.

14 – Ibiré Negócios Sustentáveis

Empresa que atua no desenvolvimento de negócios, reaproveitamento de resíduos, energia solar, consultoria, tecnologia e inovação.

Entrevistados: Guilherme Duarte (sócio); Rafael Morales (sócio); Alexandre Pimenta (prof. UFRN);

Entrevista realizada em Pirapora, no dia 6 de dezembro de 2016 (via conferência telefônica).

A Ibiré Negócios Sustentáveis é uma empresa que atua em negócios relacionados à sustentabilidade, especificamente na criação de negócios oriundos de resíduos (coprodutos). Desenvolvem projetos para recuperação dos condensados da carbonização, com base nas frações do pirolenhoso, desde 2011. Firmaram parceria com especialista em energia da biomassa florestal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Prof. Alexandre Pimenta, para a realização de parte da pesquisa aplicada em recuperação de coprodutos. A parceria foi iniciada em 2014, mesmo ano em que ocorreu o investimento no laboratório. Entre 2014 e 2016 foi realizado o período de testes e prototipagem.

Também firmaram parceria com a DURATEX, para teste e desenvolvimento de resina para madeira, e com uma indústria de fertilizantes, ingredientes e aditivos para comprovar os usos do extrato pirolenhoso na agricultura e pecuária.

Durante a entrevista foram apresentadas as perspectivas de utilização dos diversos produtos da cadeia de beneficiamento dos condensados da pirólise (rota líquida), bem como, de um plano de negócios a ser desenvolvido. Para maximizar os resultados da

produção em escala industrial, a Ibiré planeja o investimento escalonado em duas fases. A primeira fase prevê uma planta piloto com um investimento inicial de R$ 3,5 milhões, uma expectativa de receita de R$ 3,7 milhões por ano, margem líquida de 14% e uma TIR (taxa interna de retorno), em 10 anos de 13,7%, ou seja, mesmo em plano piloto há retorno sobre o montante investido.

A segunda fase é a construção de uma planta industrial com capacidade de processamento de 15 mil toneladas de fumaça por mês. O investimento previsto é de R$ 47,4 milhões, o *payback* (tempo de retorno do investimento), se dá ao final do 4º ano e a TIR, em 10 anos, é de 28,2% ao ano. Na fase industrial a receita anual prevista é de R$ 118,7 milhões, com margem líquida de 29% e EBTIDA de 35%. Informações sobre o plano de negócios podem ser consultadas no anexo 4 “Carboquímica Vegetal”.

15 – Biocarbono Produção e Comércio de Carvão Ltda.

Produtor de carvão vegetal.

Entrevistado: Peter Althoff (Gerente Executivo)

Visita realizada em Pirapora o dia 6 de dezembro de 2016.

A Biocarbono é uma empresa produtora de carvão vegetal com fornecimento para clientes diversos (usinas siderúrgicas integradas e não integradas). A produção atual de carvão vegetal é de 10.000 tCV/mês.

Durante a visita, foram discutidos aspectos do suprimento de carvão às usinas e apresentadas informações sobre a geração de finos.

O entrevistado apresentou informações sobre um levantamento realizado por um cliente do setor de ferro-gusa. Nesse levantamento foram realizadas amostragens de granulometria de acordo com a carvoaria de origem e entrega para um mesmo cliente. A amostragem foi feita de acordo com o tipo de movimentação da lenha/carvão, com maior ou menor grau de mecanização. Esse levantamento foi feito procurando estudar o efeito do grau de mecanização na geração total de finos. A tabela 4 abaixo apresenta o resumo dos resultados encontrados.

Unidade de Produção Biocarbono	Tipo de carga do forno	DISTRIBUIÇÃO POR CLASSE GRANULOMÉTRICA (%)			Densidade CV (kg/mdc)	Nº amostras
		< 1/4"	1/4" a 2"	> 2"		
Água Boa	Manual	7	55	37	230	12
Espírito Santo	Mecânica	8	63	29	226	18
Araras	Manual	7	59	34	213	6
Boa Sorte	Manual	10	50	39	202	4
Forno JG @3,5	Semi mecanizada	10	54	36		16
Média	%	9	56	35	218	
Desvio padrão	%	1	4	3	11	
Coef.de variação	%	15	8	10	5	

Tabela 4: Estudo sobre geração de finos na produção de carvão vegetal (Amostragem realizada em cliente da Biocarbono no ano de 2016)

Observa-se que a unidade com atividade mecanizadas (carga de madeira e descarga do carvão) apresentou o menor percentual da classe acima de 2” (duas polegadas), indicando uma tendência de carvão com menor faixa granulométrica.

O mesmo cliente realizou um levantamento (não publicado) da origem da geração de finos de acordo com o local de cada atividade e movimentação do carvão até o destino final. A malha da peneira de referência foi a de 6,35 mm. A tabela 5, abaixo, apresenta os resultados:

Momento da amostragem	Acumulado (%)
Descarga forno	4
Carga Gaiola	8
Transporte	9
Apuração na usina	18
Total	18

Tabela 5: Geração de finos em função do local de movimentação

Os resultados desse levantamento mostram que 44% da geração de finos das atividades de produção de carvão estão localizadas nos processos de produção (carbonização) e de movimentação interna. Os demais 56% ocorrem nas atividades de transporte (6%), na descarga e na movimentação interna nas usinas (50%). Esse estudo

pode indicar os pontos de melhoria para a redução da geração de finos nos pontos de movimentação do carvão.

16 – Rima Florestal

Produtora de ligas a base de silício.

Entrevistados: Adriana Vilela; José Urbano; Thalis Pacceli da Silva; Fernanda Couto.

Visita realizada em Buritizeiro no dia 7 de dezembro de 2016

A Rima é uma empresa que produz e comercializa ligas a base de silício (Si) de grau químico e grau metalúrgico, magnésio metálico e peças fundidas com ligas de magnésio. A empresa possui florestas plantadas e produção de carvão vegetal em fornos de alvenaria e em sistema de fornos container, com aproveitamento de efluentes líquidos e gasosos.

Foram discutidos com os entrevistados a produção de carvão e a geração de coprodutos no sistema forno container da empresa. Esse tipo de forno, projetado para ser o padrão de produção da empresa, de acordo com as melhores soluções operacionais e de engenharia, criadas ao longo de vários anos de estudo e de comprovação da tecnologia (Vilela, 2016).

O objetivo da adoção dessa tecnologia é a integração da produção, com o aproveitamento dos coprodutos para a geração de energia elétrica e carboquímicos de maior valor agregado (flavorizantes; resinas fenólicas em substituição do fenol; fibras de carvão ativado; revestimentos poliuretânicos; pasta de tamponamento de alto forno, etc.). Assim a tecnologia provê bons índices de transformação madeira/carvão vegetal e permite a remuneração da própria operação, através da geração de caixa adicional com os coprodutos gerados.

Existem informações sobre todo o fluxo do processo em relação à produção de carvão vegetal e coprodutos (finos, gases e condensáveis). Porém, os dados não são conclusivos, pois o mercado ainda não foi consolidado, já que ainda não há escala d e produção/consumo ou definição de preços.

A planta piloto foi visitada e pode-se observar todo o fluxo de produção e recuperação de coprodutos. A figura 3 abaixo apresenta de forma resumida o fluxo de produção.

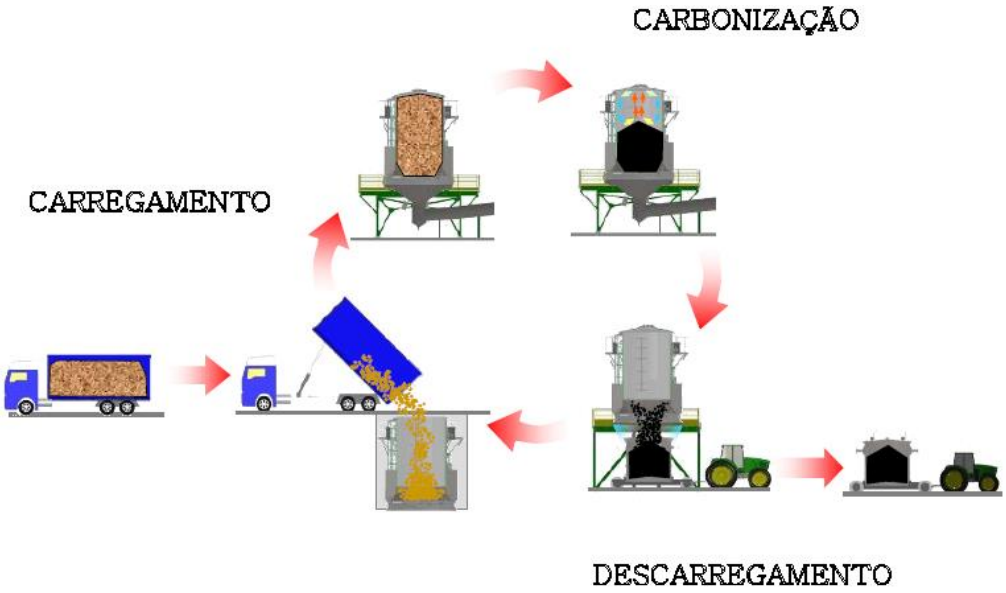


Figura 3: Fluxo de produção do forno container RIMA (FCR). (Vilela, 2016)

A visita permitiu coletar dados de indicadores de produção para a planta industrial pretendida (investimento futuro), compilados na tabela 12. Essas informações servirão de subsídio ao produto 3 (análise de viabilidade de tecnologias), na análise de uma produção de grande escala (48.000 tCV/ano).

17 – FAZENDA GUAXUPÉ

Produtor de carvão vegetal.

Entrevistados: Sebastião Fernandes; João Guilherme Fernandes (proprietários) e Gilvan Galdereto (Gerente de Operações)

Visita realizada em Divinésia no dia 13 de dezembro de 2016.

A Fazenda Guaxupé produz carvão vegetal em fornos retangulares mecanizados, com queima dos gases de pirólise, e possui uma produção mensal de 700 tCV, destinada à indústria de silício metálico. Informações adicioanis sobre o empreendimento podem ser vistas em: http://www.fazendaguaxupe.com.br/.

Na figura 4 abaixo pode-se observar a distribuição dos fornos e o sistema de queima de fumaças.

Figura 4: Vista geral da planta e produção da Fazenda Guaxupé

A empresa adotou um conceito próprio de “Refinaria Ecológica de Carvão”. Esse termo está relacionado com algumas ações voltadas para a melhoria das condições do ambiente e de trabalho, que refletem uma visão de bem-estar e sustentabilidade do negócio. A principal ação adotada como premissa do negócio é a queima das fumaças da carbonização. O arranjo dos fornos foi projetado para que os mesmos fossem conectados através de canais de alvenaria superficiais, a um conjunto de fornalha-chaminé, que busca operar (queimar) pelo maior período de tempo possível. Para tal, procura-se conduzir os ciclos de carbonização do conjunto de fornos entre aqueles com fumaças mais ricas e outros com fumaças mais pobres. Como consequência, ocorrem dois fatores que interagem. O primeiro é a necessidade constante de alimentar o sistema de queima com biomassa adicional (nesse caso, atiços). Com isto, reduz-se o desequilíbrio entre as marchas dos fornos (de acordo com a fase do ciclo e distância até o sistema de queima). Garante-se assim, que o ciclo de carbonização permaneça dentro do projetado (10 dias). O segundo fator é a necessidade de se utilizar um maior número de pessoas para o controle e manutenção do sistema de queima e condução dos fornos. Em relação ao primeiro fator, é necessário um consumo adicional de atiços entre 300 st a 500 st mensais, diretamente ligada a umidade da madeira. O segundo fator afeta a produtividade da mão de obra que se situa entorno de 30 tCV/H.mês. Em contrapartida, unidades com o mesmo grau de mecanização, volume de produção e modelos de fornos semelhantes teriam uma produtividade de cerca de de 50 tCV/H.mês (Rodriguez, 2015). Apesar de maiores

custos com madeira e pessoal, os proprietários relataram que a escolha do modelo operacional é compensatória.

Todo o processo adotado pela empresa permitiu um acordo com o cliente final de venda do carvão vegetal por um preço melhor, devido principalmente ao processo de queima das fumaças. O valor pago pelo cliente final não foi disponibilizado. No entanto, para referência, o valor médio praticado no mercado regional é de aproximadamente R$ 150,00/mdc, o que equivale a R$ 675,00 /tCV (informação coletada entre produtores locais).

Os indicadores de investimento e operacionais informados, contidos na tabela 12, servirão de subsídio ao produto 3 (análise de viabilidade de tecnologias), no que diz respeito à produção de pequena escala (700 tCV/ano), considerando fornos retangulares mecanizáveis, com queima de fumaças.

O modelo de produção da Fazenda Guaxupé pode contribuir das seguintes formas para o desenvolvimento de novas ações:

- Como o sistema de produção com queima está plenamente ativo, novos conhecimentos do processo podem ser adquiridos. Estudos específicos dos ciclos de operação, marchas dos fornos, fluxos de fumaças, eficiência da queima e dimensionamento geral do sistema, contribuirão para detectar melhorias. Podem ser fornecidas novas informações para outros projetos semelhantes, em que se queira adotar a queima das fumaças.
- A diferenciação no preço do carvão vegetal, obtida pela ação empresarial mútua (fornecedor-cliente), pode contribuir para a discussão do setor de carvão vegetal em valorizar a prática de queima de fumaças, sendo exemplo de um trade-off, até então não verificado no setor.

18 – DPC (em Visita à planta industrial da Eucalyptus Products Ltda)

Planta de beneficiamento de carvão para classificação, peneiramento e empacotamento do carvão vegetal.

Entrevistados: Sidney Pessoa, Antonio Delfino e Vânia Pinheiro (equipe DPC) e Jonas Botelho (sócio da EPL).

Visita realizada em Andrelândia no dia 14 de dezembro de 2016.

A empresa visitada adota a tecnologia DPC para produção e carvão vegetal para uso doméstico (marca “Puro Fogo”). Gera excedente de finos abaixo de 31 mm.

A produção de carvão vegetal é realizada com a tecnologia DPC (*Dry, Pyrolisis and Cooling*), que consiste na integração dos processos de carbonização com queima parcial dos gases de pirólise, não condensáveis, retorno dos gases combustos como fluido térmico para secagem e aporte para a própria pirólise. Também possibilita o aproveitamento parcial dos gases condensáveis, para recuperação do extrato pirolenhoso bruto e resfriamento da carga na etapa final. Há ainda, aporte de gás de madeira (gaseificação), como forma de melhorar o desempenho do GGQ (Gerador de Gases Quentes) do conjunto[1].

A praça de carbonização é composta por: quatro reatores para carbonização, secagem e resfriamento; gerador de gases quentes (GGQ); sistema de condensação dos gases; tanques de armazenagem dos condensados; tubulações de transferência dos fluídos; gaseificador de madeira e central de controle.

A empresa tem dificuldades com relação à qualidade da energia elétrica disponível na planta, pois existe muita frequência de queda de energia e sub tensão na rede. Esse aspecto é constantemente informado à concessionária de energia.

A tabela 6, a seguir, apresenta os dados operacionais da planta visitada:

ITEM	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
Início de operação	Junho/2016		
Produção de carvão	100	tCV/mês	
Produção de alcatrão	3.000	Litros/mês	
Geração total de finos	10	% abaixo de 31 mm	Após o beneficiamento e empacotamento do carvão
Rendimento gravimétrico	38	% b.s	

[1] Um vídeo mostrando o processo completo pode ser acessado em: https://youtu.be/2tCeW2cWhc8.

ITEM	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
Tempo de secagem	24	Horas	
Tempo de carbonização	24	Horas	
Tempo de resfriamento	24	Horas	

Tabela 6: Dados operacionais da planta EPL – com tecnologia DPC

A planta opera em regime normal e todos os processos puderam ser verificados durante e a visita. O controle dos processos via sistema supervisório também indica uma boa operabilidade da planta.

Os indicadores de investimento e operacionais informados, contidos na tabela 12, servirão de subsídio ao produto 3 (análise de viabilidade de tecnologias), no que diz respeito à produção de pequena escala (4.800 tCV/ano), considerando os mesmos processos observados na visita.

19 – S&D Florestal (filial de Andrelândia)

Empresa produtora de carvão vegetal.

Entrevistado: Adriano Luis Almeida (sócio).

Visita realizada em Andrelândia no dia 14 de dezembro de 2016.

A S&D Florestal é uma empresa produtora de carvão vegetal em fornos de alvenaria circulares, com semimecanização (lenha na porta do forno e descarga mecanizada), com sistema de captação de fumaças e emissão em chaminés de altura elevada. Fornece carvão vegetal para empresa de silício metálico da região.

A figura 5 abaixo mostra a distribuição dos fornos e das chaminés com alturas elevadas visando a dispersão das fumaças.

Figura 5: Vista geral dos fornos da planta de Andrelândia.

A tabela 7, abaixo, apresenta os dados operacionais da planta visitada:

ITEM	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
Produção	1.000	tCV/mês	
Dimensões dos fornos **Diâmetro** **Altura da camisa** **Altura da chaminé**	 5,5 2,2 10	 metros metros metros	Altura da camisa: refere-se à parede interna do forno (ou pé direito)
Comprimento da lenha	2,2	metros	
Fornos na unidade	84	um	
Chaminés	6	um	Um para cada 14 fornos
Rendimento em volume	2,3	st/mdc	Considerado alto pelo entrevistado. Problemas de secagem e tiragem
			Considerando a

ITEM	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
Geração de finos	10	%	peneira de corte na usina de 6 mm e teor máximo permitido na usina de 15%
Densidade do carvão	260	Kg/mdc	Florestas com 8 a 9 anos o que justifica uma densidade maior

Tabela 7: Dados operacionais da planta da S&D Florestal em Andrelândia.

Devido à concepção de interligar os fornos às chaminés pelos canais de alvenaria, há necessidade de condução das marchas dos fornos que propiciem um melhor
fluxo de gases com maior temperatura (ciclo adiantado) em detrimento aos de menor temperatura (ciclo inicial). Como não há sistema de queima (fornalha ou GGQ), ocorre atraso no ciclo, devido ao "travamento" da tiragem e do ciclo projetado para o processo.

Existe uma limitação, em certas usinas, para o tamanho máximo das peças de carvão vegetal em função de possíveis problemas de abastecimento no topo dos altos fornos. Nesta unidade foi observada uma atividade de quebra do carvão com dimensões acima de 35 cm de comprimento.

20 – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI

Entrevistados: Electo Lora, Osvaldo Venturini e Márcio Leme.

Visita realizada em Itajubá no dia 15 de dezembro de 2016.

Na UNIFEI o NEST (Núcleo de Estudos em Sistemas Térmicos) foi visitado para entrevista com os professores que deram suporte ao desenvolvimento do projeto P&D ANEEL/Cemig em 2008-2009, para cogeração de energia elétrica com tecnologia EFGT (Turbina a Gás de Queima Externa, do inglês, *External Fire Gas Turbine*) na ArcelorMittal, a partir dos gases de pirólise da carbonização.

As discussões a respeito do aproveitamento dos coprodutos na cadeia produtiva do carvão vegetal tiveram como referência a recente tese do Prof. Márcio Leme (Leme, 2016). Resumidamente, pode-se destacar os seguintes pontos do estudo do Prof. Leme:

- A possibilidade de recuperação da energia contida nos gases de carbonização para produção de eletricidade, tendo como base de estudo a unidade de carbonização da empresa Plantar Siderúrgica S.A., localizada em Itacambira (MG).
- Determinação de um PCI médio de 1268 kJ/kg para a fração não condensável dos vapores, correspondente a uma potência disponível de 57,125 MWt.
- O modelo propõe que os fornos funcionem em regime sincronizado, provendo uma qualidade de gás em fase combustível, suficiente para manter o sistema de queima operando satisfatoriamente.
- Análise de três tecnologias de conversão energética: o ciclo Rankine a vapor (tradicional com a utilização de água), o ciclo Rankine orgânico (fluído orgânico ao invés de água), e as turbinas a gás de queima externa (EFGT descrita anteriormente). Pelos cálculos foram obtidas eficiência da ordem de 24%, 23,7% e 19,3%, respectivamente.
- Análise econômica indicou o ORC (do inglês *Organic Rankine Cicle*) como a tecnologia mais viável para o caso, onde se estima um potencial de geração de 0,95 MWh de energia elétrica por tonelada de carvão produzida.
- Análise do ciclo de vida comparativa foi conduzida para avaliar ambientalmente o sistema, sendo a recuperação de eletricidade capaz de melhorar todos os impactos avaliados.
- Energia elétrica colocada no sistema, a partir da geração com os gases de pirólise, representa a captura de 3,4 tCO2 eq. por tonelada de carvão produzida.
- Oxidação fotoquímica resultou no impacto mais significativo, mostrando a importância da queima do gás para a qualidade ambiental local.

- Normalização dos resultados mostrou que o sistema proposto abateu 116% dos impactos ambientais avaliados, tornado o sistema de produção positivo ao meio ambiente.

Um projeto sobre geração de eletricidade descentralizada[2] a partir dos gases residuais da carbonização também foi apresentado e encontra-se em fase de discussão com os parceiros envolvidos (a FAPEMIG e a CEMIG Distribuição S.A./CEMIG Geração e Transmissão S.A).

A equipe do NEST pretende abordar também, pendente financiamento, a produção de energia elétrica com os gases residuais de pirólise, considerando também, estudos de viabilidade para pequenos produtores e a introdução de periféricos à produção (resfriadores e recuperação de alcatrão).

21 – Departamento de Engenharia Florestal – Universidade Federal de Viçosa

Entrevistados: Angélica Cássia Carneiro, Márcio Arêdes, Benedito R. Vital, Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, Marcos Oliveira de Paula, Vinícius Rezende de Castro, Daniel Bustos, Artur Rezende e Emanuelle Graciosa.

Visita realizada em Viçosa no dia 19 de dezembro de 2016.

A UFV é uma instituição integrada à cadeia produtiva do carvão vegetal com várias contribuições ao desenvolvimento tecnológico do setor, através da capacitação de professores e estudantes em todos os níveis de escolaridade (graduação e pós graduação). Conta com suporte do LAPEM (Laboratório de Painéis e Energia da Madeira), além de trabalhos em parceria com outros departamentos da UFV.

Os projetos atualmente desenvolvidos pelos pesquisadores (professores e alunos em nível de mestrado e doutorado) resultarão em teses e projetos apoiados pelas empresas e/ou por recursos governamentais (editais, programas, etc.).

Durante a visita, a equipe da UFV discorreu sobre alguns projetos que guardam relação com o tema. A tabela abaixo apresenta as linhas de pesquisa e outras informações de interesse desenvolvidas na Universidade.

[2] Veja edital FAPEMIG 14/2014– pesquisa na área do setor elétrico para maiores informações.

TEMA	OBJETIVO	PESQUISADORES	EMPRESA APOIADORA	OBS OU STATUS
Estudo sobre a geração de finos	Detectar pontos para redução	Márcio Arêdes	Aperam Plantar	
Resistência mecânica do carvão	Desenvolvimento de metodologia prática	Marcos Oliveira de Paula		Em andamento
Gases de carbonização	Análises para fornos de pequena escala	Arthur Rezende	Gerdau	
Trocadores de calor	Reduzir tempo de resfriamento dos fornos	Daniel Bustos		
Caracterização do Extrato Pirolenhoso Bruto	Estudo das frações dos condensados das fumaças	Emanuelle Graciosa	Aperam	Defesa de tese em 27/03/17
Secagem de madeira	Dentro dos fornos de carbonização	Angélica Cassia	Aperam	Coletando dados
Curvas de carbonização	Desenvolvimento de curvas padrão	Márcia de Jesus e Angélica Cássia	Aperam	Coletando dados

Tabela 8: Informações sobre projetos aderentes aos coprodutos na cadeia de carvão

Os trabalhos, listados na tabela acima, estão em fases iniciais de coleta de dados, montagem de equipamentos e desenvolvimento de metodologias. Pela aderência aos temas do projeto, considera-se muito importante o acompanhamento dos avanços, sempre que possam ser disponibilizadas as informações.

22 – Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Federal de Viçosa

Entrevistado: Everardo Mantovani.

Visita realizada em Viçosa no dia 20 de dezembro de 2016.

O Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da UFV atua em áreas como irrigação e energia na agricultura. A primeira área é aderente a projetos que se relacionam à utilização dos coprodutos, em especial o pirolenhoso. A segunda área pode contribuir com o setor de carvão vegetal, em relação à tarifação da energia elétrica praticada para os irrigantes. Por apresentarem menores custos, as tarifas de energia elétrica, funcionariam como um incentivo para a modernização da produção de carvão vegetal, através do incentivo ao uso de tecnologias que melhorem a produtividade (ex. secagem da madeira) e reduzam as emissões (ex. transporte das fumaças, queima, outras utilidades).

O objetivo da visita foi o de verificar se havia sentido explorar os dois temas, no âmbito da atuação do DEA, como forma de incrementar ações para o setor de carvão vegetal.

O Prof. Mantovani, do DEA, apresentou o trabalho realizado na IRRIGER[3] com foco na participação da energia elétrica nos custos de produção das culturas agrícolas. O trabalho demonstra, através de dados históricos, como os aumentos recentes das tarifas de energia impactaram negativamente os custos de produção. Esses resultados alertam sobre o impacto da energia elétrica no custo dos alimentos, demonstranto que devem ser desenvolvidas ações para eficientização energética desse insumo na área agrícola.

O entrevistado apresentou como é a tarifação da energia elétrica praticada, em Minas Gerais, para os irrigantes. Após essa apresentação, o Prof. Mantovani sugeriu que a adoção de um modelo tarifário semelhante e de menores custos é um ponto a ser avaliado pelo setor de carvão vegetal (com envolvimento de todos os participantes). Isso porque a similaridade de localização dos projetos (áreas rurais) e o incentivo que pode ser dado à modernização da cadeia produtiva do carvão vegetal, com a viabilização da energia elétrica, podem trazer benefícios significativos para o setor.

Em relação aos projetos para aproveitamento dos coprodutos da rota líquida, o entrevistado se prontificou a buscar sinergias dentro da universidade, para

[3] A IRRIGER é uma empresa dedicada à gestão de atividades de irrigação na área agrícola. Para maiores informações consultar o seguinte endereço na internet: <http://www.irriger.com.br>.

desenvolver temas, envolvendo diversas áreas afins (energia, nutrição, fisiologia, irrigação). Esses projetos poderão ser desenvolvidos em conjunto com outros departamentos e a partir do incentivo a alunos de pós-graduação (mestrado e doutorado).

23 – Biocarbo Indústria e Comércio Ltda

Empresa de aproveitamento de coprodutos do carvão vegetal.

Entrevistada: Maria Emília Rezende (proprietária).

Visita realizada em Brumadinho no dia 21 de dezembro de 2016.

A Biocarbo[4] é uma empresa dedicada à produção e comercialização de produtos oriundos dos condensados dos gases de pirólise (extrato pirolenhoso bruto), tais como: alcatrão vegetal, aromatizantes e fertilizantes. A capacidade instalada da empresa para processamento do estrato bruto é de 60.000 litros/mês.

Sua planta industrial é dotada de sistemas de recepção, tanques para armazenamento, decantação, aquecimento, destilação, separação e embalagem de produtos diverso, além de contar com um laboratório para análises de umidade, viscosidade e densidade.

Atualmente possui apenas um fornecedor, a Eucalyptus Products Ltda (ver item 18 da presente seção), que utiliza Tecnologia DPC. A produção da indústria poderia ser maior[5] que a atual, porém, necessitaria de maior volume de matéria-prima, de qualidade, para aumentar a produção. Essa matéria-prima poderia ser obtida em fornos retangulares com sistemas de condensação das fumaças. Os fornos mais rústicos possuem limitação para fornecer uma matéria-prima de qualidade, devido à grande queima e à contaminação do produto que ocorrem no interior desses fornos.

A tabela abaixo apresenta os rendimentos de transformação dos produtos condensados da fumaça, os indicadores das capacidades produtivas da planta e outros indicadores relevantes dessa atividade:

[4] Para maiores informações visite: <http:// www.biocarbo.com.br>.

[5] A capacidade de produção que a empresa pode alcançar não foi informada.

ITEM	VALOR	UNIDADE	APLICAÇÕES	OBS
Consumo da planta	3.000	Litros EP/mês	Decantação e destilação	Origem EPL/DPC
Piche	500	Kg/t EP	Massas refratárias	
Óleos e aromas	300	Kg/t EP	Óleos (aromas)	
Pirolenhoso	200	Kg/t EP	Biopirol (quelatizante)	

EP: Extrato Pirolenhoso

Tabela 9: Informações sobre a produção da Biocarbo Indústria e Comércio Ltda.

A entrevistada relatou ter conhecimento de estudos sobre utilização dos produtos à base de pirolenhoso como biofertilizantes, conduzidos pelo Prof. Caetano Marciano, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. Outro estudo, sobre a liberação da utilização do extrato pirolenhoso como fertilizante, vem sendo desenvolvido pela Pesquisadora Ângela Diniz Campos da Embrapa Clima Temperado junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Em contato via correio eletrônico no dia 06/02/2017, a pesquisadora da Embrapa informou que já existem produtos liberados para a agricultura convencional e que a certificação do extrato pirolenhoso, para uso na produção orgânica, está em andamento no MAPA.

24 – Industriar Consultores Ltda.

Consultoria em projetos de engenharia.

Entrevistado: Claudio Almeida Medeiros

Visita realizada em Belo Horizonte no dia 17 de janeiro de 2017.

A Industriar é uma empresa de consultoria em projetos de engenharia na área siderúrgica e de produção de carvão vegetal, que desenvolve engenharia básica, projetos executivos, equipamentos e instalações[6].

Durante a visita foram discutidos vários aspectos sobre as demandas atuais do setor de carvão vegetal na área de projetos de engenharia. O entrevistado acredita que faltam investimentos em projetos de engenharia com maior conteúdo tecnológico no setor, como por exemplo: queimadores de fumaças com elementos que melhorem o desempenho, permitindo uma maior eficiência de combustão; e o aproveitamento posterior dos gases combustos para geração de energia, a partir do aproveitamento do potencial térmico dos gases, ou para a secagem da madeira.

Em relação à recuperação de alcatrão, o entrevistado opina que os fornos retangulares, com capacidade acima de 30 tCV/corrida, propiciam uma produção de gases (fumaças) mais heterogênea. Isso se explica devido à ocorrência de fases de processos diferentes - secagem, torrefação, carbonização e fixação - simultaneamente, em diversos setores do forno (Rezende, 2014).

25 – Companhia de Ferro Ligas de Minas Gerais – MINASLIGAS

Empresa produtora de ferro silício, silício metálico e microsílica.

Entrevistado: Enzio de Melo Barbosa (gerente de controladoria)

Dados levantados por meio de contatos telefônicos e via eletrônica.

A Minasligas é uma empresa produtora de ferro silício, silício metálico e microsílica.

O resumo das informações levantadas sobre produção, geração de finos e destinação, encontra-se na tabela abaixo:

ITEM	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
Produção de carvão	4.800	tCV/mês	
Finos < 6 mm	8	%	
Finos < 20 mm	30	%	
Geração total de finos	12	%	Em relação ao carvão recebido na

[6] A Industriar desenvolveu e implantou o recuperador de alcatrão para a Biocarbo na planta da Eucalyptus Products (tecnologia DPC).

ITEM	VALOR	UNIDADE	OBSERVAÇÃO
			usina
Venda de finos	1.200	t/mês	
Valor médio	150,00	R$/t	Vendida para o transportador de carvão

Tabela 10: Informações sobre produção e geração de finos na Minasligas.

Toda a produção de finos é vendida para o próprio transportador de carvão, que revende o produto para o mercado de cimento.

26 – <u>Laboratório de Tecnologia da Madeira - Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)</u>

Entrevistado: Prof. Alexandre Pimenta.

Informações levantadas através de contatos telefônicos e troca de mensagens por via eletrônica.

O contato com a Universidade se deu a partir da entrevista realizada com a Ibiré (ver item 14 desta seção), com a qual a UFRN desenvolve projetos nas linhas de coprodutos da rota líquida. Vale mencionar que o Prof. Alexandre Pimenta também é reconhecido pelos trabalhos acadêmicos e de consultoria no setor de carvão vegetal. Em trabalhos de consultoria, o Prof. Pimenta implantou diversos projetos para empresas do setor (fornos, queimadores, estudos sobre recuperação de alcatrão etc.). No que se refere a pesquisas acadêmicas, o Prof. Pimenta e sua equipe, com suporte do laboratório da UFRN, desenvolve as seguintes linhas: energia da biomassa florestal; projeto e automação de fornos e queimadores de fumaça de carbonização; cogeração de eletricidade em plantas de carbonização; recuperação de coprodutos líquidos da carbonização; uso de extrato pirolenhoso em aplicações agrícolas, na área veterinária e de produção animal (promotor de crescimento); adesivos à base de alcatrão vegetal para colagem de compensados e chapas de partículas; carvão vegetal como

condicionador de solos agrícolas e florestais; substratos para tratamento de águas a partir de carvão vegetal oxidado com peróxido de hidrogênio e ácido nítrico[7].

O Professor Alexandre Pimenta tem mais de 30 anos de experiência em pesquisa e projetos na área de carvãovegetal. Entre os principais resultados alcançados em seu tarbalho, vale destacar pesquisas realizadas nas duas linhas de atuação listadas abaixo.

(i) Recuperação e utilização dos coprodutos da rota líquida da carbonização.

(ii) Queima de fumaças, experiências, perspectivas e limitações.

(i) Recuperação e utilização dos coprodutos da rota líquida carbonização.

Apresenta-se a lista de projetos em destaque sobre a recuperação e utilização dos produtos da rota líquida, dentro do campo da pesquisa em energia da biomassa florestal e de aplicações na agricultura e pecuária.

1. *Aplicação de Extrato Pirolenhoso na Área Veterinária*

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivos avaliar o efeito *in vitro* de concentrações crescentes de extrato pirolenhoso de jurema-preta e de eucalipto sobre fungos e bactérias causadoras de doenças em animais.

SITUAÇÃO ATUAL: Trabalho concluído e encaminhado para publicação no Journal of Applied Microbiology. EP retificado foi testado com resultados positivos, mostrando atividade antibiótica sobre Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus e Escherichia coli, e atividade antifúngica sobre Candida albicans e Cryptococcus neoformans. Para as bactérias, foi utilizado o antibiótico gentamicina como referência.

2. *Análise de Componentes do Extrato Pirolenhoso por Cromatografia Gasosa e Espectrometria de Massas (CG-EM) e Identificação de Compostos com Atividade Biológica*

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo determinar a composição química de extratos pirolenhosos de diferentes origens por cromatografia gasosa e espectrometria de massas, utilizando colunas C18 e sequência de solventes de polaridade crescente para fracionamento das amostras antes da injeção. Também

[7] Para maiores informações visite:
<https://sigaa.ufrn.br/sigaa/public/docente/portal.jsf?siape=1079298>.

objetiva a identificação de compostos com atividade biológica sobre animais, plantas e microrganismos.

SITUAÇÃO ATUAL: Trabalho concluído com artigo científico em fase de elaboração para envio para o *Analytical Methods*. Foram identificados 107 componentes químicos, dos quais pelo menos 20 macrocomponentes têm reconhecida e confirmada (*Merck Index, Human Metabolome Database*) atividade antibacteriana, antifúngica, antioxidante e estimulante do desenvolvimento celular. Os outros componentes são flavorizantes (sabor defumado), base para síntese orgânica, base para química fina, etc.

3. Nano-encapsulamento de Extrato Pirolenhoso

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes polímeros no nano-encapsulamento para liberação controlada de substâncias ativas do extrato pirolenhoso para melhoria de retenção foliar. Serão avaliadas a estrutura dos polímeros por microscopia de varredura e as propriedades físicas(espessura, opacidade, solubilidade em água e permeabilidade ao vapor d'água) e mecânicas (resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade),etc.

SITUAÇÃO ATUAL: Pesquisador parceiro está nesse momento cursando o pós-doutorado no Departamento de Química da UFV e avaliando as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros destinados ao uso como encapsuladores de princípios ativos. A partir daí serão selecionados quais os polímeros mais adequados para aplicação prática, principalmente em termos de meia vida quando submetidos ao intemperismo em condições de campo. Primeiros resultados dessa fase deverão estar disponíveis a partir de novembro/2017.

4. Uso do Extrato Pirolenhoso como Estimulante do Enraizamento de Palma Forrageira

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de doses crescentes sobre o crescimento e enraizamento da palma forrageira e no controle da cochonilha de escama.

SITUAÇÃO ATUAL: Trabalho em fase de conclusão. Verificou-se que em determinadas diluições e em diferentes pH's, o EP tem influência positiva marcante sobre o

enraizamento e a emissão de cladódios da palma forrageira em relação ao tratamento controle.

5. *Eficiência do Extrato Pirolenhoso adicionado à Ração sobre a postura de Codornas de Corte*

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar a melhoria na quantidade postura e na qualidade dos ovos de codornas alimentadas com ração enriquecida com dosagens crescentes de extrato pirolenhoso.

SITUAÇÃO ATUAL: Trabalho concluído. Dados em fase de análise estatística. Resultados positivos com 2 formulações para ganho de peso e conversão alimentar. Artigo científico em fase de redação com objetivo de publicação no *World's Poultry Science Journal*. Formulações foram disponibilizadas para a IBIRÉ que irá patrocinar mais 1 experimento de validação.

6. *Extrato Pirolenhoso como Aditivo em Ração de Frangos de Corte*

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar o ganho de peso de frangos de corte alimentados com ração enriquecida com dosagens crescentes de extrato pirolenhoso.

SITUAÇÃO ATUAL: Trabalho concluído com resultados positivos. Foram desenvolvidas 5 formulações que incluem o EP retificado em associação a um componente químico e outro fitogênico. O uso das formulações tiveram como resultado, ganhos de peso em frangos no ponto de abate, em relação aos tratamentos controle, conduzidos com antibióticos e outros promotores de crescimento. Efeitos positivos para conversão alimentar. Formulações já foram disponibilizadas para a IBIRÉ que irá conduzir mais 2 experimentos de validação, registrar, produzir e comercializar.

7. *Efeito do Extrato Pirolenhoso em Bovinos de Corte*

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do extrato pirolenhoso adicionado à ração sobre o desempenho de bovinos de corte.

SITUAÇÃO ATUAL: Em fase de captação de parceiros após testes preliminares de palatabilidade (adição ao sal mineral) terem sido positivos. Experimento exige grandes quantidades de EP.

8. *Avaliação dos Rendimentos em Carvão Vegetal e Extrato Pirolenhoso em Mini-forno* Retangular equipado com Queimador de Fumaça Vertical

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar os rendimentos gravimétricos em carvão vegetal e licor pirolenhoso obtidos na operação de um forno retangular equipado com queimador vertical de fumaça. Parceria UFRN–Ibiré Soluções Empresariais, 2015–2018.

SITUAÇÃO ATUAL: Experimento concluído. Artigo em fase de elaboração para publicação. Os rendimentos gravimétricos em carvão ficaram na faixa de 34 - 35%, mas o rendimento em líquidos condensados totais ficou na faixa de 15 - 17%, mostrando que o condensador acoplado ao forno está deficiente em termos de superfície e extensão para condensação.

9. Uso do Carvão Vegetal como Condicionador de Solos

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do carvão moído sobre o desempenho de culturas agrícolas e florestais. Culturas testadas: feijão caupi, feijão de porco, milho, arroz, moringa e teca. Parceria UFRN, UFERSA – Ibiré SOLUÇÕES EMPRESARIAIS, 2016 –2018.

SITUAÇÃO ATUAL: Experimento com feijão caupi, milho e sorgo concluídos. Os resultados mostram ganhos de até mais de 10% em massa seca/ha com a adição do carvão vegetal. Novos experimentos implantados.

10. Oxidação de Carvão Vegetal para Produção de Ácidos Húmicos para Fertilizantes e Tratamento de Água

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da oxidação química do carvão vegetal com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio. Avaliação do produto por termogravimetria, fluorescência de raios X, difratometria de raios X, RMN, espectroscopia de absorção atômica.

SITUAÇÃO ATUAL: As amostras já estão prontas e aguardando a caracterização por análise elementar, ressonância magnética nuclear, difratometria de raios X. Trabalho em fase de redação com vistas à publicação no *Organic Geochemistry*. A caracterização por termogravimetria já foi concluída e a partir daí foi selecionado um tratamento de

baixo custo para produção de "*terra preta (TP)*" para adição em solos agrícolas e florestais. Experimento de validação em fase de montagem - efeito da adição da TP sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas de solos será feita em linha de tempo de 0, 6, 12, 18 e 24 meses após a aplicação, em 4 tipos de solo. Avaliação de CTC, % de bases trocáveis, teores de N, P, K, Ca e Mg, saturação de alumínio trocável, porosidade, retenção de água, indução à formação de agregados, presença de micro e mesofauna, etc.

Sobre recuperação de alcatrão em fornos com diferentes capacidades e tecnologias, o Porf. Alexandre Pimenta comentou durante a entrevista:

> *"Os rendimentos em pirolenhoso e alcatrão em fornos pequenos são baixos. Os recuperadores acoplados a eles são compostos de tubos de PVC ou metálicos inclinados e com 2 - 5 metros de comprimentos. Com um percurso mais longo, parte da fumaça perde carga, as microgotículas coalescem e o produto escorre para um container. O rendimento gravimétrico (RG) nos fornos menores raramente passa de 28 - 29%, mesmo com lenha seca. Tive oportunidade de trabalhar em empresas no norte do país, com mais de 2.000 fornos e o rendimento situava-se nessa faixa. O carvão produzido é de boa qualidade (mais graúdo) em relação ao rabo-quente clássico. Fato que se explica pela presença de um leito de reação reduzido e com somente uma entrada de ar, o que facilita o controle do processo, em termos de taxa de aquecimento e de temperatura final atingida, sem deixar o forno "embalar" e passar do ponto. Nos FR de maior capacidade, o mesmo pode ser obtido com toras de até 3 m e com o devido monitoramento da carbonização. No cômputo final, fornos pequenos produzem menos carvão e menos alcatrão que os FR para fins de alto rendimento em produtos finais."*

Sobre questões tecnológicas de recuperação dos condensados e perspectivas para o mercado futuro, o Prof. Alexandre Pimenta comentou durante a entrevista:

- Importante beneficiar o produto bruto (EPB) utilizando técnicas para retificação, tais como, decantação, filtração e destilação adequadas para garantir uniformidade e qualidade. Coordenar ações junto aos órgãos responsáveis (MAPA, ANVISA, INMETRO, ABNT, etc.).
- Procedimentos para recuperação do alcatrão (condensação das fumas):
    - Iniciar o processo na temperatura adequada: acima de 90 a 100ºC medidas na saída das mesmas

- Assim , evita-se a condensação da água da madeira, que dilui muito o produto (EPB)
- Desenvolver testes rápidos para determinação de teor de umidade

Artigo condicionador de solos:

Relatou sobre vários experimentos dentro da linha de melhoria do solo pela adição de carvão vegetal. Um dos trabalhos publicados (Miranda, 2017), confirma o que já foi observado por dezenas de outros pesquisadores no mundo inteiro: adicionar carvão no solo promove melhorias que duram mais de 10.000 anos, já que o carvão não se degrada como a matéria orgânica comum (esterco, composto, etc.). O carvão melhora permanentemente a CTC (capacidade de troca catiônica), aumenta a produtividade agrícola e florestal, reduz a necessidade de adubação mineral, reduz a necessidade de defensivos, melhora a porosidade e aumenta a retenção de água do solo, eleva a microbiota do solo, etc. Assim, será implantado um experimento para avaliar o efeito da adição de carvão vegetal sobre a produtividade do eucalipto em quatro dosagens aplicadas no plantio: 0, 3.000, 6.000 e 9.000 kg/ha. Para tanto, o projeto será apresentado a alguma empresa da área de ferro-gusa, aço, ferroligas ou silício metálico que se disponha a financiar e implantar o mesmo. Alunos de mestrado podem se dedicar a esse projeto, orientando e se realizando a coleta e processamento dos dados experimentais. O ideal é que o experimento seja montado em uma área comercial de empresa do ramo para que se tenha validade e representatividade.

(ii) Queima de fumaças, experiências, perspectivas e limitações[8].

Durante a entrevista, o Professor Alexandre Pimenta fez uma avaliação sobre as limitações e perspectivas sobre queimadores e queima das fumaças da carbonização, com base em sua experiência de projetos, que foram desenvolvidos desde o ano de 2003. As considerações do Professor estão listadas abaixo:

[8] Sobre esse assunto, foi informado pelo professor a experiência de ter participado de dois cursos que colaboraram para o incremento dos conhecimentos sobre queima de fumaças da carbonização (FC). Um dos cursos, realizado na University of Glamorgan (no País de Gales), foi um curso de dimensionamento de câmaras para queima de combustíveis gasosos. O outro curso foi de dimensionamento de chaminés na Engenharia Química da UFPR, em Curitiba.

1. Falta de equalização na captação de fumaça: a falta de sincronização (um mesmo número de fornos fornecendo fumaças com condições para queima) exige alto volume de queima de biomassa auxiliar para manter o queimador em queima estável. Com distâncias diferentes dos fornos até o queimador, cada um trabalha numa velocidade ou num regime de produção de fumaça diferente.

Um princípio da mecânica dos fluídos deve ser obedecido: para distâncias diferentes, para o mesmo volume de fluido chegar a locais diferentes e na mesma quantidade na unidade de tempo, devem-se equalizar as pressões e as vazões, seja com tubulações de diferentes diâmetros, gravidade ou com bombas de recalque distribuídas estrategicamente. A chaminé do queimador é uma bomba de sucção que exerce pressão negativa para efetuar a tiragem da fumaça de carbonização. Ou seja, o forno mais longe receberá menos pressão porque a perda de carga é maior.

Foi informado que com regimes de produção de fumaça diferentes não há como produzir gás de qualidade média para queimar. A sincronização tem que ser perfeita, pois, sem ela, os queimadores exigem um alto consumo de lenha ou biomassa em esquema de *co-firing* (suplemento adicional de biomassa). Isso torna o processo técnica e economicamente inviável. Acrescentou que muitos bons projetos não tiveram sucesso por causa desse e de vários outros problemas. Dentre os quais, distâncias diferentes favorecem a condensação de líquidos na linhas dos fornos que estão mais longe.

2. Fornos espalhados e longe do queimador: o antigo modelo de implantação dos fornos retangulares (e ainda vigente na maioria das empresas) exige que haja distância entre os fornos para que a fumaça não fique concentrada num mesmo local, afetando os operadores e prejudicando as operações. O professor afirmou que esse modelo dificulta os projetos de queima de fumaça, pois, como informado no ponto acima, quanto maior distância, maior perda de carga e maior a condensação de líquidos na linha de transporte de fumaça. Isso gera entupimentos e entraves para viabilizar a queima. Para o processo é necessário que os fornos estejam organizados em clusters de no mínimo 8 unidades e com distância máxima de 30-40 m.

3. Tubulações de condução de fumaça expostas e/ou muito longas: as tubulações de condução de fumaça devem ser subterrâneas ou isoladas, pois sem isolamento ocorre condensação do pirolenhoso que está em forma de vapor. O alcatrão está na fumaça em forma de microgotículas (MG). As MG que têm diâmetro abaixo de 60 micrômetros se comportam como gás e não condensam, mas as que têm diâmetro acima disso impactam nas paredes e curvas e coalescem junto com o pirolenhoso. Isso gera líquidos na linha, que pode causar transtornos se exigir limpeza mais de 2 vezes por ano. Se o isolamento for feito, isso será minimizado, mas se o curso for longo é um problema e não se pode fazer muito nesse caso.

4. Baixo número de fornos ligados ao queimador: deve-se interligar o maior número possível de fornos ao queimador (respeitadas as questões de distância) para que haja boa quantidade de fumaça no circuito. Caso essa interligação não seja feita, haverá necessidade de queimar biomassa em excesso e o balanço de massa e energia do processo ficará desfavorável. Além disso, o custo de implantar queimadores que, durante o resfriamento dos fornos, fica muito alto, pois os mesmos passam metade do mês sem funcionar.

5. Falta de paredes quebra chama no interior do queimador: a principal característica de gases pobres é ter componentes que não queimam, por isso formam uma chama longa que exige mistura e longo curso para queimar. Para esses gases, a troca térmica para aquecer e ionizar o gás que entra no queimador tem que se dar por radiação. Para não ter câmaras muito longas, utilizam as chamadas "paredes quebra chama" (PQC) no interior do queimador. Essas paredes são alternadas e formam uma chicana, que fazem o gás turbilhonar e se misturar com oxigênio de forma eficiente. Um queimador típico para gás pobre têm número ímpar de PQC. A primeira parede está na entrada da primeira câmara que recebe o gás. Essa primeira parede tem furos na metade de cima, a segunda parede tem furos na parte de baixo, a terceira na parte de cima de novo e assim por diante. O gás vai queimando e não acontece o problema onde uma parte da câmara não é utilizada para queima, ocorrendo fuga de combustível. No queimador correto, a parte não perfurada das PQC fica incandescente, o que maximiza a troca térmica por radiação, ionizando o gás por igual

e dando tempo de que ocorra a queima, utilizando todo o volume útil da câmara de combustão.

6. Entradas de oxigênio sem dimensionamento: o queimador correto para gases pobres tem que ter entradas de oxigênio - primárias, secundárias e terciárias, às vezes até quaternárias. Na entrada de ar secundário, o ar tem que entrar com temperatura de pelo menos 500 °C. Em muitos queimadores, a entrada de oxigênio ocorre somente no início. Nesse caso, esse ar age como refrigerante, reduzindo a temperatura de entrada da fumaça e atrapalhando a ignição da mesma em vez de ajudar. O ar primário é só para iniciar a combustão. A queima é efetivada ao longo do queimador com a admissão de ar quente.

7. Chaminés com cálculo adequado: na maioria dos projetos observados, geralmente, as chaminés são muito baixas. Com a tiragem deficiente da fumaça, o forno começa a "*reduzir a marcha*", a carbonização não vai para frente, a taxa de aquecimento do leito diminui muito em relação ao regime normal do forno normal sem queimador. Esta é uma das justificativas para se abandonar os processos de queima de fumaças.

8. Modificações de projeto tradicional: um projeto[9] de módulo produtivo com 8 fornos retangulares, com 300 metros estéreos de lenha em cada forno, ligados a um queimador central funcionou muito bem por 3 anos seguidos. Queimou fumaça em regime de produção contínua de carvão, sem atrasar nenhum forno (4 dias para carbonizar e 8 para resfriar). O queimador consome apenas 30 metros estéreos de lenha por mês para uma produção de 630 toneladas de carvão vegetal por módulo de 8 fornos (foto da maquete abaixo). As tubulações são de alvenaria, subterrâneas e exigem limpeza a cada 6 - 8 meses de trabalho contínuo. A chaminé tem 28 metros de altura. A pressão de sucção na saída da fumaça (base da chaminé original) é rigorosamente a mesma para todos os fornos e todos trabalham no mesmo regime.

[9] Este projeto foi elaborado e coordenado pelo Professor Alexandre Pimenta.

O projeto deu ótimos resultados e foi expandido, produzindo atualmente 4.500 toneladas/mês.

Outros fatores também podem ser citados como pontos que interferem na questão dos queimadores, tais como: queimadores muito pequenos ou muito grandes; uso de materiais inadequados; falta de uso de refratário no interior dos queimadores; câmaras de combustão em formatos inadequados; uso de refratários com alumina muito baixa; chaminés sem refratário no interior; chaminés coladas no queimador apresentando rachaduras e depois desabamentos.

4. PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL, PROCESSAMENTO E DESTINAÇÃO DE COPRODUTOS.

Esta seção trata das diversas tecnologias para produção de carvão vegetal e sua associação com as diferentes rotas envolvendo os coprodutos. Aborda ainda, como ocorre o aproveitamento desses coprodutos, sua destinação e preços praticados no mercado.

A tabela 12: "Tecnologias de produção de carvão vegetal e de processamento e destinação dos coprodutos" apresenta o resumo das informações referentes aos levantamentos de campo. Nela, observa-se, por coproduto, a empresa contatada e a que grupo de interesse ao qual pertence. Apresentam-se as tecnologias de produção de carvão associadas a cada coproduto e informações como produção, modelo de reator (forno), investimento, quadro de pessoal e consumo de energia elétrica. Essas informações darão suporte ao Produto 3 (análise de viabilidade de tecnologias), para a elaboração dos estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (VTEA). Em relação ao aproveitamento dos coprodutos, apresentam-se informações sobre o processo principal que origina (ou gera) o coproduto, os equipamentos que participam desses processos e as características do coproduto. Mostram-se ainda os indicadores dos coprodutos em relação às taxas de geração ou consumo e de excedentes, que possibilita o cálculo dos potenciais de aproveitamento nos distintos mercados, sobre uma dada produção e tecnologia adotada.

Também se apresenta um detalhamento dos coprodutos e seus processos de aproveitamento e destinação, afim de que se possa compreender como cada coproduto está inserido na atual cadeia de produção de carvão vegetal.

4.1 – CONDENSADOS

Para esse estudo, tratou-se como condensados a fração líquida denominada extrato pirolenhoso, que contém todas as demais frações que são processadas posteriormente, tais como o ácido pirolenhoso, óleos (leves, médios, pesados) e piche. A figura 6, abaixo, apresenta uma visão geral da geração dos produtos da carbonização da madeira, com destaque para os líquidos condensados e seus derivados.

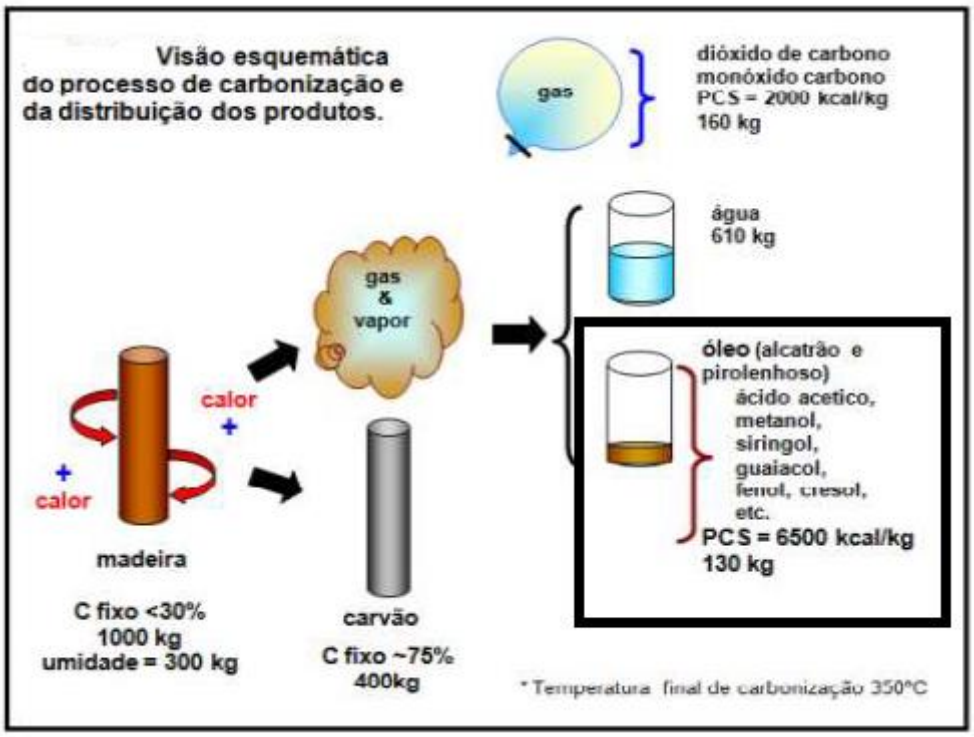


Figura 6: Esquema de produção de carvão vegetal, subprodutos e gases não condensáveis a partir da carbonização controlada de madeira (Benites et al., 2016)

O condensado é destinado para diversas aplicações, tais como a preparação de argamassas na planta, o retorno ao sistema para secagem ou como fluido de processo, combustíveis, pastas, tinta, compósitos, agricultura (fertilizante, fungicida), venda para beneficiamento, indústria alimentícia e agropecuária. Em relação ao atendimento ao mercado, algumas marcas comerciais estão disponíveis no Brasil. Foram identificadas as marcas Biopirol, Ecopirol e Natupirol[10]. Ainda existem pequenos produtores de carvão vegetal, localizados em São Paulo e na região sul do país, que também

[10] Essas marcas foram identificadas em consultas feitas na internet.

produzem e comercializam produtos condensados, sem produzir marcas comerciais conhecidas (Campos, 2016). Esse grupo será observado no item 4.1.2 adiante.

Para entender melhor os processos de condensação (ou recuperação) da fração bruta (Extrato Pirolenhoso – EP), as tecnologias existentes são descritas a seguir.

4.1.1 CONDENSAÇÃO NATURAL

A condensação natural dá-se quando ocorre a perda de carga e temperatura nos elementos de transporte das fumaças (caixas de passagem, canais de alvenaria ou tubulações) até as chaminés ou sistemas de queima (fornalhas ou GGQ's) ou exaustão natural. A figura 7 abaixo mostra a deposição do EP na saída de uma chaminé de um forno retangular de alvenaria, cuja tomada de fumaças (saída do interior do forno para a chaminé), dá-se por meio de um canal subterrâneo.

Figura 7: Caixa de coleta de EP na base de uma chaminé de um forno retangular (arquivo pessoal).

A geração de EP ocorre durante todo processo de carbonização. Isso produz um coproduto heterogêneo devido a maior quantidade de água presente na fumaça no início do processo (água da madeira) e sendo mais concentrada, ao final da carbonização. A figura 8 mostra a sequência de coleta do EP e seu armazenamento.

Figura 8: Coleta e armazenamento de EP de um forno retangular de alvenaria. (arquivo pessoal)

Em algumas utilizações, o líquido depois de coletado é decantado para separação da fração mais pesada (alcatrão), que é usado posteriormente na fabricação de argamassas para vedação dos fornos. As frações mais leves ou mais aquosas são dispostas sobre a madeira que será enfornada ou são utilizadas para umidificação do piso das plantas de produção. Em alguns projetos, em que há o transporte das fumaças para sistemas de queima, esses líquidos escorrem por gravidade pelos canais, até as células de queima.

4.1.2 CONDENSAÇÃO SEMI-FORÇADA

Os procedimentos de instalação e de coleta dos condensados podem ser consultado na Circular Técnica da Embrapa nº 65 “Técnicas de Produção de Extrato Pirolenhoso para uso Agrícola”. Os sistemas de instalação dos dispositivos são simples e de baixo custo e a coleta se dá ao longo do processo de carbonização, sendo recomendados alguns cuidados para a mesma (ver item 5 da circular). Para a condensação semi-forçada, também foram detectadas algumas técnicas que utilizam tubos de PVC ou metálicos acoplados às chaminés dos fornos.

A figura 9 abaixo apresenta a montagem sugerida na Circular Técnica da Embrapa nº 65.

Figura 9: Adaptação de um forno para a produção do extrato pirolenhoso. (Campos, 2007)

Esses sistemas são ofertados também por alguns fabricantes de fornos de pequena escala (cerca de 2 tCV/batelada), que informam índices de recuperação (produção do EP), por tonelada de carvão produzido de 190 a 380 litros/tCV (Fornos Maggi e Ecopirol[11]. Não foram informados os mercados para estas produções. A figura 10 abaixo mostra uma série de instalações de diversos fabricantes de fornos.

Figura 10: Fornos de alvenaria com sistemas de condensação semi-forçada

[11](Fonte: www.http://fornoparacarvao.com.br/fornos/- www.http://ecopirol.com.br/forno/index.html)

4.1.3 CONDENSAÇÃO FORÇADA

A condensação (ou recuperação de alcatrão) forçada é caracterizada pela utilização de equipamentos mecânicos especialmente projetados para esta finalidade. O desenvolvimento da tecnologia para recuperação do alcatrão em fornos de alvenaria iniciou-se no final da década de 1979. Foram testados diversos princípios para a condensação das fumaças através do resfriamento, lavagem dos gases e dispositivos para impor a perda de carga nos fluxos dos vapores. Os equipamentos eram acoplados diretamente às chaminés dos fornos e contavam com sistemas de exaustão forçada. A figura 11 abaixo apresenta alguns modelos esquemáticos dos recuperadores desenvolvidos.

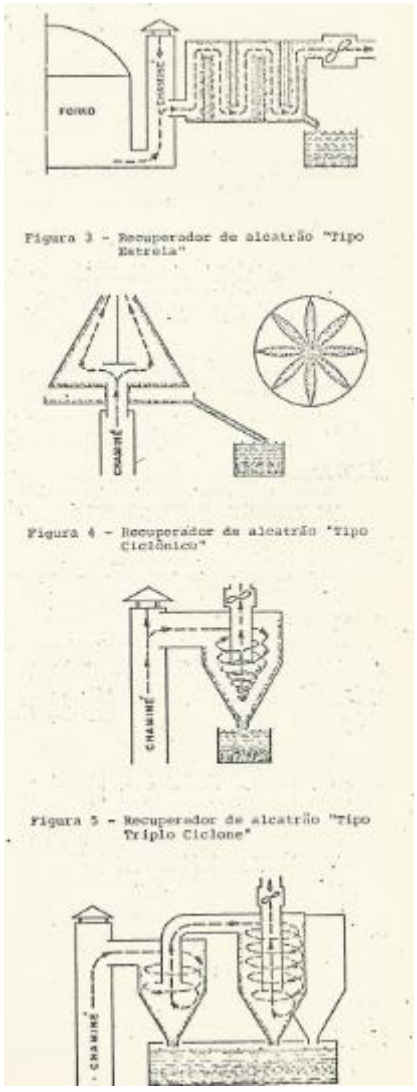


Figura 11: Modelos de recuperadores de alcatrão (Labirinto; Estrela; Ciclônico e Triplo Ciclone)

Fonte: Castro, 1982.

No que diz respeito à recuperação de alcatrão, um dos procedimentos utilizados é descrito pela sequência a seguir:

a) As fumaças são admitidas no ciclone primário a temperaturas que variam de 70 a 300ºC.
b) Uma parte se condensa e escorre para os tanques de decantação.
c) O restante do material segue passando por um lavador de gases, onde se dá nova etapa de resfriamento, através da vaporização do ácido pirolenhoso gerado no sistema.
d) Em seguida as fumaças atingem o duplo ciclone secundário. A temperatura é mais constante variando entre 70 e 90ºC.
e) Ocorre nova condensação das partículas mais pesadas, que também fluem para os tanques.
f) Os gases não condensáveis e vapores indesejáveis passam pelo exaustor.
g) Passam pelo expansor para evitar a condensação externa que podem causar chuviscos.
h) Como o alcatrão é mais denso, se decanta no tanque inferior, de onde é conduzido para os tanques de estocagem para homogeneização e expedição (Castro, 1982).

Ressalta-se que a técnica de recuperação do alcatrão foi descontinuada por todas as empresas no início dos anos 2000 (Brito, 2014). Durante as visitas realizadas no âmbito desta consultoria, a condensação forçada foi relatada e/ou observada nas tecnologias FRC (Rima), UPEC (Ondatec) e DPC, que utilizam recuperadores ciclônicos acoplados ou não aos lavadores de gases.

4.2 – GASES

O coproduto “GASES” foi definido para esse estudo como todas as fumaças que não passam pelo processo de condensação, aquelas que são recirculadas nos processos de produção de carvão e as que são queimadas (ou combustas). Em alguns processos onde há a condensação ocorrem na forma de GNC’s (gases não condensáveis). Podem, ou não, ter um aproveitamento posterior. Os gases representam a maior forma de emissões durante o processo de carbonização. Assim, vem ganhando interesse temas

sobre o seu aproveitamento e destinação, como observado através de 62% das entrevistas – 2-3-4-5-6-7-9-11-16-17-18-20-21-23-24 e 26, relatadas no item 3.1.4.

Os gases da carbonização são compostos de: hidrocarbonetos (CnHn); alcatrões solúveis e insolúveis; extrato pirolenhoso (EP); material particulado (MP); gases não condenáveis, tais como, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2); e vapor d'água (H_2O).

A questão das emissões também vem sendo debatida entre o setor público e produtivo, no âmbito da legislação estadual de Minas Gerais, quanto ao estabelecimento de limites máximos de emissões (LME). A deliberação normativa (DN) do COPAM (Conselho Estadual de Política Ambiental) nº 187, de 19 de setembro de 2013, estabelece esses limites. Técnicos do setor de carvão vegetal consideram que esse assunto gera impacto direto para obtenção das licenças de operação (LO) de empreendimentos para produção de carvão vegetal. Isso reside no fato de se exigir condições de controle ainda não totalmente desenvolvidos (técnica e economicamente viáveis), em função do estabelecimento de parâmetros não adequados às características dos processos de produção de carvão vegetal[12].

Pela importância da referida DN COPAM nº 183/2013, tratar de aspectos relacionados aos gases da carbonização, vale registrar, neste documento, os seguintes pontos:

- Em seu *caput*, a DN cita as razões pelas quais se faz necessário controlar a emissão de gases na atmosfera:

> "Considerando que a poluição atmosférica deve ser controlada na fonte, pelo emprego de processos menos poluentes e pelo uso de equipamentos de controle das emissões, em razão do Princípio da Prevenção à Poluição;
>
> Considerando que o estabelecimento de padrões de emissão para poluentes atmosféricos é uma das estratégias para controle, recuperação e preservação da qualidade do ar, visando proteger a saúde e o bem-estar da população e minimizar os riscos de danos à fauna, à flora e aos bens materiais em geral; e
>
> Considerando as diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) contidas na Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para

[12] Essas informações são opiniões pessoais de técnicos do setor de carvão vegetal, que foram percebidas durante as visitas de campo realizadas.

fontes fixas, e na Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011, que estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 2 de janeiro de 2007".

- Em seu Anexo I, "condições e LME para poluentes atmosféricos para fontes fixas", a citada DN dispõe, como uma das diretrizes para sua aplicação:

  "5) Para os empreendimentos que na data de publicação desta Deliberação Normativa possuam geradores de calor que queimam derivados de madeira e que tenham sido comprovadamente enquadrados no processo de licenciamento como geradores de calor a biomassa, até então sujeitos ao LME de 600 mg/Nm3 para material particulado, o órgão ambiental licenciador deverá, quando da revalidação do Certificado de Regularização Ambiental, estabelecer novo LME, mais restritivo, de forma a alinhar-se o máximo possível com o valor de 200 mg/Nm3."

- Também no Anexo I da DN em tela, a Tabela I-D apresenta as condições e LME de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira. Os derivados de madeira considerados são: lenha, cavaco, serragem, pó de lixamento, casca de madeira, aglomerado, compensado e assemelhados, desde que não tenham sido tratados com produtos halogenados, revestidos com produtos polimerizados, com tintas ou outros revestimentos.
- Nas Tabelas I-A até I-D, para geradores de calor com potência térmica nominal até 10 MW, a DN citada informa que o monitoramento de rotina abrange apenas o poluente CO, podendo o órgão ambiental licenciador determinar a qualquer tempo, mediante fundamentação, que sejam monitorados os poluentes MP, NOx ou SOx, caso haja indícios de que as emissões estejam afetando o bem-estar da comunidade ou a qualidade do ar no entorno do empreendimento.

Vale mencionar, ainda, que a DN COPAM nº 187/2013 traz as seguintes definições, em seu Anexo I:

- Processo de geração de calor por combustão externa: "processo em que a queima do combustível é realizada em forno ou caldeira e os produtos da combustão não entram em contato direto com o material ou produto que está sendo processado."

- Capacidade nominal do gerador de calor: “também referida como potência térmica nominal, expressa em MW, é a quantidade máxima de calor que o gerador pode disponibilizar por unidade de tempo quando operado na capacidade máxima para a qual foi projetado. É calculada multiplicando-se o poder calorífico inferior do combustível utilizado pela quantidade máxima de combustível que o gerador de calor pode queimar por unidade de tempo”.

A referida DN, no entanto, não qualifica especificamente a produção do carvão vegetal como objeto de monitoramento e controle das LME: o carvão vegetal é citado nas situações onde emite pó durante seu manuseio nas usinas (integradas e não integradas). A forma de controle se baseia na instalação de despoeiradores.

Na DN COPAM nº 187/2013, a madeira não é apontada como participante do processo de transformação em carvão vegetal, seja carbonização ou destilação seca. A madeira está enquadrada no Anexo I, Tabela I-D, “Processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira”.

Em relação às citações sobre os derivados de madeira na DN em tela, “lenha” poderia ser a caracterização mais próxima para a madeira de reflorestamento utilizada para produção de carvão vegetal (normalmente do gênero *eucalyptus*). Porém, diversas definições citam a lenha, no sentido estrito, como combustível para queima e geração de calor.

Considerando que a DN aqui analisada trata de processos de geração de calor, é importante ressaltar que o carvão vegetal é proveniente da queima parcial da madeira (Juvillar, 1980). Viana *et al*. (2006) afirmam que a energia para aquecer e evaporar a umidade da madeira é alta nos fornos de queima interna. Essa energia é gerada pela queima de parte da madeira a ser carbonizada. Deve-se então estabelecer qual a base de cálculo para determinar a capacidade nominal do gerador de calor, sendo a potência térmica nominal, expressa em MW. A capacidade nominal é a quantidade máxima de calor que o gerador pode disponibilizar por unidade de tempo, quando operado na capacidade máxima para a qual foi projetado. É calculada multiplicando-se o poder calorífico inferior do combustível utilizado pela quantidade máxima de combustível que o gerador de calor pode queimar por unidade de tempo. Esse assunto, conforme apurado nas entrevistas realizadas no âmbito desta consultoria, ainda está em discussão entre as partes interessadas.

Em relação ao controle de emissões, algumas ações já foram verificadas no setor, como o observado em uma condicionante para a obtenção da licença de operação, registrado a seguir[13]:

> *"Condicionante 06: apresentar projeto de redução de emissões atmosféricas das plantas de carbonização, com cronograma de execução e ART do profissional responsável. Após a apreciação da SUPRAM NOR, executá-lo conforme cronograma. Prazo: 120 dias".*

Nesse caso específico o órgão fiscalizador deferiu que:

> *"4. Conclusão Desta forma, diante da inexistência de tecnologia consolidada para o cumprimento da sobredita condicionante, e considerando a justificativa apresentada pelo empreendedor, a equipe interdisciplinar da SUPRAM Noroeste sugere a exclusão da condicionante nº 6, bem como a alteração do local de amostragem dos efluentes atmosféricos estabelecido no anexo II do Programa de Auto monitoramento da Revalidação de Licença de Operação nº 04/2011, ouvida a URC COPAM Noroeste de Minas."*

Por fim, vale ressaltar que, durante as entrevistas, foram levantadas as rotas tecnológicas relativas aos gases de carbonização, as quais, como registrado acima, de alguma forma diferenciam-se do lançamento convencional da maior parte das plantas de produção de carvão vegetal (gases lançados diretamente na atmosfera).

4.2.1 – TRANSPORTE E LANÇAMENTO EM ALTURA

A técnica "transporte e lançamento em altura"[14] é utilizada em fornos de alvenaria (circulares ou retangulares) de diversas capacidades, interligados por canais, também de alvenaria e ligados a chaminés de maior altura. A altura determina um empuxo que define a marcha dos fornos e a emissão da fumaça acima do ambiente de trabalho das unidades de produção. Isto confere um melhor aspecto visual no entorno da área de operação. Como resultado desta prática, não há nenhuma modificação físico-química nos gases emitidos.

Nos casos em que há atraso no ciclo de carbonização, podem ser acopladas fornalhas para a queima das fumaças e melhoria do empuxo provocado pelo sistema.

[13] Documento disponível em (file:///C:/Users/augusto/Downloads/Item 7.1_Egir_Comercial_Ltda%20(1).pdf.).

[14] Comentários sobre esta técnica estão expressos nas entrevistas da empresa S&D Florestal, nºs 1 e 19 do item 3.1.4.

A figura 12, abaixo, mostra um arranjo típico de uma destas instalações.

Figura 12: Arranjo de uma planta de produção de carvão vegetal com fornos retangulares, canais de ligação das tomadas de gases e lançamento em altura para a atmosfera.

Os investimentos adicionais para adoção dessa técnica não são muito significativos em relação aos sistemas convencionais, pelo fato de haver uma substituição entre as chaminés individuais dos fornos pela chaminé central de maior altura. A diferença está na construção dos canais de interligação. Um cuidado adicional deve ser observado, pois caso ocorram entradas de ar falso nos canais ou chaminé, poderá ocorrer combustão dos gases ou eventuais explosões.

4.2.2 – TRANSPORTE E QUEIMA

O transporte das fumaças é realizado de forma similar ao relatado na técnica anterior. A diferença está na adoção de câmaras de queima ou fornalhas, acopladas às chaminés que efetuam a queima parcial ou total dos gases. Existem vários arranjos físicos de distribuição dos fornos e dos sistemas de captação, transporte e queima como pode ser observado na figura 13. Nesses casos, não há aproveitamento dos gases combustos, mas existem algumas iniciativas de desenvolvimento de projetos para o aproveitamento desses gases na secagem da madeira ou na cogeração de energia elétrica, voltadas para as unidades de produção que utilizam fornos de alvenaria.

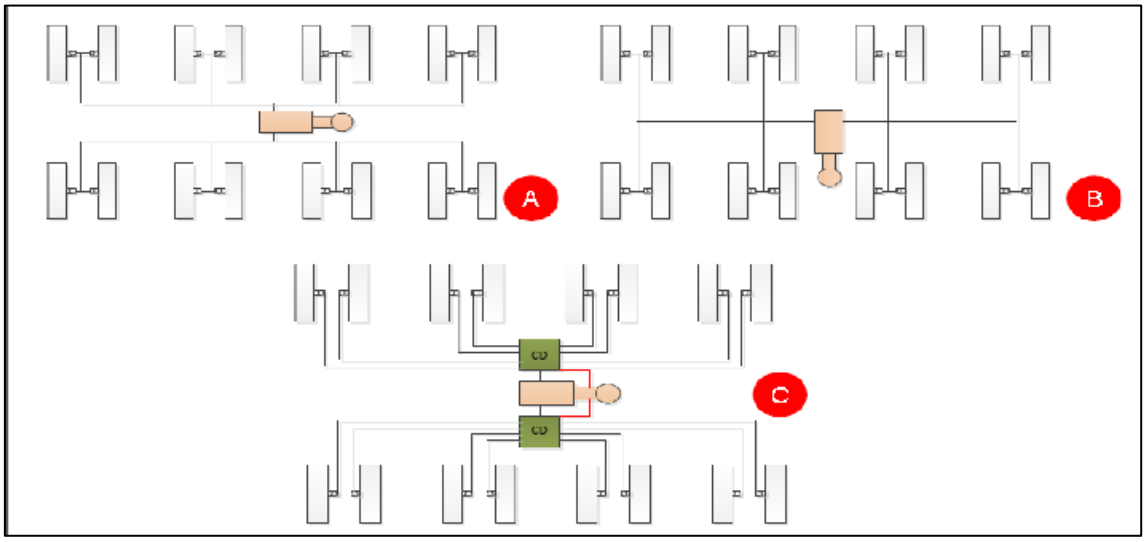


Figura 13: Arranjos físicos de plantas de produção de carvão com sistemas de transporte e queima das fumaças. (adaptado de: Martins, 2016).

4.2.3 – QUEIMA E RECIRCULAÇÃO

Esta técnica foi relatada para as tecnologias que empregam retortas de carbonização contínua (por exemplo, Vallourec Florestal, entrevista 5, e Carbonex, entrevista 6).

A energia para a transformação da madeira em carvão vegetal vem, portanto, da combustão parcial da fumaça produzida continuamente durante o processo, sem a presença de oxigênio, o que permite alcançar altos rendimentos gravimétricos (CGEE, 2015). Para isso, os gases são queimados e recirculados para o interior dos reatores.

No caso da DPC[15] (entrevista 18), além da recirculação para o processo de carbonização, utilizam-se os gases combustos, para injeção nos fornos e para secagem da madeira.

4.2.4 – QUEIMA E COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A cogeração de energia elétrica a partir dos gases de pirólise ainda está em estudo, e alguns trabalhos nesse sentido apresentam indicadores nessa direção (Leme, 2016). Contudo, ainda não se chegou a um modelo operacional consistente que possa ser reproduzido em larga escala. Ademais, todas as tecnologias relatadas como usuárias potenciais dessa técnica (entrevistas 5,6,9 e 16) ainda não foram técnica e economicamente viabilizadas.

Um projeto piloto sobre transporte de gases e cogeração de energia elétrica foi desenvolvido no âmbito do Programa de P&D CEMIG-ANEEL, em 2008, e revelou a viabilidade conceitual de efetuar o transporte de gases de pirólise e seu aproveitamento na cogeração de energia elétrica, a partir da utilização da tecnologia de turbinas a gás de queima externa (Leme, 2016). O estudo mostra também, as dificuldades apresentadas pelo sistema: vazamentos nas tubulações, falta de sincronismo dos fornos e necessidade de aporte extra com resíduos de madeira.

Estudos sobre a geração de gases durante o processo de carbonização têm sido realizados em alguns casos pontuais. Estas medições (campanhas) já foram realizadas com o intuito de quantificar a emissão dos gases e calcular o potencial para aproveitamento em energia térmica e elétrica (Leme, 2016).

Em relação à queima de gases e a integração com outras etapas da produção de carvão vegetal, ou mesmo de energia elétrica, o anexo 8 deste trabalho apresenta uma visão do potencial energético do aproveitamento das fumaças (Rodriguez, 2016). O documento relata os principais fatores que influenciam no processo de produção de carvão vegetal, as características que os definem, bem como o impacto no produto e as ações mitigadoras que devem ser adotadas. O estudo apresenta também, alguns fatores dificultadores que devem ser abordados e superados através do estudo de cada etapa, para que soluções técnicas adequadas sejam viabilizadas. O principal caminho apontado pela análise dos fatores expostos acima, leva a integração da

[15] Ressalta-se que esta técnica foi observada *in loco*.

produção, passando pelo desenvolvimento das tecnologias de queima e pelo aproveitamento energético dos gases combustos para a secagem da madeira e/ ou geração de energia elétrica. A secagem é uma meta que alavanca esta integração, uma vez que, promove a melhoria das próprias condições de queima e aumenta o rendimento de transformação. Por reduzir o consumo de madeira e as emissões dos gases para a atmosfera, o rendimento de transformação justifica, por si só, a busca contínua por soluções.

Um recente estudo (Moura, 2016) sobre modelos de produção de carvão vegetal e sua viabilidade frente aos fatores produtivos associados (rendimento gravimétrico e a densidade a granel do carvão vegetal), considera também, a venda dos gases de carbonização como fonte de receita. Para formação da receita desta venda foram considerados valores equivalentes aos de combustíveis tradicionais para geração térmica. A conclusão do estudo é de que, a receita com a venda dos gases (mesmo com valores abaixo do mercado), promove um incremento significativo no negócio de produção de carvão vegetal. Por fim, o autor preconiza uma planta industrial adequada à produção de carvão vegetal devendo possuir uma estrutura para condução dos gases de carbonização a um queimador central e utilização da energia proveniente da queima desses gases para a secagem da madeira e venda a uma usina termoelétrica.

4.3 – MOINHA (OU FINOS DE CARVÃO VEGETAL)

A moinha é o principal coproduto gerado na produção de carvão vegetal. Sua separação se dá no peneiramento nas usinas consumidoras (na descarga dos veículos de transporte ou na carga dos altos-fornos). O uso da moinha pode ocorrer, por meio do aproveitamento nas plantas de produção, como é o caso da ArcelorMittal Bioflorestas, que faz o peneiramento na carga dos caminhões de transporte. A separação da moinha do carvão também ocorre nas tecnologias utilizadas pela Rima, Carboval, Carbonex e DPC. A moinha também pode ser coletada e comercializada diretamente das plantas de produção de carvão vegetal, como uma forma de retirada de resíduos quando as plantas de produção são limpas.

Como forma de adequação da granulometria do carvão vegetal para a formação da carga do alto-forno, juntamente com o minério de ferro e demais matérias-primas, é

necessário fazer o peneiramento do carvão. Assim, controlam-se os fatores do processo de produção de gusa, tais como, a permeabilidade da carga e o fluxo de gases. O carvão vegetal bruto recebido pelas usinas é geralmente peneirado para a remoção dos finos cuja "faixa de corte" é função do porte do alto-forno e pode chegar até 25% do volume total fornecido (Barroso, 2007).

A principal aplicação para a moinha é a ICP (Injeção de Carvão Pulverizado) nos altos-fornos, que é feita com diferentes sistemas, dimensões e taxas de injeção. A adoção desta prática contribui para que maior quantidade do carvão recepcionado seja mais bem aproveitada como redutor[16]. As taxas de injeção variam de acordo com a malha de corte das peneiras, a época do ano e qualidade e o tipo do minério utilizado. Uma das constatações verificadas, durante as entrevistas e nas consultas bibliográficas, é que de que as usinas não integradas que possuem ICP nos seus altos-fornos não conseguem obter o mesmo rendimento de taxa de injeção que as outras. A taxa de injeção dos produtores independentes de ferro-gusa está em torno de 50 a 60 kg/t gusa, enquanto que as usinas integradas estão com taxas de injeção acima de 140kg/t gusa nos altos-fornos à coque (Assis, 2008).

Assim, como o carvão vegetal que participa do processo de redução e é carregado pelo topo dos altos-fornos, os finos devem possuir parâmetros de qualidade aceitáveis. Um desses parâmetros de qualidade que merece destaque é o teor de cinzas, ou mais precisamente à quantidade de impurezas agregadas à superfície do carvão vegetal. O teor de cinzas em grandes quantidades prejudica os altos-fornos, pois interferem na taxa de substituição do carvão, no volume de escória, no consumo de energia e no consumo específico (kg de carvão consumido por tonelada de ferro-gusa produzido). Por isso, é de grande relevância a redução do teor de cinzas presentes no pó de injeção dos altos-fornos, a partir da determinação das características físico-químicas dos finos de carvão vegetal (Barroso, 2007). A tabela 11 abaixo apresenta um resumo de informações sobre os produtos comercializados por duas beneficiadoras de moinha de carvão vegetal, em 2008.

[16] Essa é uma preocupação do setor, que pode ser verificada nos relatos das entrevistas 12.1 e 12.2s.

FORNECEDOR	CLASSE GRANULOMÉTRICA (mm)	CARBONO FIXO (%)	MATÉRIAS VOLÁTEIS (%)	CINZAS (%)	PCI (kcal/KG)
1	0 a 2	56	26	18	4.700
	2 a 19	65	25	10	5.460
2	1 a 2	57	28	15	4.800
	2 a 6	65	28	7	5.460
	6 a 20	74	22	4	6.200

Tabela 11: Análise física imediata de moinha beneficiada de carvão vegetal

(Fonte: empresas beneficiadoras de Minas Gerais)

Atualmente, as informações da tabela acima ainda são válidas, pois propicia o conhecimento dos efeitos da separação por classe granulométrica em sua qualidade - relação teor de cinzas e poder calorífico inferior (PCI), que são dois importantes parâmetros para consumo da moinha. Essas informações podem ser importantes, por exemplo, para escolha de um modelo de peneiramento que venha agregar valor ao produto, a partir da melhoria da qualidade da moinha (Rodriguez, 2011). Observa-se que, quanto menor a granulometria, maior o teor de cinzas. Isso se explica pelo menor tamanho das partículas que representam o conteúdo de cinzas (óxidos, poeiras, terra e resíduos) (Barroso, 2007).

A quantidade de moinha, que é contabilizada após a descarga e processos de estocagem e movimentação interna nas usinas, é bastante variável. Isto pode ser observado na tabela 12, onde a quantidade de moinha varia entre 8 e 38%. Essa quantidade é função da malha da peneira de corte, que a usina utiliza, e da quantidade presente no total do carvão entregue. A malha de corte utilizada essa está relacionada à maior ou menor permeabilidade da carga, ou seja, facilidade ou não dos gases passarem entre a carga do alto-forno, e da qualidade do carvão vegetal, como será visto adiante.

A separação da moinha do restante do carvão pode ocorrer em diferentes pontos da usina. Assim, a separação pode ocorrer no ato da descarga do carvão, que pode ir diretamente para os altos-fornos, ou pode ocorrer após a descarga, transportes

internos, estocagem e peneiramento antes da entrada no alto-forno. Essa quantidade apurada de moinha é que irá balizar, além do balanço da usina (carga pelo topo X ICP) e a sobra não utilizável, o percentual máximo de finos que os produtores podem fornecer às usinas.

A separação da moinha do restante do carvão pode ocorrer em diferentes pontos da usina. Assim, a separação pode ocorrer no ato da descarga do carvão, que pode ir diretamente para os altos-fornos, ou pode ocorrer após a descarga, transportes internos, estocagem e peneiramento antes da entrada no alto-forno. Essa quantidade apurada de moinha é que irá balizar, além do balanço da usina (carga pelo topo X ICP) e a sobra não utilizável, o percentual máximo de finos que os produtores podem fornecer às usinas.

A ICP também é realizada em fornos a coque, onde normalmente se utiliza carvão mineral. Um estudo relatado (Rodriguez, 2011), para a Usina de João Monlevade da ArcelorMittal, em 2009, mostra que, para uma taxa de substituição de finos de carvão mineral por finos de carvão vegetal da ordem de 20% houve a uma economia anual de aproximadamente R$ 5 milhões, para uma produção anul de 1 milhão de toneladas de aço.

Em relação ao mercado, os excedentes de moinha das usinas são comercializados para as indústrias cimenteiras localizadas em diversas regiões do estado de Minas Gerais.

As indústrias cimenteiras utilizam uma variada gama de resíduos para a sua fabricação. Em geral, trata-se de resíduos gerados nas plantas das indústrias siderúrgicas – moinha de coque e finos de carvão vegetal; e na agroindústria – casca e palha de arroz (Santi, 2004).

O coque de petróleo é o maior concorrente da moinha de carvão vegetal. São consumidos tanto o coque de petróleo de origem nacional, quanto o importado. Um dos pontos colocados como diferencial no consumo desses dois tipos de coque refere-se ao teor de enxofre que é indesejável na cadeia de consumo. O coque nacional possui uma menor porcentagem desse elemento[17].

Conforme informado pela Petrobrás na publicação “Coque Informações Técnicas” (2015), as emissões relativas à queima do coque verde de petróleo devem ser

[17] Informação coletada, por meio de mensagem eletrônica de 16/10/2016, de um dos fornecedores de coque de Petróleo (Petrobras Distribuidora S/A - Gerência de Vendas de Combustíveis Sólidos).

controladas, atendendo à legislação vigente. Além disso, “a quantidade de substâncias como o enxofre, o nitrogênio e os metais está intimamente relacionada à composição química do combustível, podendo sofrer alterações devido ao tipo de sistema de queima usado (temperatura da câmara de combustão, tempo de residência e tipo de exaustão, dentre outras)” (Coque Informações Técnicas, 2015).

Outros mercados para a moinha, tais como, o uso na sinterização e pelotização ainda estão em fase de expansão. Esses mercados foram desenvolvidos como alternativa para sanar o problema da redução da qualidade do minério de ferro fornecido às usinas, que foi relatada em algumas entrevistas[18]. Assim, essa linha de produtos pode crescer, seguindo a tendência de uma produção cada vez maior de finos de minério e concentrados, a crescente demanda dos operadores de altos-fornos e de plantas de redução direta por materiais de carga de melhor qualidade, bem como a exigência geral de uma produção mais eficiente em termos de custo e mais amigável ao meio ambiente (Paul Wurth, 2017). Por se tratarem de plantas com grandes escalas de produção, a demanda por moinha poderá ser expressiva.

Os preços da moinha informados durante as visitas variaram entre R$ 120 e R$ 160/t, considerando as usinas como ponto de coleta. Como referência, na época da pesquisa (dezembro/2016), o preço do carvão vegetal variava entre R$ 500 e R$ 590/tonelada de carvão, no mercado de Sete Lagoas – MG.

Durante as visitas, reportadas no item 3.1.4 , algumas impressões foram colhidas sobre as relações comerciais entre produtores de carvão e usinas siderúrgicas. Atendendo ao critério de manutenção do sigilo sobre informações estratégicas, as fontes de informações comerciais não serão reveladas nessa análise.

Em primeiro lugar vale registrar o formato de como se chega aos valores praticados no mercado de carvão vegetal. Pelo fato do carvão vegetal ser o componente de maior importância no custo final do ferro-gusa (aproximadamente 65%) (Barroso, 2007), o mercado estabelece o preço do carvão em função do preço do ferro gusa e seu ponto de equilíbrio.

A partir dos valores do ferro-gusa (praticados no mercado interno e externo), desconta-se frete, minério de ferro e custos de produção, resultando no valor do que

[18] Ver entrevistas 10 e 12.2.

se pode pagar e, também, em função da qualidade do produto dada pela densidade, perda com finos, carbono fixo, etc.

Em resumo, na origem o preço-base é em peso e esse é convertido para metro cúbico à granel (mdc), conforme a qualidade do carvão que cada consumidor consegue adquirir. Os preços praticados podem ser tanto em peso (R$/tCV), como em volume (R$/mdc). Na época das visitas (novembro/2016), o valor médio praticado era de R$ 546/tCV ou R$ 130/mdc. Para o ferro-gusa, a cotação indicava US$ 290 /t.gusa.

Os critérios de desconto na entrega do produto também são temas recorrentes de discussão. Não há consenso quanto aos critérios (coleta de amostras, formato e inclinação das peneiras) e pontos de medição (descarga dos veículos, apuração final da usina, etc.). São descontados valores referentes à umidade, atiços e percentual de finos. Para os finos, estabelece-se um valor máximo permitido (para determinada malha da peneira) e desconta-se *pro rata* o excedente que não é utilizado. Uma das formas de relação fornecedor-cliente foi assim relatada:

> *"as usinas buscam uma qualidade com o menor teor de finos, com base no carregamento feito manual com garfos e sacarias (da ordem de 4 - 6%). Aceita-se entre 8 e 10%, quando na origem, o carvão é carregado com máquinas. A maioria das usinas utiliza os finos para mistura junto com o carvão de topo. Os finos são separados e depois dosados na carga. Alguns separam, fazem a dosagem, mas não possuem estrutura de medição para desconto e, por isso, adotam um desconto fixo de 3% independente do que recebem e tentam melhorar a qualidade junto às áreas comerciais, selecionando fornecedores"*.

A moinha beneficiada tem uma linha específica de qualidade e preços. O produto é isento de impurezas, com maior granulometria e seco, chega a atingir o preço do carvão vegetal bruto[19].

Uma pesquisa sobre o uso do carvão vegetal e coprodutos no exterior, em aplicações siderúrgicas/metalúrgicas e para uso na agricultura também foi realizada. Foram selecionados três estudos que podem ser referência para continuidade da prospecção do assunto no Brasil. No entanto, atualizações desses estudos são necessárias. Para

[19] Ver entrevista 8.

melhor entendimento, as traduções feitas são livres e visam esclarecer de forma prática e direta os trabalhos analisados. Os resultados encontram-se no Anexo 10.

4.4 INDICADORES DOS COPRODUTOS

A última seção da tabela 12 apresenta informações dos indicadores dos coprodutos relativos às geração, fluxo, consumo, excedentes e preços, empresas e tecnologias prospectadas. Essas informações são importantes porque irão subsidiar a elaboração dos próximos produtos da consultoria. Também servem para comparar tecnologias afins e estimar o potencial de consumo e aplicação de determinado coproduto em mercados futuros.

Os indicadores da tabela 12 estão classificados em três níveis: NA (não se aplica: quando a informação não é necessária ao desenvolvimento do estudo); ND (não disponível: quando a informação é necessária, porém não foi disponibilizada) e; Disponibilizada (quando a informação, geralmente numérica, foi informada pela fonte).

Do total de informações úteis a serem analisadas (ND + Disponibilizadas), de um total de 120 possíveis, foram obtidas 41 informações ou 34%. As informações relativas aos preços, de um total de 32, foram obtidas 11 ou 34 %. Verifica-se então que a adesão ao fornecimento de informações foi de um terço do total demandado. Uma parte das ND refere-se à falta de conhecimento do entrevistado sobre o indicador (mesmo intrínseco ao processo). Outra parte refere-se a questões de sigilo industrial ou de mercado e, algumas vezes, foram justificadas dessa forma. Isso leva a crer que outras estratégias de coleta de informações devem ser buscadas junto ao mercado, quando se deseja alavancar ações institucionais de interesse comum.

Tabela 12: Caracterização e rotas tecnológicas de aproveitamento e aplicação de coprodutos

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL E DE PROCESSAMENTO E DESTINAÇÃO DOS COPRODUTOS

CONTATO				TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL						TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO DE COPRODUTOS			DESTINAÇÃO DOS COPRODUTOS						
														INDICADORES DOS COPRODUTOS				PREÇOS	
ITEM	COPRODUTO	EMPRESA	GRUPO	PRODUÇÃO CV (t/mês)	TIPO DE REATOR ou FORNO (modelo)	INVESTIMENTO (R$)	QUADRO DE PESSOAL (um)	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA (KWh/tCV)	PLANTA EM OPERAÇÃO	PROCESSO PRINCIPAL	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	CARACTERÍSTICA DO COPRODUTO	MERCADO	Apurado na usina (%)	Peneirado na Planta (%)	Consumo ICP (kg/tgusa) / outros	Excedente na planta- cliente (t/mês)	VALOR (R$)	UNID
1	Condensados	APERAM	Produtor	37.500	Forno retangular (RAC 700)	ND	ND	ND	sim	Condensação natural	Base da chaminé	Extrato pirolenhoso	Preparação de argamassas na planta	NA	NA	NA	ND	ND	
2	Condensados	Valourec	Produtor	25.850	Fornos retangulares (FR 190 e FR 390)	ND	ND	ND	sim	Condensação natural	Base da chaminé	Extrato pirolenhoso	Preparação de argamassas na planta	NA	NA	NA	210	ND	toneladas
3	Condensados	Carboval	Produtor	ND	Retorta contínua	ND	ND	ND	não	Condensação natural	Tubulações de transporte	Extarto Pirolenhoso	Retorno ao sistema para secagem e como fluido de processo	NA	NA	NA	ND	ND	
4	Condensados	Rima	Produtor	4.000	Forno tipo container (FCR)	60.000.000	50	27	sim	Condensação forçada	lavador de gases	Extrato pirolenhoso	Combustíveis, pasta, tinta, compósitos, agricultura (fertilizante, fungicida),	NA	NA	NA	2.400	1.000	tonelada
5	Condensados	Eucalyptus Prod. DPC	Produtor	400	Forno tipo container (DPC)	1.920.000	7	95	sim	Condensação forçada	Recuperador ciclônico + lavador de gases	Extrato Pirolenhoso Bruto	Venda para beneficiamento	NA	NA	NA	12	1,5	litro
6	Condensados	Biocarbo	Beneficiador	NA	NA	NA	NA	NA	sim	Decantação e destilação	Tanques e destiladores	Aromatizantes e fertilizantes	Ind. Alimentícia e agropecuária	NA	NA	NA	3	ND	
7	Condensados	Ondatec	Produtor	2.000	Esteira contínua com micro ondas (UPEC)	1.500.000	4	840	não	Condensação forçada	Recuperador ciclônico	Extrato pirolenhoso	Combustíveis	NA	NA	NA	2.327	309	tonelada
8	Gases	Santos e Dias	Produtor	1.000	Forno circular (5,5 m diâmetro)	714.000	22	NA	sim	Transporte e lançamento em altura	Canais de alvenraria e chaminés centrais	Fumaças	NA	NA	NA	NA	ND	ND	
9	Gases	APERAM	Produtor	ND	ND	ND	ND	ND	sim	Transporte e queima	Canais e fornalhas de alvenraria e chaminés centrais	Gás combusto e EP	NA	NA	NA	NA	ND	ND	
10	Gases	Carboval	Produtor	ND	ND	ND	ND	ND	não	Queima e recirculação	Gerador de gases quentes	GNC	Retorno ao sistema para secagem e	NA	NA	NA	ND	ND	
11	Gases	Carbonex	Produtor	850	Forno tipo container	58.000.000	ND	geração de energia	não	Queima e recirculação	Tubulações de transporte	Geração de energia	Concessionária de energia elétrica	NA	NA	NA	4	ND	MWhe
12	Gases	Rima	Produtor	item 4					sim	Queima e cogeração de energia elétrica	Tubulações e GGQ	15000 Nm³ gases	Concessionária de energia elétrica (projeto)	NA	NA	NA	5	ND	MWht
13	Gases	Faz. Guaxupé	Produtor	700	Forno retangular (10 metros)	3.000.000	23	NA	sim	Transporte e queima	Canais e fornalhas de alvenraria e chaminés	Gás combusto	NA	NA	NA	NA	ND	ND	
14	Gases	Eucalyptus Prod. DPC	Produtor	ver item 5					sim	Queima e recirculação	Gerador de gases quentes	GNC	Retorno ao sistema para secagem e	NA	NA	NA	ND	ND	
15	Gases	Ondatec	Produtor	ver item 7					não	Queima e cogeração de energia elétrica	Turbogeradores a gás	GNC	Concessionária de energia elétrica	NA	NA	NA	12.975	ND	Mwhe/mês
16	Moinha	Santos e Dias	Produtor	ver item 8					sim	Peneiramento usina	Peneirador	<6 mm usina	Cimenteiras	8	NA	NA	NA	120	t moinha
17	Moinha	AMBIO	Produtor	26.600	Fornos retangulares (FR 32 e RAC 700)	ND	ND	ND	sim	Peneiramento na planta	Peneirador	<9,52 mm na UPC	Cimenteiras	ND	5,5	NA	1.900	ND	t moinha
18	Moinha	APERAM	Produtor	ver item 1					sim	Peneiramento Usina	Peneirador	<17,1 mm usina	Cimenteiras	38	NA	88	1.946	160	t moinha
19	Moinha	Valourec	Produtor	ver item 2					sim	Peneiramento usina	Peneirador	< 10 mm usina	ICP e mercado	26,5	NA	ND	ND	ND	
20	Moinha	Carboval	Produtor	ver item 10					não	Peneriamento na usina	Peneirador	<10 mm usina	ICP e mercado	ND	NA	ND	ND	ND	
21	Moinha	Carbonex	Produtor	ver item 11					não	Peneiramento na planta	Peneirador	<6 mm planta	NA	ND	1,5	ND	ND	ND	
22	Moinha	Inear	Beneficiador	NA	NA	NA	NA	NA	sim	Classificação + Secagem	Penerias + Secador rotativo	de 8 a 25 mm (principal)	ND	ND	NA	ND	NA	500	t.moinha
23	Moinha	Tiago Claret-ME	Consultor	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Sinterização	Máquina de sínter	de 0,15 a 6,3mm	Alto forno	ND	NA	ND	NA	65	t. sinter
24	Moinha	Tiago Claret-ME	Consultor	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Pelotização	Máquina de pelotização	< 0,045 mm	Alto forno	ND	NA	2,2	NA	120	t.pelota
25	Moinha	Cimentos Nacional	Consumidor	NA	NA	NA	NA	NA	sim	Queima	Forno rotativo	< 9,52 mm	NA	ND	NA	6.000	NA	ND	t.moinha /mês
26	Moinha	MDL Ambiental	Fabricante	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Injeção e queima	Queimador	vários	Calcinações - caldeiras	ND	NA	NA	NA	ND	
27	Moinha	Biocarbono	Produtor	NA	NA	NA	NA	NA	sim	Peneriamento na usina	Peneirador	<6 mm usina	ICP e mercado	9	NA	ND	ND	ND	
28	Moinha	Rima	Produtor	ver item 4					sim	Peneiramento usina	Peneirador	Geração de energia	ND	ND	7	ND	280	ND	
29	Moinha	Faz. Guaxupé	Produtor	ver item 13					sim	Transporte e queima	Peneirador	<6 mm usina	ND	8	1	ND	7	ND	
30	Moinha	Eucalyptus Prod. DPC	Produtor	ver item 5					sim	Peneriamento	Peneirador cv doméstico	<32 mm	Venda mercado	ND	10	ND	40	70	t.moinha
31	Moinha	Minasligas	Produtor	NA	NA	NA	NA	NA	sim	Peneiramento usina	Peneirador	< 6 mm ou < 20 mm	Venda terceiros	12	NA	NA	3.000	150	t.moinha
32	Moinha	Sid. Barão de Mauá	Produtor	NA	NA	NA	NA	NA	sim	Peneriamento na usina	Peneirador	<5 mm usina	Venda terceiros	12	NA	ND	660	150	t.moinha
									32										

Legenda

NA Não se aplica ou não pretendia levantar a informação

ND Não disponível por não ser solicitada ou não informada durante as entrevistas ou posteriormente.

5. SUGESTÕES PARA AÇÕES JUNTO AO SETOR DE CARVÃO VEGETAL:

Este item sumariza os temas que foram abordados durante as visitas, pesquisados na literatura e avaliados de forma crítica pela consultoria, sob a ótica da sua experiência profissional e de contatos com outros profissionais do setor antes e após as visitas. Visa fornecer informações sobre os fatores potenciais e limitantes dos temas abordados. Com isso, pretende-se contribuir para a o entendimento das opções tecnológicas dos coprodutos na cadeia de produção do carvão vegetal e subsidiar tomadores de decisão nos diversos campos de atuação. Os temas foram organizados em tópicos, a saber: tema, coproduto, fatores potenciais, fatores limitantes e referências (o número entre parêntesis indica no número da visita / entrevista) ou a bibliografia consultada (autor, ano).

Tema: Interligação de fornos de alvenaria e lançamento dos gases em altura.

Coproduto: Gases

Fatores potenciais: 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.

Fatores limitantes: Custos de implantação, energia elétrica para instalar exaustores, influência na marcha dos fornos, riscos de queima e explosões, necessidade de projetos adequados.

Referências: (1) e (19).

Tema: Utilização do indicador RGO: Rendimento Gravimétrico Operacional.

Coproduto: Moinha

Fatores potenciais: 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.

Fatores limitantes: instalação de balanças nas unidades.

Referências: (2) e (Santos, 2016).

Tema: Beneficiamento do carvão nas plantas de produção.

Coproduto: Moinha

Fatores potenciais: Através do peneiramento com separação de atiços, e finos em diferentes classes, permite a organização dos estoques de moinha e reduz a contaminação, o que melhora a qualidade do produto final.

Fatores limitantes: Investimentos em equipamentos, custo operacional e energia elétrica. Necessário avaliar questões comerciais e de logística.

Referências: (2); (7);(8);(12);(13); (15); (19); (Barroso, 2007);(anexo 2); e tabela 11.

Tema: Recirculação de gases nos processos de carbonização.

Coproduto: Gases

Fatores potenciais: Redução das emissões através da queima parcial ou total e melhoria dos rendimentos de transformação, em diferentes tecnologias.

Fatores limitantes: Domínio de tecnologias, energia elétrica, investimentos.

Referências: (5); (6); (7); (18); (20); (tabela 8).

Tema: Estudo da utilização do extrato pirolenhoso bruto como combustível em queima direta.

Coproduto: Condensados

Fatores potenciais: Substituição direta sem necessidade de beneficiamento

Fatores limitantes: Estado da técnica em desenvolvimento.

Referências: (9).

Tema: Aglomeração de minérios

Coproduto: Moinha

Fatores potenciais: Substituição de combustíveis fósseis por biomassa renovável.

Fatores limitantes: Disseminação da prática em mais empresas.

Referências: (10); (12).

Tema: Potencial de cogeração de energia elétrica com gases de pirólise. Estudos apontam viabilidade técnica.

Coproduto: Gases.

Fatores potenciais: Redução de emissões e geração de energia elétrica nas unidades de produção e comercialização de excedentes.

Fatores limitantes: Estado da técnica em desenvolvimento.

Referências: (11); (20); (Moura, 2016); (Leme, 2016); (Carneiro, 2015); (anexo 8).

Tema: Utilização da moinha para injeção em queimadores de fumaças.

Coproduto: Moinha

Fatores potenciais: Redução do consumo de madeira e atiços para manutenção das condições de queima, com material de qualidade inferior (contaminantes).

Fatores limitantes: Investimento em equipamentos e energia elétrica.

Referências: (11).

Tema: Aumento do consumo de moinha nos altos fornos via taxa de injeção ou substituição de combustíveis fósseis.

Coproduto: Moinha.

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.

Referências: (6); (8); (12); (Assis, 2008); (Barroso, 2007); (tabela 11).

Tema: Desenvolvimento dos mercados para os produtos da rota líquida.

Coproduto: Condensados.

Fatores potenciais: Existência de tecnologias e mercados potenciais para desenvolvimento.

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.

Referências: (14); (16);(18);(21);(22);(23);(24);(26); (Campos, 2007); (anexo 4).

Tema: Estudos sobre mecanização da produção e geração de finos.

Coproduto: Moinha

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).

Referências: (1); (19).

Tema: Produção de carvão vegetal com queima dos gases.

Coproduto: Gases.

Fatores potenciais: Redução das emissões, adoção da queima das fumaças permitindo a evolução de outras tecnologias posteriores. Referencial nas relações de mercado.

Fatores limitantes: Consumo de biomassa

Referências: (17)

Tema: Projetos de pesquisa vinculados às Universidades ligadas ao setor.

Coproduto: Todos

Fatores potenciais: Diversas linhas e pesquisa e 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.

Referências: (20);(21);(22);(26).

Tema: Produção de extrato pirolenhoso em pequena escala

Coproduto: Condensados

Fatores potenciais: Alternativa para pequenos produtores com técnicas simplificadas.

Fatores limitantes: Qualidade dos produtos gerados e regularização do mercado.

Referências: (Campos, 2007) item 4.1.2.

Tema: Licenciamento ambiental para produção de carvão vegetal.

Coproduto: Gases.

Fatores potenciais: Ampliar a discussão no setor para estabelecer padrões de controle sobre as emissões.

Fatores limitantes: Falta de critérios específicos para os gases de pirólise.

Referências: item 4.2

Tema: Suprimento de energia elétrica para o setor de carvão vegetal

Coproduto: Todos.

Fatores potenciais: Modernização da produção de carvão vegetal e coprodutos.

Fatores limitantes: Distância e dispersão das áreas de produção em relação às linhas de distribuição de energia elétrica.

Referências: (1); (18); (19); (Leme, 2016); (Moura, 2015); Rodriguez, 2016; Anexo 2; Anexo 8.

Tema: Conhecimento sobre indicadores relativos à produção de carvão vegetal e coprodutos.

Coproduto: Todos

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.

Referências: item 4.4; (tabela 12); (Rodriguez, 2015).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma metodologia específica para coleta de dados e informações sobre a inserção dos coprodutos na cadeia de produção de carvão vegetal, contribuiu para a organização e execução do trabalho, dentro do tempo projetado para a realização do mesmo.

Procurou-se entender como os atuais processos produtivos (da geração e do consumo dos coprodutos) podem alavancar novos fatores para desenvolvimento.

A receptividade dos entrevistados foi positiva, do ponto de vista do entendimento da importância do trabalho para o setor, e dentro da inserção do mesmo no Projeto Siderurgia Sustentável.

Espera-se que o trabalho sirva de fio condutor para ampliação do diálogo sobre o tema "coprodutos", dentro dessa importante cadeia, que vise estabelecer ganhos significativos em produtividade e eficiência para o setor.

Os ganhos serão advindos das ações que os temas expostos aqui trataram de pontuar.

Belo Horizonte, 31 de maio de 2017.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, C.R, - Utilização de frações de alcatrão vegetal na síntese de resinas fenólicas para substituição parcial de fenol e formaldeído, 106. Tese de Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira - Programa de Pós-Graduação em Engenharia - Florestal Universidade Federal do Paraná, 2003.

Andrade, H.B, - Inovações Tecnológicas da Produção de Carvão Vegetal: Desafios e Perspectivas: IV Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte, novembro 2016.

Assis, Carlos Frederico Campos, Caracterização de carvão vegetal para a sua injeção em altos-fornos a carvão vegetal de pequeno porte. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da REDEMAT, como parte integrante dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais, fevereiro 2008.

Barroso, R.C. REDUÇÃO DO TEOR DE CINZAS DOS FINOS DE CARVÃO VEGETAL POR CONCENTRAÇÃO GRAVÍTICA A SECO. Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, Fevreiro, 2007.

Benites, V.M; Teixeira, W.G; Rezende, M.E; Pimenta, A.S. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 32, Goiânia. Rumo aos novos desafios: anais: SBCS, Núclio Regional Centro-Oeste, FertBio, 2016

Bioware, 2017 - https://www.bioware.com.br/pesquisa-e-inovacao-em-pirolise. Acesso em 10/03/2017.

Brand, M.A. Energia da Biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p;

Brito, J.O; Carneiro, A.C.O; Trugilho, P.F; Rodriguez, A.V - Produção de carvão vegetal no brasil e o atual estágio das tecnologias para aproveitamento dos gases do processo

– In: Seminário: Modernização da produção do carvão vegetal no Brasil- 20 de maio de 2014 - CGEE, Brasília/DF.

Buzin, J.W.k- Desenvolvimento de briquetes autorredutores a partir de carepas de processamento siderúrgico para utilização em forno elétrico a arco, 138p. Tese de Mestrado – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Campos, A.D, 2007 - "Técnicas Produção de Extrato produção para uso Agrícola". In: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/746002/tecnicas-para-producao-de-extrato-pirolenhoso-para-uso-agricola. Acesso em 28/12/2016.

Carbonex - Cogeração na Produção de Carvão Vegetal: III Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte, outubro 2014.

Carbonex - www.carbonex.fr/ . Acesso em 29/12/2016

Carneiro, A. C. O.; Donato, D. B.; Barcelos, D. C.; Valência, A.R., Silva, C.H.F., Cunha, W.L.P. Desempenho de um sistema industrial de Transporte de Gases da Carbonização para Cogeração de Energia Elétrica, Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica – ANEEL, VIII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (VIII CITENEL), Costa do Sauípe/BA, no período de 17 a 19 de agosto de 2015.

Carneiro, A.C.O; Castro, A.F.M; Castro, R.V.O, Quantificação e qualificação de resíduos da colheita florestal e da produção de carvão vegetal para geração de energia elétrica, relatório interno Projeto P&D Cemig – Aneel, GT 358, para ArcelorMittal Bioflorestas, não publicado, 2012.

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.

CGEE - Modernização da produção de carvão vegetal: Subsídios para revisão do Plano Siderurgia. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2015.

COPAM 2013 - http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=29875. Acesso em 12/03/2017.

Coque Informações Técnicas, 2015. Comissão de Assistência Técnica Petrobras. Escola de Ciências e Tecnologias de Abastecimento - Universidade Petrobrás - Recursos Humanos.

DPC, 2016 - https://youtu.be/2tCeW2cWhc8 - Acesso em 28/12/2016.

Fazenda Guaxupé: http://www.fazendaguaxupe.com.br. Acesso em 10/03/2017.

Filho, J.G.B – Sistemas Alternativos de Produção de Carvão Vegetal em Pequena e Média Escala: IV Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte, novembro 2016.

Guia Brasileiro de Biomassa: http://www.remade.com.br/revista-madeira, Revista da Madeira, nº 141, Acesso em 13/03/2016.

Juvillar, J. B. Tecnologias da transformação da madeira em carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Comp.). Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: CETEC, 1980. 158 p. (Série Publicações Técnicas, n. 1).

Leme, M. M. V. (2016), Estudo Técnico, Econômico e Ambiental da Utilização de Alternativas Tecnológicas para a Geração de Eletricidade na Cadeia Produtiva do Carvão Vegetal no Brasil, 230p. Tese de Doutorado (Doutorado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

Lucena, M.M – Efeito da introdução de resíduo de forno cerâmico em massa para cerâmica estrutural – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

Maringolo, V – Co-processamento no Brasil – Seminário sobre Co-processamento – Associação Brasileira de Cimento Portland, 2004

Martins, M.A - Estado da arte da queima dos gases da carbonização no Brasil: Situação atual e perspectivas: IV Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte, novembro 2016.

MDL Ambiental, www.mdlambiental.com.br – Acesso em 13/03/2017

Mercado Livre, in http://lista.mercadolivre.com.br/carv%C3%A3o-ecol%C3%B3gico,-briquete-de-carv%C3%A3o acesso em 10/03/2017.

MF Rural, in http://www.mfrural.com.br/detalhe/moinha-de-carvao-vegetal-222101.aspx,: Acesso em 08/03/2017

Miranda, N.O; Pimenta, A.S; Silva, G.G.C; Oliveira, E.M.M; Carvalho, M.A.B .Carvão vegetal como condicionador de solo na sucessão arroz e feijão-caupi adubados com nitrogênio. In: Rev. Caatinga, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 313 – 323, abr. – jun., 2017.

Moura, Daniel Carvalho de - Competitividade da utilização da lenha e do carvão vegetal na geração de energia e na produção de ferro gusa, Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração – Estratégia Competitiva da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Administração.2015. 96 f.

NEST (Núcleo de Excelência em Sistemas Térmicos, da Universidade Federal de Itajubá), 2016 - Energy Recovery from Charcoal Production in Brazil:case study", ENCIT 2016 (16th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering).

ONDATEC; http://www.ondatec.com/ Acesso em 13/03/2016.

Paul Wurth, 2017, Disponível em: http://www.paulwurth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Aglomera%C3%A7%C3%A3o/Pelotiza%C3%A7%C3%A3o, acesso em 08/03/2017

Paula, L.G.; Silva, R. J; Bernardo, A.C.S - Análise termo econômica do processo de produção de cimento portland utilizando uma mistura de combustíveis e o co processamento de pneus usados - In: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA

MECÂNICA *VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING* 18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil

Pimenta, A.S – 2016 - Pirolenhoso para fins agrícolas e outros usos, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, não publicado.

Puro Fogo DPC: http://purofogo.com.br/conheca-o-carvao

Raad, T - Fortalecimento da competitividade do gusa por florestas plantadas. In: Seminário CGEE & DECOI da SDP/MDIC - Brasília, 20.05.2014.

Rezende, M.E.A - Comparações das tecnologias de carbonização e recuperação de coprodutos. In: Seminário CGEE & DECOI da SDP/MDIC - Brasília, 20.05.2014.

Rezende, M.E.A - Diagnóstico das eficiências das tecnologias de carbonização, e sugestões. In: Seminário CGEE & DECOI da SDP/MDIC - Brasília, 20.05.2014.

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.

Rodriguez, A.V - Estudo dos Indicadores Operacionais nas áreas de silvicultura, colheita e produção de carvão vegetal em Minas Gerais, Biomtec, Belo Horizonte MG, 2015, não publicado.

Rodriguez, A.V - Integração da produção de carvão vegetal, a partir da utilização do potencial energético dos gases de pirólise – In: I Encontro Brasileiro da Energia da Madeira – Curitiba, março 2016.

Santi, M.M.A; Filho, A.O.S - Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na Região do Calcário ao Norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações in: II Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade – ANPPAS - Campinas, 26 a 29 de maio de 2004.

Santos, V.B - Melhoria Rendimento Gravimétrico Operacional: Causas e Consequências – Experiências G6. IV Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte, novembro 2016.

Souza, B.D - Estudo do uso de carvão vegetal de resíduos de biomassa no sistema de aquecimento dos fornos de produção do clínquer de cimento portland.- Departamento de Engenharia dos Materiais – PUC-Rio, 2011.

Tiilikkala, Kari; Fagernäs, Leena; Tiilikkala, Jasse - History and Use of Wood Pyrolysis Liquids as Biocide and Plant Protection Product. In:https://issuu.com/magdymohamed/docs/history_and_use_of_wood_pyrolysis_l_f9f477f4e76110.

Viana, E; Rezende, M.E.A; Pinheiro, P.C; Sampaio, R.S.A, Produção de Carvão Vegetal: teoria e prática. Belo Horizonte: [s.s], 2006. 103 p

Vilela, A. - Processo Integrado de Produção de Carvão e Alcatrão Vegetal: IV Fórum Nacional sobre Carvão Vegetal, Belo Horizonte, novembro 2016.

ANEXOS

ANEXO 1 – Apresentação Nivelamento Visitas

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

Projeto BRA/14/31 – Produção de Carvão Vegetal de Biomassa Renovável para a Indústria Siderúrgica no Brasil – Siderurgia Sustentável

Atividades de campo da consultoria

Augusto Valencia Rodriguez

Objetivos:

- Mapeamento, mensuração e avaliação para aproveitamento dos coprodutos oriundos dos processos de produção de carvão vegetal:
  - Visa definir o estado da arte e pontos para fortalecimento da cadeia (qualidade / custos)
  - Opiniões de especialistas do setor
  - Indicadores de desempenho e oportunidades

Objetivos:

- Expansão das opções tecnológicas:
  - Como usuários e fabricantes de equipamentos podem contribuir para potencializar o uso dos coprodutos?
  - Quais os resultados esperados?

Objetivos:

- Identificar *lay out* e localização otimizado para produção em diferentes escalas:
  - Definir harmonicamente, opções de cadeias de produção (carvão + coprodutos) que apresentem melhores resultados (econômicos, ambientais, sociais) para pequenos, médios e grandes produtores, com base nos levantamentos e opiniões do setor

Cadeia de suprimento do carvão vegetal

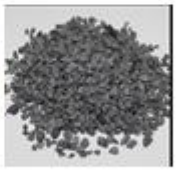
Florestas manejadas de *Eucalyptus*

Produção de carvão vegetal

Abastecimento Siderúrgicas

COPRODUTOS

APLICAÇÕES



Alternativas dentro da cadeia de produção do carvão vegetal

Co geração de energia elétrica

Alternativas dentro da cadeia de produção do carvão vegetal

Secagem de madeira

Integração

Agenda de visitas e contatos:

- Produtores de carvão vegetal e coprodutos
- Processadores de coprodutos
- Fabricantes de equipamentos
- Consumidores de coprodutos
- Novas tecnologias de produção de carvão
- Órgão públicos e entidades

Levantamentos de campo:

- Levantar informações sobre outros usos do carvão vegetal e seus coprodutos relacionados à produção metalúrgica em geral (Rota 4)
- Definir em consenso com opiniões do setor, os níveis de produção adequados para a construção dos arranjos industriais nas diversas escalas

Levantamentos de campo:

- Definir e efetuar visitas a plantas de produção de carvão vegetal representativas em diferentes escalas
- Levantamento sobre usos do carvão vegetal e coprodutos (metalurgia e outros)

Considerações:

- Todas as informações serão tratadas no mais amplo sigilo e as fontes permanecerão anônimas
- Agradecemos antecipadamente a colaboração para a realização deste trabalho

Belo Horizonte, nov / dez de 2016

ANEXO 2 – Beneficiamento de finos para ICP

ASPECTOS LOGÍSTICOS DO BENEFICIAMENTO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL PARA INJEÇÃO DE CARVÃO PULVERIZADO EM ALTOS FORNOS [1]

Augusto Valencia Rodriguez [2]

[1] 66º Congresso Anual ABM –Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais

[2] Engenheiro Agrícola, Gerente de Logística da **ArcelorMittal BioEnergia**, Belo Horizonte, MG.Av. Carandaí, 1.115/10º andar – Funcionários – Belo Horizonte – MG, CEP. 30.130-915. augusto.rodriguez@arcelormittal.com.br, (31) 32191538.

RESUMO

A partir do peneiramento do carvão vegetal nas unidades produtoras da ArcelorMittal BioEnergia, fornecedora das usinas da ArcelorMittal Brasil e ArcelorMittal Inox Brasil, abriu-se um leque de oportunidades de melhorias, estabelecendo um novo marco nos processos de produção e abastecimento desse importante biorredutor, através de seu beneficiamento. O trabalho aborda o fluxo dos finos e do carvão vegetal para a ICP (Injeção de Carvão Pulverizado), sob a ótica da integração dos processos desta cadeia de suprimento, desde o usuário final (produtor de gusa), até os fornecedores originais (produtores de carvão), que tratados separadamente, agregaram importante valor para o cliente. Analisa os sistemas, atual e com o beneficiamento, através do peneiramento na origem, os fatores que interagem entre a produção e o consumo, avaliando também a sensibilidade entre os níveis de geração, preços e taxas de injeção, apresentando em um estudo de caso, os ganhos obtidos com a adoção do novo processo. Por fim, apresenta vantagens adicionais dos pontos vista da qualidade, segurança, meio ambiente, transporte e gestão dos estoques, bem como, da redução da variabilidade dos produtos, abrindo novas perspectivas para a blendagem na origem e melhor condição de operação dos altos fornos.

Palavras-chave: Injeção de Carvão Pulverizado; finos de carvão; taxas e injeção; beneficiamento.

Logistical Aspects of the charcoal fines beneficiation for Pulverized Charcoal Injection in Blast Furnaces

Abstract

As a result of charcoal screening at the ArcelorMittal BioEnergia production units, which is a supplier of ArcelorMittal Brasil and ArcelorMittal Stainless Brasil plants, a range of improvement opportunities have opened, establishing a new benchmark in the production and supply processes of this important bio-reducer, through its beneficiation. The project addresses the flow of fines and charcoal for PCI (Pulverized Charcoal Injection) from the viewpoint of integration of the processes in this supply chain, from the final user (pig iron producer) to the original suppliers (charcoal

producers), who, when dealt with separately, add important value for the client. Analysis of both current systems and those with beneficiation - by means of screening at the source, and the factors that interact with production and consumption and an assessment of the sensibility between the charcoal fines mix, prices and injection rates, result in a case study that presents the gains obtained with the adoption of the new process. Finally, additional advantages associated with quality, safety, environment, transport, stock management and reduction of product variation are presented, opening new perspectives for blending at the source and better operating conditions of the blast furnaces.

Key words: Pulverized Charcoal Injection; charcoal fines; injection rates; beneficiation; screening.

1 INTRODUÇÃO

A injeção de finos de carvão vegetal, pelas ventaneiras dos altos fornos, trouxe inúmeras vantagens a toda cadeia de suprimento deste redutor. Sob a ótica da logística moderna, definida pelo CML – Council of Logisitcs Management, e citada por Wanke (2003), como sendo “o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e eficaz de matérias primas, estoques de produtos semi-acabados e acabados, bem como, de fluxos e informações a eles relativos, desde a origem até o consumo, com o propósito de atender aos requisitos dos clientes”, os conceitos da produção e escoamento do carvão vegetal como um único produto foram ampliados, ganhando novo tratamento no SCM ou Supply Chain Management, definido pelo International Center of Competitive Excellence,em 1994, também citado por Wanke (2003), como sendo “a integração dos processos do negócio desde o usuário final até os fornecedores originais que proporcionam os produtos, serviços e informações, a fim de agregar valor para o cliente”, onde a integração é a parte mais importante na nova forma de suprimento às usinas.

Este trabalho (reflexão) destina-se às empresas produtoras de carvão vegetal e usinas siderúrgicas, que estejam integradas de forma colaborativa, ou seja, que tenham sinergias no planejamento da produção, na gestão de estoques e no abastecimento, como forma de obter ganhos nas diversas etapas do processo. Ganhos qualitativos e quantitativos.

É um projeto que busca inovar do ponto de vista da manufatura tradicional e das relações entre cliente-fornecedor e com o mercado externo.

Permite a flexibilização da produção, estocagem e consumo, abrindo alternativas para outros campos de aplicação dentro do setor.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo baseou-se em diversas análises, quais sejam as de cenários de consumo, dos fatores de interação entre geração e consumo, de um extenso histórico da relação cliente/fornecedor e sobre as oportunidades de alterar o processo de forma a atender atuais e novos clientes.

Contou também com uma abordagem para dimensionamento do equipamento principal (peneirador), de forma a garantir níveis de produtividade e qualidade, quer do carvão peneirado, quer dos finos produzidos e beneficiados.

Foram abordados também, questões de interesse que surgiram ao longo do processo de análise, o que norteou as estratégias logísticas e comerciais sobre o tema.

No início dos estudos (outubro/2008), foi fundamental a abordagem mercadológica sobre o tema, haja vista, o auge de preços que o mercado praticava, com o incremento da oferta de moinha processada, através de beneficiadoras que se estabeleceram no eixo Divinópolis - Sete Lagoas. Pode-se dizer que a moinha se estabeleceu como um produto relevante.

Estudos de sensibilidade também foram elaborados. A viabilidade da adoção do beneficiamento (peneiramento), em nível de Unidade de Produção, pode ser considerada observando diferentes fatores de custo (inerentes a cada empresa e mercado), da geração de finos (qualidade do carvão vegetal e manuseio no fluxo de abastecimento e armazenagem) e do nível de aproveitamento que a ICP será capaz de absorver. A composição desses fatores leva a distintos cenários de análise.

Por fim, apresentam-se dados reais de geração, consumo e resultados econômicos, que dão o embasamento necessário parta a tomada de decisão. O trabalho encerra-se apontando vantagens adicionais e potenciais a serem explorados de forma ampla ou específica a cada modelo operacional.

3 RESULTADOS

3.1 CENÁRIOS DE CONSUMO

Os cenários de consumo podem ser divididos em TRADICIONAL no qual as empresas florestais fornecem o carvão vegetal bruto, que é peneirado na usina, aproveitando ao máximo a moinha para ICP (Injeção de Carvão Pulverizado), vendendo os excedentes. Como resultado, para as empresas produtoras de carvão o preço não varia, com a variação do % finos, enquanto que, para as usinas o gasto total depende da taxa de ICP e os excedentes vendidos bonificam parcialmente o custo do gusa.

Com a adoção do beneficiamento ou peneiramento o produto peneirado durante a carga e expedição do carvão, elimina contaminantes (tiços e 0-2 mm), podendo promover a secagem e/ou moagem, sendo ainda enviado em separado às usinas, o

carvão peneirado (de acordo com a bitola desejada) e a moinha limpa, na quantidade exata de acordo com a taxa de ICP.

3.2 FATORES DE INTERAÇÃO

Os diversos fatores devem ser considerados para a análise de toda a cadeia, como forma de agregar informação e auxiliar na correta avaliação do suprimento. Ocorrem nas pontas de produção e consumo. Dentre eles, destaca-se:

Nas usinas:

Bitola da peneira de corte para enfornamento (de 6 a 19 mm)

Variação da bitola ao longo do ano

Localização dos estoques (silos)

Característica do circuito de carvão

Sistemas de blendagem

Capacidade de moagem

Taxas de injeção (kg de moinha / tonelada de gusa)

Nas Unidades de Produção de Energia:

Qualidade da matéria prima (madeira)

- Friabilidade
- Densidade

Nível de mecanização das atividades

Qualidade do produto final (% finos, na bitola de referência, contaminantes)

Política de estoques

Unidade de medida

3.3 DIMENSIONAMENTO DO EQUIPAMENTO

Para dimensionar o equipamento partiu-se da análise de um conjunto de fatores operacionais, que propiciassem uma solução técnica abrangente e economicamente viável, haja vista, o baixo valor agregado do produto final (moinha). Foram avaliados os seguintes fatores:

- ✓ Produtividade acima de 40 t/hora;

- ✓ Peneiras metálicas auto - limpantes, para separar os produtos nas classes granulométricas desejadas (> 9,52 mm; 2 a 9,52 mm e 0 a 2 mm);

- ✓ Qualidade satisfatória dos produtos peneirados;
- ✓ Regulagem da vazão do peneiramento;
- ✓ Painel elétrico automatizado e fácil de operar;
- ✓ Operação segura;
- ✓ Baixo consumo de energia elétrica (25 kwa);
- ✓ Permite operar em *lay out's* diferentes (posicionamento do carvão);
- ✓ Movimentação da carreta com o trator agrícola ou Pá Carregadeira;

A figura1 apresenta um desenho do equipamento e suas funcionalidades.

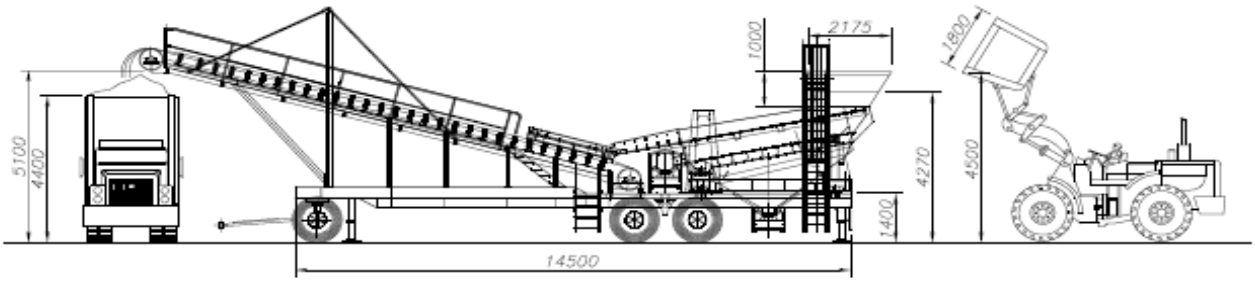


Figura 1: Conjunto para peneiramento de carvão vegetal nas unidades de produção

Como indicadores básicos de produção, temos:

- # Tempo médio de carga: **50 min/carreta de 100 m³**
- # Quantidade máxima de biorredutor por batelada: **840 kg (~ 3,5 m³c)**
- # Percentual médio de geração de biorredutor acima de 9,5mm: **87%**
- # Percentual médio de geração de biorredutor entre 9,5 e 2 mm; **10%**
- # Percentual médio de geração de biorredutor entre 2 e 0 mm; **3%**
- # Biorredutor no cliente: **Média: 7,5%; DP: 3,52%; CV: 46,99%**
- # Retirada de tiços facilitada => Melhor visualização + *shunt*;

As fotos 1, 2 E 3, mostram algumas etapas dom processo

Foto1: vista geral do equipamento

Foto 2: operação de peneiramento e carga simultânea

Foto 3: correia transportadora com o “over size” de 9,52 mm

3.4 QUESTÕES DE INTERESSE

Durante as prospecções para levantamento das premissas do projeto e mesmo após a sua concepção original, muitas vezes foram levantadas algumas questões que ampliaram o debate e, cada vez mais, ajudaram a consolidar a idéia inicial e seus conceitos. Reproduzidas aqui, na forma de perguntas e respostas, pode auxiliar na tomada de cada caso específico.

Se já existe peneiramento na usina, para que peneirar na Unidade de Produção de Energia?

- Mesmo que o consumo seja integral (Injeção de Carvão Pulverizado = 100% geração total), podem existir variações no consumo de carvão vegetal e de moinha, que não fechem o balanço, gerando excedentes que não precisam ir para a usina.

- Existem outras vantagens qualitativas que devem ser analisadas.

Deve-se peneirar tudo na Unidade de Produção de Energia ou só o excedente que não será consumido na Injeção de Carvão Pulverizado?

- Isto dependerá da análise logística global, isto é, das características dos locais de produção, da modalidade de contratação de fretes, da capacidade de estocagem das usinas, da geração após o peneiramento e carga do AF, inclusive, da necessidade de repeneiramento na usina

É vantajoso para a usina pagar um sobre preço pelo serviço?

- Sim. Pois os produtos já saem classificados das Unidades de Produção de Energia, com valores diferenciados, beneficiando a usina que tem excedente e não necessita vender a moinha por até 25% do valor do carvão bruto, além do manuseio interno, tanto durante as estocagens, desestocagens, peneriamento e carga para venda.

O circuito de carvão vegetal atual trabalha com o carvão bruto. Como fazer para segregar?

- Pode-se manter o atual fluxo, estocando a moinha recebida em locais diferenciados ou mantendo-se os estoques nos veículos ou "containers", dosando a medida do consumo da ICP

3.5 MERCADO

À época do início dos estudos (outubro de 2008), foram feitas algumas prospecções no mercado de moinha de carvão vegetal, principalmente, no eixo Divinópolis – Sete Lagoas, onde se constatou uma oferta total de moinha bruta de aproximadamente 50 mil toneladas mensais, das quais, cerca de 20 mil eram beneficiadas (classificadas e secas) e revendidas ao setor de gusa para injeção. Os preços variavam em função da qualidade, chegando a atingir cerca de 70 a 75% do valor para o carvão vegetal, inimaginável em outras épocas. A moinha enquanto um resíduo não aproveitado por aquelas siderúrgicas que não possuíam a ICP apresenta-se como um complemento de interesse para as unidades próximas ao eixo guseiro de Minas Gerais e que venham a adotar o beneficiamento.

À época do estudo também, observa-se que os excedentes de moinha não injetados na Usina de Juiz de Fora, começavam a ser enviados à Usina de João Monlevade, como complemento à ICP de carvão mineral, que experimentava uma substancial elevação de preços. O "mix" foi prontamente aprovado e a moinha de carvão vegetal passou integrar a matriz do alto forno A. Uma vantagem logística imediata surgiu, pois, com uma unidade de produção da ArcelorMittal BioEnergia, próxima a Usina de Monlevade, seria muito interessante separá-la diretamente para esta usina, sem que a mesma fosse junto ao carvão para a Usina de Juiz de Fora. A redução do frete (cerca de 340 km) apresentava-se como um ganho real e imediato ao fluxo original.

Também foi a avaliada a experiência da V&M do Brasil, em sua unidade de peneiramento de carvão, localizada em Paraopeba – MG, onde existe um depósito consolidador das cargas de carvão movimentadas pela empresa, com destino à sua Usina de Barreiro, em que o processo de separação atendia satisfatoriamente todas as etapas da cadeia da empresa, expresso nos depoimentos colhidos na unidade e usina.

3.6 SENSIBILIDADE

A viabilidade da adoção do beneficiamento (peneiramento), em nível de Unidade de Produção, pode ser considerada observando diferentes fatores de custo (inerentes a cada empresa e mercado), da geração de finos (qualidade do CV e manuseio no fluxo de abastecimento e armazenagem) e do nível de aproveitamento que a ICP será capaz de absorver.

A composição desses fatores leva a distintos cenários de análise. São eles:

- Preços de carvão vegetal: R$ 300 a R$ 600/tonelada (F.O. B)
- Preço da moinha, função do preço do CV: 25 a 55%
- Taxa de geração de finos (9,52 mm): 20 a 40% (total na usina)
- Variável resposta: taxa de injeção sobre a geração total (TA), mínima para fechar o balanço na usina, isto é, onde não seria necessário peneirar na origem (apenas quantitativa)

Com isso pode-se determinar um percentual entre a taxa de injeção sobre a geração total de finos, que aponte o equilíbrio entre os preços praticados (carvão e finos), ajustando os valores e remunerando a operação de peneiramento.

A tabela 2 apresenta os resultados dessas simulações, apontando os percentuais mínimos para se adotar ou não a separação.

CENÁRIOS DE RESULTADOS DE GANHOS COM PENEIRAMENTO NAS UPE's

Para um nível de produção de 10.000 t/mês e distância de transporte de 350 km para ambos os produtos.

TAXA DE ICP SOBRE GERAÇÃO PARA EQUILÍBRIO DOS GASTOS DAS USINAS E FATURAMENTO UPE (valores mínimos para não peneirar

	PREÇO DA MOINHA (% PREÇO CV)		75 - 25 - 150			120 - 40 - 240			165 - 55 - 330		
	GERAÇÃO DE MOINHA (%)		20	30	40	20	30	40	20	30	40
PREÇO DO CV (R$/t - fob)	300		72	81	86	77	85	89	81	87	90
	450		77	85	89	82	88	91	85	90	93
	600		81	87	90	85	90	93	88	92	94

Tabela 2: simulação de cenários para os parâmetros de consumo e preços

Com isso, observa-se uma diferença entre 72 e 94 % a relação entre o consumo na ICP e a geração total, o que pode ser bastante significativo, como apontado na tabela 3, em relação percentual da variação do índice de substituição.

CENÁRIOS DE RESULTADOS DE GANHOS COM PENEIRAMENTO NAS UPE's												
Para um nível de produção de 10.000 t/mês e distância de transporte de 350 km para ambos os produtos.												
TAXA DE ICP SOBRE GERAÇÃO PARA EQUILÍBRIO DOS GASTOS DAS USINAS E FATURAMENTO UPE (valores mínimos para não peneirar												
BASE 100												
	PREÇO DA MOINHA (% PREÇO CV)		**105 - 30 - 165**			**140 - 40 - 220**			**175 - 50 - 275**		
	GERAÇÃO DE MOINHA (%)		**25**	**30**	**35**	**25**	**30**	**35**	**25**	**30**	**35**
PREÇO DO CV (R$/t - fob)	**300**		**0**	**13**	**19**	**7**	**18**	**24**	**13**	**21**	**25**
	450		**7**	**18**	**24**	**14**	**22**	**26**	**18**	**25**	**29**
	600		**13**	**21**	**25**	**18**	**25**	**29**	**22**	**28**	**31**

Tabela 3: variação percentual entre os índices simulados

3.7 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso mostra a situação muito próxima do real, com resultados expressivos, em relação à situação apresentada. Vê-se:

- Produção de carvão vegetal bruto: 10.000 t/mês ~ 16.000 t. gusa
- Geração total de finos: 30 % (peneira de corte: 9,52 mm)
- Preço do carvão vegetal (F.O. B): R$ 450,00 / t
- Preço da moinha: R$ 120,00 / t (27% CV)
- Taxa de injeção: 100 kg moinha / t. gusa
- Taxa de Aproveitamento: 53%
- Diferença para equilíbrio: 60% ou 160 kg/tg
- Ganho da usina: R$ 15,80 / t.gusa

As condições de mercado para o carvão vegetal são sabidamente, bastante mutáveis e sensíveis dentro da cadeia de ferro gusa. Uma ferramenta de análise como esta, poderá auxiliara a conter algumas flutuações indesejáveis. Vale lembrar que já existe um sólido mercado de moinha, que pode influenciar na composição das transações, estoques e resultado final em cada situação.

3.8 VANTAGENS ADICIONAIS

Como vantagens adicionais pode-se citar a melhoria da qualidade dos produtos, quer do carvão peneirado, quanto da própria moinha (isenta da fração de 0 a 2 mm, que contém a maior parte das cinzas), o transporte diferenciado de produtos em veículos diferenciados, dando mais agilidade ao processo de escoamento, carga e descarga, maior organização da estocagem, pela separação dos mesmos, redução dos riscos de incêndio, sabidamente influenciado pelo teor de finos contido no carvão, redução no nível de poeira nas usinas, maior produtividade da descarga, pois o carvão peneirado escoa com mais facilidade, melhor estruturação na composição de custos, pois trata os produtos como classes diferentes e, finalmente, facilita as ações de blendagem, que veremos adiante.

Como vantagens adicionais, pode-se focar especificamente a questão da segurança, que para o grupo ArcelorMittal é uma prioridade. Senão, vejamos:

- Menor tráfego nas usinas por não receber e expedir excedentes de moinha
- Melhor escoamento do produto durante o basculamento, evitando a necessidade de forçar manualmente a sua descida
- Elimina as sobras de carvão no fundo das gaiolas, evitando sua remoção manual
- Menor nível de poeiras nos ambientes de fluxo de carvão, melhorando as condições de trabalho
- Catação de tiços no posto de carga (melhor visualização), evitando o trânsito de pessoal durante as operações de carga (tradicional)

Com relação à blendagem, que se resume a uma prática de enfornar diferentes tipos de carvão vegetal, para tirar o máximo de proveito da carga, a prática do peneiramento na unidade de produção também contribui, nos seguintes aspectos.

- Mix de carvões de diferentes origens e qualidade, isentos da fração fina e contaminantes, propicia uma melhor composição da carga para o alto forno;

- Carvão bruto: tiços, moinha, cinzas, curva granulométrica, TM, CF, densidade, umidade, tem muitas variáveis para serem “administradas”

- Com isso o beneficiamento proporciona uma redução nos parâmetros, facilitando o “endereçamento” do produto, ou seja, os alto - fornistas se preocuparão com menos varáveis;
- Redução da variabilidade do produto separado, proporcionando produtos mais estáveis;

4 DISCUSSÃO

Observa-se que o ponto central é o balanço entre a geração e o consumo de moinha no processo de produção do gusa para a qual, as sobras de excedentes, de um produto com menor preço no mercado e todas as possíveis oscilações que este composto representa, serão objeto de análise para a adoção do peneiramento (e posterior beneficiamento) em nível de unidade de produção, em cada caso.

A modernização das plantas de produção de carvão (concentração, disponibilidade de equipamentos, energia elétrica, entre outros), facilita a introdução desse tipo de equipamento (peneirador), proporcionando as melhorias em diversas etapas, como mencionado.

Como demonstrado no estudo, através de uma análise abrangente, que focou desde o mercado maduro e estabelecido de moinha bruta, que deu origem às beneficiadoras estabelecidas, até a demonstração do balanço total entre a demanda e oferta, passando por alterações significativas nos sistema de produção, processamento, transporte, estocagem e aos aspectos de segurança, a adoção da prática contribui para uma nova maneira de tratar o carvão vegetal como um produto que pode ser mais bem customizado.

5 CONCLUSÃO

O peneiramento do carvão vegetal, em nível de unidade de produção de carvão, objetivando a estocagem, transporte e utilização da moinha para a injeção de carvão pulverizado em altos fornos de redução, mostrou-se técnica e economicamente viável, sendo a solução logística desenvolvida, a mais adequada para o sistema ArcelorMittal BioEnergia e ArcelorMittal Brasil, Usinas de Juiz de Fora e João Monlevade.

Agradecimentos

Agradeço a toda a equipe da ArcelorMittal BioEnergia, da Região do Rio Doce, e demais pessoas envolvidas direta ou indiretamente na execução do protótipo, os quais, com dedicação e afinco, proporcionaram a consolidação de uma idéia originalmente simples e de impacto significativo na cadeia de produção e atendimento aos clientes finais.

REFERÊNCIAS

WANKE, P. *Organização do fluxo de produtos como base da estratégia logística de produtos acabados:* uma síntese dos enfoques estático e dinâmico. Nov. 2003. Tese de (Doutorado) – Coppe/UFRJ, Rio de Janeiro. In Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos, São Paulo, Atlas, 2003, cap 1, p. 27-28.

ANEXO 3 – Sinterização e Pelotização

Aglomeração de Minério de Ferro - 2016

Sinterização e Pelotização Resumo

- Fluxo de produção do aço

- Aglomeração de minério de ferro

Sinterização

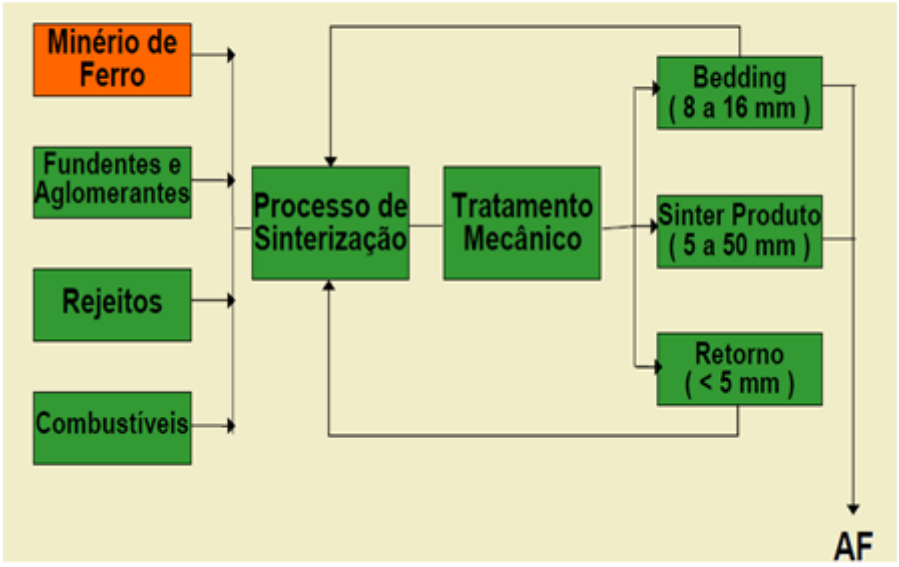
As vantagens da sinterização são:

– Aproveitamento de minérios friáveis ou finos
– Aproveitamento de minérios de baixo teor de Fe – viabilidade econômica
– Capacidade de se reciclar rejeitos do próprio processo
– Maior controle da carga do Alto Forno
– Obtenção de uma basicidade adequada da escória
– Minimização dos teores de substâncias indesejáveis ex. diminuição do teor de P, etc.

3

- Aglomeração de minério de ferro

Fluxo de Insumos da Sinterização



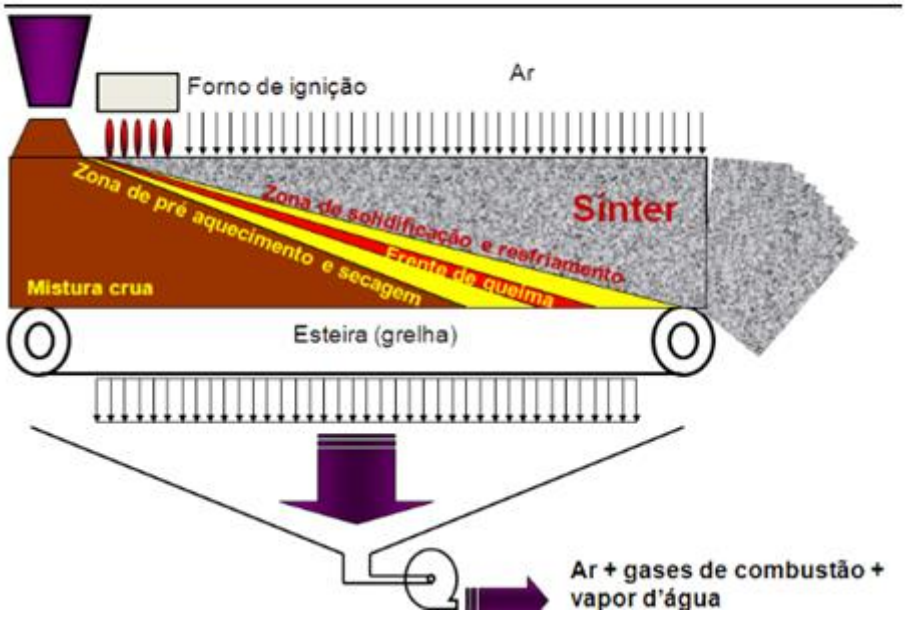
- Aglomeração de minério de ferro

Composição da Carga de Sinterização

- Minério de Ferro – portador de Fe
  Maior componente (base)
  Adição – corretivo químico e/ou granulométrico ou redução de custo
- Adições
  Portadores de Fe/C: carrepa de laminação, pó coletor de alto-forno, lixo industrial, minério de Mn.
- Sinter retorno do alto-forno
- Fundentes: calcário (calcítico, dolomítico), serpentinito, dunito
- Aglomerantes: cal virgem
- Combustível: sólido (coque metalúrgico- moinha), antracito, coque de petroleo, Carvão vegetal.
  Gasoso/líquido(gás de coqueria, Alto-forno, gás natural, GLP, óleo combustível)

- Aglomeração de minério de ferro

Perfil da Máquina de Sinter



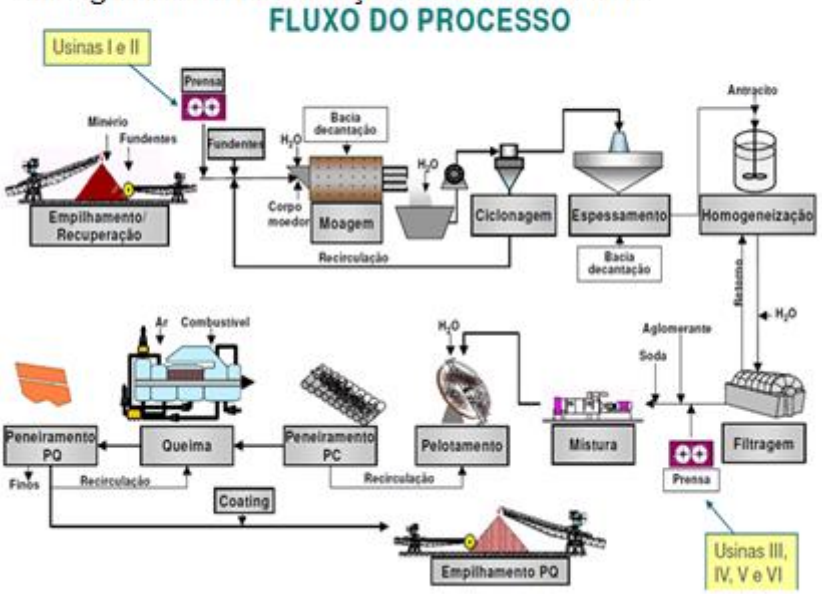
- Aglomeração de minério de ferro

Pelotização de minério de ferro

Os finos de minério de ferro são aglomerados em pelotas e, em seguida, endurecidos usando uma fornalha para criar pelotas de minério de ferro. Estas são alimentadas tipicamente para um alto-forno ou planta de redução de ferro como parte do processo de produção do aço.

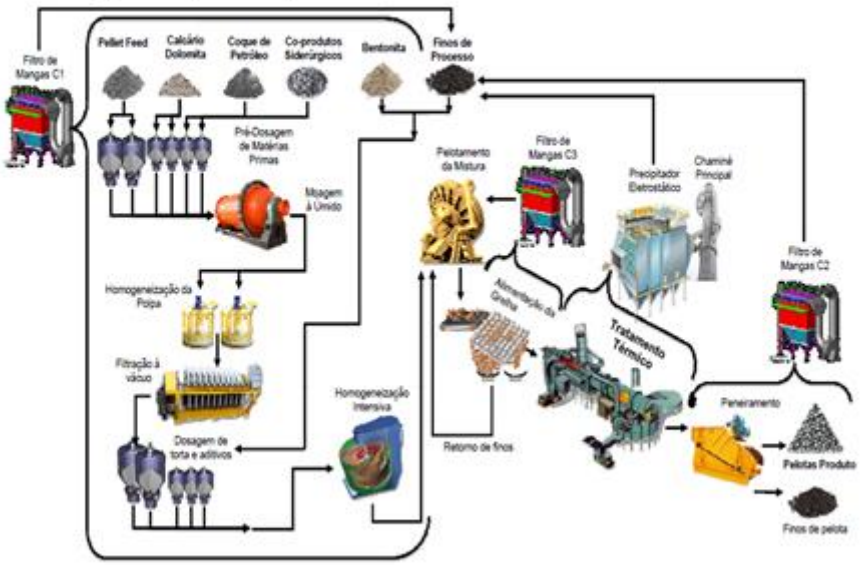
- Aglomeração de minério de ferro

Fluxograma de Pelotização Usinas da VALE



- Aglomeração de minério de ferro

Fluxograma pelotização VSB



- Aglomeração de minério de ferro

Processo de Aglomeração – Pelotização

Etapas da Pelotização:

Preparação das matérias Primas → Formação das pelotas cruas → Processamento Térmico das pelotas cruas

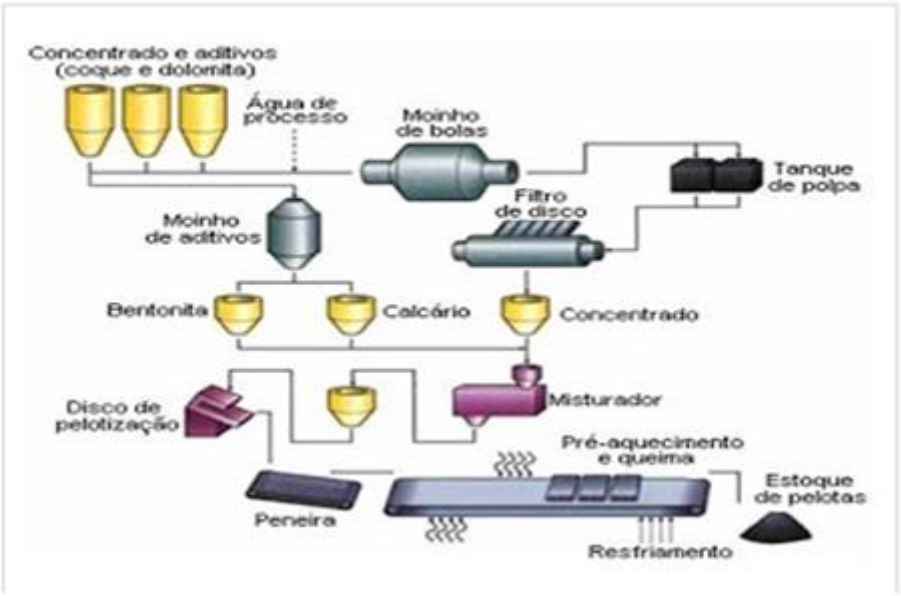
Pelotamento, classificação

Secagem, pré-queima, queima, pos –queima e resfriamento

•Empilhamento, recuperação e homogeneização Moagem e Classificação,Espessamento, Homogeneização,Filtragem, Adições (fundentes, aglomerantes e combustíveis sólidos), Misturamento

- Aglomeração de minério de ferro

Fluxograma simplificado insumos



ANEXO 4 - Carboquímica Vegetal

A EMPRESA

ibiré
negócios sustentáveis

SUSTENTABILIDADE
GOVERNANÇA
INOVAÇÃO

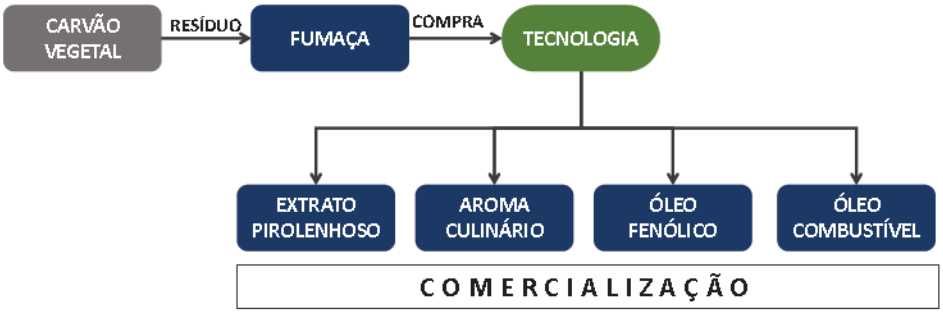
TECNOLOGIA DESRUPTIVA
ALTA RENTABILIDADE

A EQUIPE

Nome	Função	Resumo das qualificações
Alexandre Pimenta	Gerente de Desenvolvimento	Professor e pesquisador do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); Pós-doutorado pelo Centro de Investigación y Desarollo do Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CID/CSIC) em Barcelona, Espanha.
Guilherme Duarte	Gerente Administrativo	Graduado em Engenharia Física na Universidade Federal de São Carlos e pós graduado em Gestão, Inovação e Empreendedorismo. Foi gerente de inovação comercial no Grupo Boticário e coordenador de planejamento comercial e vendas na Natura Cosméticos.
Rafael Morales	Gerente Comercial	Doutorando em Ciências Sociais pela PUC-SP, diretor e desenvolvedor de um B.I (Business Intelligence) focado em sustentabilidade, que realiza a gestão integrada das empresas por meio de indicadores, atua também como especialista em sustentabilidade;

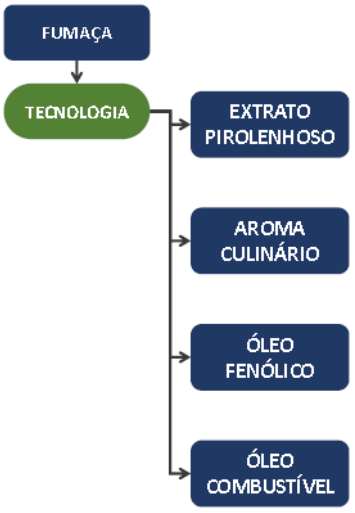
Definição do Negócio

COMERCIALIZAÇÃO DE PRODUTOS ORIUNDOS DO BENEFICIAMENTO DA FUMAÇA, RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL.



ibiré
negócios sustentáveis

4 produtos, 4 mercados



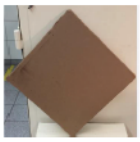
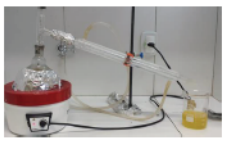
MERCADO	CONCORRENTES	DIFERENCIAIS
Agrícola Pecuária	Defensivos Fertilizantes Aditivos para ração	Origem renovável Preço baixo Produto multifuncional Cultura orgânica
Molhos e Temperos Carnes Defumadas	Fumaça Líquida Aromatizantes	Origem renovável Alimento Orgânico Preço baixo
Resina para colagem de madeira	Resina Fenólica Resina Melamínica	Origem Renovável Alta Reatividade
Combustíveis	Óleo BPF	Origem Renovável Preço baixo Baixo ponto de fulgor Baixo ponto de escoamento

Estratégia

Etapas do Projeto

2009 - 2016	2016 - 2019	2020
Análise de viabilidade / prototipagem	Planta Piloto	Planta Industrial

▪ Escala: Experimental / Laboratorial
▪ Domínio dos parâmetros de processo
▪ Prototipagem
▪ Investimento: R$ 362.029
	▪ 100 ton/mês de fumaça e carvão
	▪ Produção própria de carvão
	▪ Beneficiamento da fumaça
	▪ Receita proveniente da venda de:
	  ▪ carvão para churrasco
	  ▪ aroma culinário
	  ▪ óleo combustível
	▪ Comprovação de uso do Extrato Pirolenhoso Destilado
	▪ Aperfeiçoamento da resina fenólica (investimento não reembolsável FAPESP)
	▪ Desenvolvimento dos mercados fornecedores e consumidores
		▪ 15 mil ton/mês de fumaça
		▪ Compra de fumaça condensada dos grandes produtores de carvão (siderurgia)
		▪ Beneficiamento da fumaça
		▪ Receitas provenientes da venda de:
		  ▪ Extrato pirolenhoso destilado para agropecuária
		  ▪ Aroma culinário para temperos e defumados
		  ▪ Óleo fenólico para colagem de madeira
		  ▪ Óleo combustível para queima em fornos e caldeiras

ibiré
negócios sustentáveis

Alianças Estratégicas

A **IBIRÉ** iniciou sua história em 2009 desenvolvendo produtos e protótipos oriundos do resíduo fibroso da pupunheira, por meio de parcerias com universidades. Desde então, grande parte dos nossos esforços se concentraram em criar uma rede de *stakeholders* capaz de viabilizar tecnologias sustentáveis, pois acreditamos que só com a união dos esforços e interesses, aliados a colaboração e troca de experiências, pode tornar realidade um empreendimento deste porte. Ao longo destes 7 anos, foram criados relacionamentos com pesquisadores, associações de classe, empresários, colaboradores de empresas, produtores rurais, institutos de pesquisa, bancos de fomento, incubadoras de empresas, entre outros, que hoje representam grande valor intangível ao negócio.

Empresa	Papel na cadeia de valor	Empresa	Papel na cadeia de valor
Duratex	Potencial cliente e parceiro no desenvolvimento da resina (possuímos carta de inteção de compra)	Bioware	Parceiro de desenvolvimento equipamentos/maquinário
Arauco	Potencial cliente e parceiro no desenvolvimento da resina	Thyssen Krupp	Parceiro de desenvolvimento equipamentos/maquinário
Pertech	Potencial cliente e parceiro no desenvolvimento da resina	Suber	Parceiro de desenvolvimento equipamentos/maquinário
Coldemar	Potencial cliente	Metalquim	Fornecedore desenvolvedor de equipamentos
SI Group	Potencial cliente	UFRN/Florestal	Desenvolvimento do extrato pirolenhoso para ração animal
Hexxion	Potencial cliente	UFRN/Petróleo	Parceiro de desenvolvimento tecnológico
Produquímica	Potencial cliente e parceiro no desenvolvimento do extrato pirolenhoso	USP/SC	Parceiro de desenvolvimento tecnológico
Foseco	Potencial cliente e parceiro no desenvolvimento da resina	CIETEC	Incubadora de empresas
Multiécnica	Potencial cliente e parceiro no desenvolvimento do extrato pirolenhoso	UFES	Parceiro de desenvolvimento tecnológico
Conatril	Potencial cliente do Aroma Culinário	Fiolo Florestal	Dados de operação florestal e mercado do carvão vegetal
Interlink	Potencial representante de vendas e parceiro no desenvolvimento do Aroma Culinário	Aggrego	Relacionamento institucional – Mercado
LRT	Venda do Biopiche e parceiro no desenvolvimento do ligante refratário	RC Consultoria	Relacionamento institucional e Coaching

Mercado - Fornecedor

Fornecimento de fumaça concentrado nas siderúrgicas de MG

Ano	Produção de carvão de florestas plantadas de MG (MM Ton)
2006	3,1
2007	3,2
2008	3,5
2009	2,6
2010	3,6
2011	3,8
2012	4,4
2013	4,5
2014	4,3

- *125 siderúrgicas usam carvão vegetal*
- *Brasil é o maior produtor mundial*
- *Clones de Eucaliptos específicos*
- *81% de florestas plantas*
- *80% concentrado em MG*
- *1 TON DE CARVÃO = 1 TON DE FUMAÇA*

MARKET SHARE: 3,5%

Fonte: Ibá - Industria Brasileira de Arvores - 2015

ibiré
negócios sustentáveis

Mercado – Consumidor

Extrato Pirolenhoso Destilado

Grãos, Gado e Frango de corte

CAGR 1,8% (2015 – 2025)

Consumo Potencial (2020): 2,1 MM Ton

MARKET SHARE: 4,5%

Fonte: PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO Brasil 2014/15 a 2024/25 – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Assessoria de Gestão - Julho de 2015

ibiré
negócios sustentáveis

Mercado – Consumidor

Aroma Culinário

Molhos e Temperos (barbecue) e Defumados

Barbecue - EUA
CAGR 1,3% (2010 – 2015)
Consumo Potencial: 18 mil ton

MARKET SHARE: 2,7%

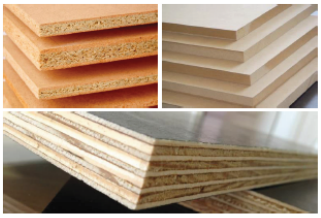
Fonte: IBIS World.

ibiré
negócios sustentáveis

Mercado – Consumidor

Óleo Fenólico

Painéis de Madeira (MDF, MDP e Compensados)



CAGR 3,1% (2005 – 2014)
Consumo Potencial (2020): 14.800 ton

MARKET SHARE: 24%

Fonte: IBIS ABIPA e ITTO

ibiré
negócios sustentáveis

Mercado – Consumidor

Óleo Combustível

Queima em fornos e caldeiras

Concorrente do óleo BPF
Mercados regulamentados

ibiré
negócios sustentáveis

ANEXO 5 – Queima de Bio-óleo

Sumário de Preços – 50 t/h de vapor

Ref. de 50 t/h Vapor	R$/t de vapor	Redução %	R$/kg BO
50 t GN	82,80	0%	0
40 t GN e 10t BO	78,18	5,6%	0,409
30 t GN e 20t BO	72,11	12,9%	0,384
25 t GN e 25t BO	68,56	17,2%	0,372
0 t GN e 50t BO	45,11	45,5%	0,309

GN = gás natural
BO = Bio-óleo

PREMISSAS DE CÁLCULO

- Gastam-se 72 nm3 de gás para gerar 1 ton de vapor.
- 1 nm3 de gás contém 9000 kcal ou 10,46 kWh de energia térmica
- 1 kg de bio-óleo tem 4440 kcal ou 5,16 kWh de energia térmica
- São necessários 146 kg de bio-óleo para gerar 1 ton de vapor.

- Ou seja: 72nm3 de gás = 146 kg de bio-óleo = 1 ton vapor
- E, 50 toneladas de vapor consomem 3.600 nm3 de gás.

Sistema atual – Geração de 50 t/h de vapor

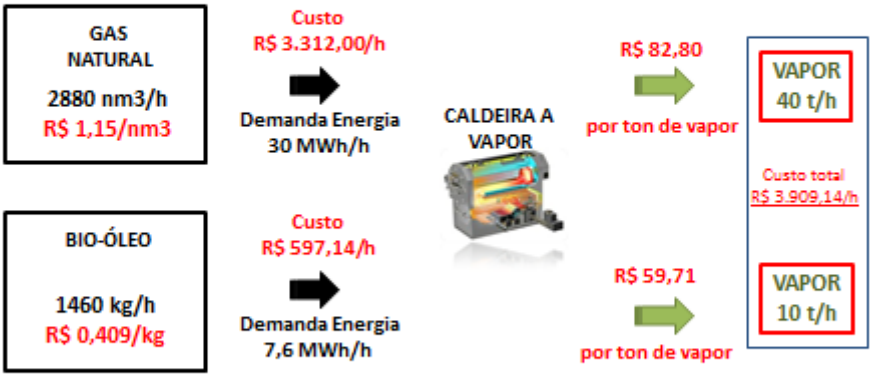
Custo do Vapor

R$ 82,80/tonelada

$$1t_vapor = 72nm^3 \times R\$1,15/nm^3 = R\$82,80$$

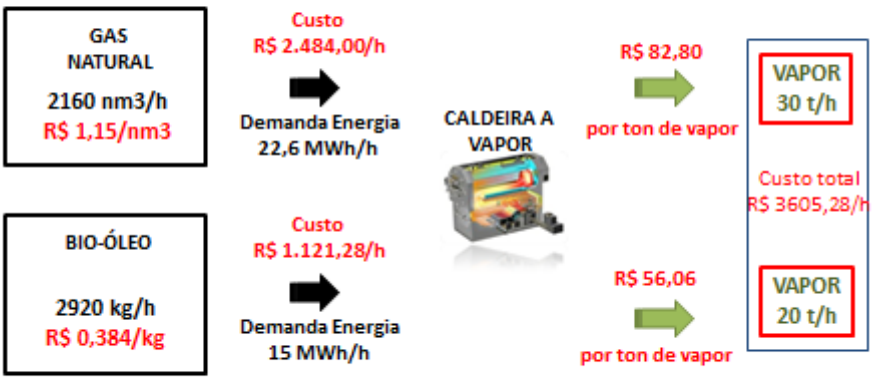
Geração de 50 t/h de vapor = 40 t Gás + 10 t Bio-óleo

Custo médio = R$ 78,18/t de vapor



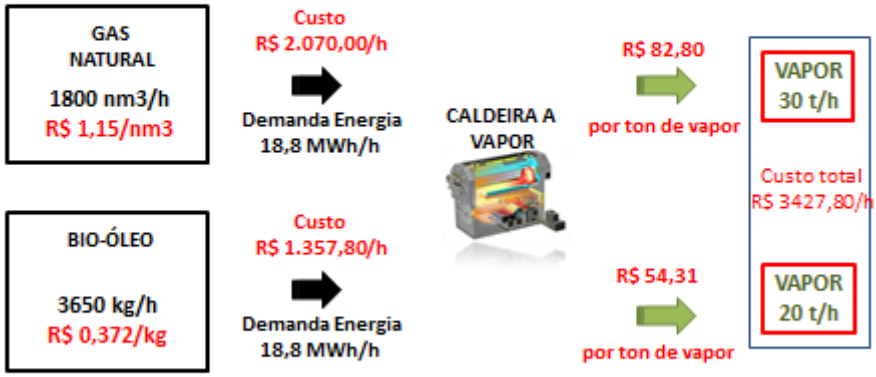
Geração de 50 t/h de vapor = 30 t Gás + 20 t Bio-óleo

Custo médio = R$ 72,11/t de vapor



Geração de 50 t/h de vapor = 25 t Gás + 25 t Bio-óleo

Custo médio = R$ 68,56/t de vapor



Geração apenas com Bio-óleo - 50 t/h de vapor

Custo do Vapor

R$ 45,11/tonelada

$$1t_vapor = 146kg_BO \times R\$0,309 / kg_BO = R\$45,11$$

ANEXO 6 – Programação de visitas e reuniões

ESTA PLANILHA ESTÁ EM EXCEL E DEVE SER IMPRESSA EM FORMATO A2

ANEXO 7 – Roteiro de viagem

ROTEIRO DE VIAGENS E VISITAS PROJETO CO PRODUTOS - PNUD / GEF - 2016

Data de elaboração:		25/11/2016					
Versão:		2					
SEMANA	DOMINGO	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA	SÁBADO
48	20/nov	21/nov	22/nov	23/nov	24/nov	25/nov	26/nov
Contato		1 ; 2	48	5	3; 44	7 ; 43	
Local		Martinho Campos	M.Campos / Capelinha	Capelinha/Curvelo	Paraopeba	Sete Lagoas	Sete Lagoas/BH
49	27/nov	28/nov	29/nov	30/nov	01/dez	02/dez	03/dez
Contato		13	45	-	37	26	
Local		São G. do Pará/Uberaba	Uberaba/B.Despacho	B.Despacho/BH	BH	BH/Dores do Indaiá	Dores/BH
50	04/dez	05/dez	06/dez	07/dez	08/dez	09/dez	10/dez
Contato		23 ; 35	9 ; 17	42	-		
Local		Sete Lagoas/Curvelo	Curvelo/Pirapora	Pirapora/Curvelo	Curvelo	Curvelo/BH	
51	11/dez	12/dez	13/dez	14/dez	15/dez	16/dez	17/dez
Contato			8	41	12	60	
Local		BH/Divinésia	Divinésia/Andrelandia	Andrelândia	Andrelandia/Itajubá	Itajubá/BH	
52	18/dez	19/dez	20/dez	21/dez	22/dez	23/dez	24/dez
Contato		52	67	14	56 ;57	61	
Local		BH/Viçosa	Viçosa/ Ouro Preto	O. Preto/Brumadinho	BH	BH	BH
53	25/dez	26/dez	27/dez	28/dez	29/dez	30/dez	31/dez
Contato		37	47	58			
Local		BH	BH	BH			

O número refrente ao contato corresponde ao item descrito no Anexo 8.

ANEXO 8 – Integração da produção de carvão vegetal

Integração da produção de carvão vegetal, a partir da utilização do potencial energético dos gases de pirólise [1]

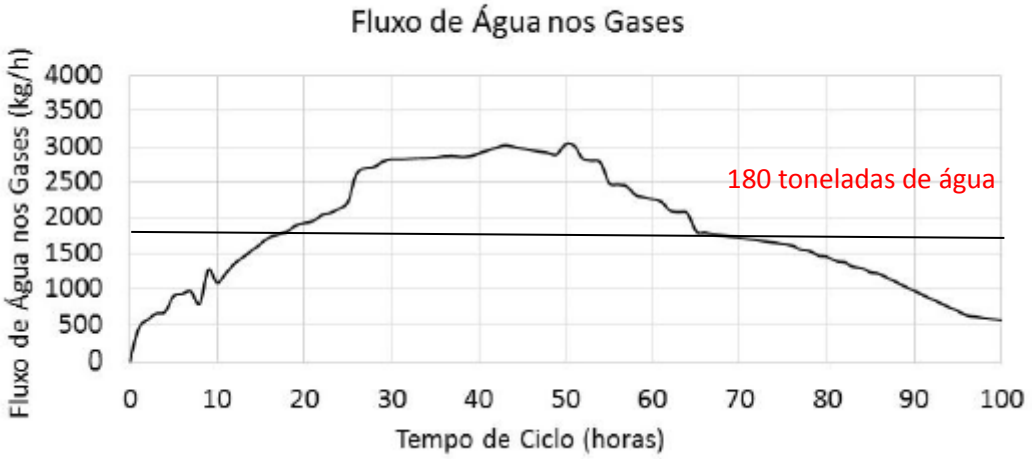
Augusto Valencia Rodriguez[2]

[1] Trabalho apresentado no Encontro Brasileiro de Energia da Madeira, Curitiba 10 e 11 de março de 2016.

[2] Engenheiro Agrícola, MBA. Sócio Diretor da BIOMTEC Biomassas e Tecnologia Ltda. augusto.biomtec@gmail.com

UMIDADE NA EMISSÃO:

Na sequência o gráfico apresenta o perfil do fluxo de água durante um ciclo de carbonização tradicional em fornos retangulares:



Base: 400 toneladas de madeira com 45% de umidade

RENDIMENTO DE TRANSFORMAÇÃO:

Ao se produzir carvão vegetal, o objetivo é não somente o de produzir instantaneamente uma fonte de energia térmica e sim, concentrar e estocar em um material, carbono e outros materiais, que possam ser utilizados em processos posteriores, tais como, metalurgia do ferro, cocção, filtragem, isolação térmica, indústria farmacêutica, dentre outros.

Apenas para citar alguns pontos importantes que são observados nesse processo e que tem consequências na transformação, destacam-se: propriedades físicas da madeira, densidade, homogeneidade, umidade, contaminação, qualidade dos fornos, condução do processo de acordo com as etapas da carbonização (e do resfriamento do sistema forno-carvão), além da forte influência das condições climáticas. Para determinarmos de quanto é esse rendimento de transformação utilizamos o conceito do “rendimento gravimétrico” que nada mais é que a relação entre as massas do carvão vegetal produzido e da madeira que lhe deu origem.

Devido ao grande número de variáveis envolvidas e quase sempre de difícil controle, estima-se que o rendimento pode variar entre 20 a 40% (400 kg de carvão seco, para cada 1.000 kg de madeira seca, em escala de laboratório), o que apresenta uma grande variabilidade entre as diversas formas de condução do processo, que, diga-se de

passagem, são inúmeras. Tomando-se como base uma faixa entre 32 a 35% (considerada boa para a maioria dos produtores), por vezes vem à tona que o desperdício (e aí voltamos às mazelas) na produção de carvão vegetal é de quase 70%. Ora, isso é fato, quando consideramos apenas as massas envolvidas. Porém, há de se considerar que, o que objetivamos com a produção de carvão vegetal é a obtenção de um concentrado em carbono (com teor por volta dos 80%, enquanto a madeira tem cerca de 45%), que seja utilizado em processos particulares (redução do minério de ferro, por exemplo), com rendimento compatível com o processo em que participa neste caso, nos altos fornos para produção de ferro gusa. Fechando este balanço, dois aspectos são importantes para observarmos: (i) do ponto de vista energético, o rendimento da transformação situa-se na casa dos 60%, quando considerados os valores energéticos de cada material, ou seja, a carbonização é um processo concentrador de energia e (ii) 65% da massa então estão representadas na degradação dos constituintes da madeira (celuloses, hemiceluloses, etc.) que são expelidos na forma de gases condensáveis e não condensáveis, graças, portanto, a dita combustão incompleta da madeira, que oferta esses produtos para etapas posteriores de aproveitamento.

Os quadros a seguir apresentam os principais fatores influentes no processo de produção de carvão vegetal, as características que os definem, bem como, o impacto no produto e as ações mitigadoras que devem ser adotadas:

MATÉRIA PRIMA (MADEIRA)

FATOR	CARACTERÍSTICA	IMPACTO	AÇÕES MITIGADORAS
Secagem da madeira (MP)	Representa um processo anterior à carbonização	Consumo de madeira, produtividade, resistência mecânica e geração de finos	De acordo com as condições locais, características da MP e políticas de estoques deve ser maximizado
Uniformidade da madeira	Com relação à distribuição do diâmetro das peças	Lotes heterogêneos quanto ao diâmetro terão maior dificuldade de secagem e carbonização	Escolha de materiais genéticos mais uniformes e adequação do manejo (espaçamento)
Contaminação	Resíduos florestais e operações de movimentação da MP sem os devidos cuidados	Reduz o tempo de secagem e aumenta o teor de finos e cinzas no carvão	Manejo florestal (limpezas) Controle de qualidade das operações de carga e estocagem

FORNOS

FATOR	CARACTERÍSTICA	IMPACTO	AÇÕES MITIGADORAS
Permeabilidade da carga	Cargas de madeira muito compactadas no interior do forno	Impede o fluxo adequado dos gases no interior do forno, podendo interferir na velocidade do processo	Separadores de madeira entre diferentes lastros da carga do forno
Relação tiragem/admissão de ar	Representa a velocidade com que o processo ocorre no interior do forno. Está relacionado com a quantidade de entradas de ar, altura e diâmetro da chaminé, de acordo com as características da MP.	Pode produzir muitos atiços (travada) ou queimar carvão (acelerada) Impacta a produtividade e o rendimento.	Determinar os controles de entrada de ar, de acordo com a capacidade de tiragem das chaminés e do controle de temperatura por fase
Controle de temperatura	Necessário para obter a melhor produtividade e índice de transformação do processo de produção	Juntamente com o item anterior, reflete a eficiência global dos processos	Estabelecer controles e parâmetros de processo, de acordo com a evolução da curva de carbonização

SUPORTE À PRODUÇÃO:

FATOR	CARACTERÍSTICA	IMPACTO	AÇÕES MITIGADORAS
Manutenção fornos	Relacionado aos aspectos de vedação das paredes e portas	Entradas falsas de ar prejudicando as etapas de carbonização e resfriamento	Implantar sistema de monitoramento da construção e operação e manutenções preventivas
Movimentação e estocagem	Diz respeito aos processos de descarga, formação de estoques, carregamento e giro dos estoques	Maior geração de finos, contaminação e redução da resistência mecânica	Definição de métodos de menor impacto físico no carvão, proteção de estoques e manutenção de estoques mínimos

Pelo exposto, fica implícita uma questão: a secagem da madeira é importante no processo de produção de carvão vegetal e no rendimento de transformação?

Inúmeros estudos comprovam que sim e os produtores investem no desenvolvimento de técnicas e em capital de giro para estocagem da madeira no campo ou em pátios intermediários, procurando conseguir a menor umidade da madeira, no menor tempo possível. Usualmente, o processo de secagem se dá ao ar, ou seja, de forma natural e em média são utilizados de 90 a 150 dias para atingir uma umidade média de 25 a 30%, que dificilmente se reduz de forma natural com o alongamento do tempo.

Chegamos então a uma interessante composição de demandas: (i) a necessidade de reduzir a emissão de gases (também de efeito estufa), com importante conteúdo energético (visto que não foram totalmente combustos), presentes nas fumaças da carbonização e, (ii) a necessidade de se melhorar as condições de secagem, quer, reduzindo o conteúdo de água na madeira, quer, reduzindo o tempo e estoques necessários para que tal processo ocorra de forma natural apenas.

A solução para atendimento a ambas parece residir no desenvolvimento de processos, métodos e equipamentos que possam queimar a fumaça e aproveitar o calor produzido na forma de gases combustos (de menor potencial poluente), para promover a secagem artificial forçada da madeira, melhorando o rendimento do processo (acima dos 35%?) e, por consequência, emitindo menos compostos aquosos na atmosfera. Porém, a solução não se viabiliza de forma simplista e facilmente reprodutível para todas as condições de operação. Senão, vejamos alguns fatores dificultadores que devem ser abordados e superados através do estudo de cada etapa, para que possa ser viabilizada a esperada solução. O quadro a seguir apresenta esse caminho:

FATORES	DIFICULADADES	ABORDAGENS	RESULTADO
Captação das fumaças	Grande vazão para escoamento em grandes distâncias, o que demanda tubulações ou canais de seções importantes.	Estudo do *lay out* de cada planta, da capacidade de produção e do número de fornos e dos trajetos projetados.	Projeto de rede de condução das fumaças de forma a reduzir as distâncias, perdas de carga e geração de efluentes líquidos.
Queima das fumaças	Variações no conteúdo gasoso ao longo do processo de carbonização e entre fornos de fases distintas	Estudo do ciclo e caracterização das fumaças dentro de um *cluster*[1] de contribuição, para determinar as condições de operação da câmara de combustão.	Dimensionamento da câmara de combustão de acordo com o número de *clusters* a atender e seus respectivos volumes e conteúdos gasosos a abater
Secagem da madeira	Estruturas específicas para estocagem da madeira, redução de perdas térmicas e garantia de fluxo de ar eficiente.	Secadores com volume de madeira compatível com a capacidade dos fornos, ciclo de produção e logística.	Projeto compatível com o lay out geral Estruturas leves e resistentes Equipamentos de alto desempenho
Energia Elétrica	Plantas distantes das redes Insumo oneroso para aquisição externa	Devem ser consideradas reduzidas distâncias de transporte para reduzir potências consumidas	Dimensionamento com base na gestão de energia, Co geração (tecnologias usuais e alternativas)
Viabilidade	Retorno deve ser compatível com a redução do consumo de madeira, redução nos estoques e produtividade dos fornos.	Verificar escala de produção e reordenamento logístico Melhoria na vida útil dos equipamentos	Cenários diferenciados considerando a capacidade de investimento e as expectativas de desempenho.

[1] *cluster*: número de fornos que integram um ciclo produtivo em dias e que se apresentam como múltiplos destes.

A análise foi feita com base na observação de estudos em escalas piloto, em diversos projetos conduzidos por empresas do setor de carvão vegetal.

Com base no quadro apresentado, observa-se que o sucesso para o encontro das soluções queima-secagem se dá a partir do conhecimento das emissões, que ocorrem de forma diferenciada para cada modelo de produção, ou seja, para os diversos modelos de fornos, diversos arranjos e diversas formas de condução dos processos. O caminho crítico de todo o sistema de "solução" é a disponibilidade de energia elétrica, em muitos casos, inviável do ponto de vista locacional, adicionado ao fato de elevado custo tarifário. Porém, focando o projeto industrial de maneira integrada (começando desde a sua localização e instalação) até ao rearranjo de plantas já implantadas, diversas alternativas podem ser elencadas, sempre contemplando o correto dimensionamento dos sistemas (queima - secagem), o que reduzirá as demandas elétricas, levando até a viabilização de pequenas plantas para auto suprimento, através da cogeração com os gases de carbonização e resíduos, o que viabiliza também, a instalação de outros equipamentos periféricos, como por exemplo, trocadores de calor, que reduzem substancialmente o ciclo de produção dos fornos.

Os fatos apresentados acima apontam para a necessidade de se desenvolver uma análise mais criteriosa da cadeia produtiva do carvão vegetal, a saber:

Aumento da eficiência e produtividade no processo de carbonização;

Redução da emissão de gases não queimados;

Melhoria no processo de secagem da madeira (redução do tempo de secagem e da umidade na matéria-prima).

A combustão adequada e controlada dos gases de carbonização é a solução recomendada para restringir a composição dos gases emitidos para a atmosfera em gás carbônico, vapor d'água e nitrogênio, preponderantemente. A figura 1 mostra a instalação industrial de uma câmara de combustão de gases de carbonização (ou GGQ – Gerador de Gases Quentes).

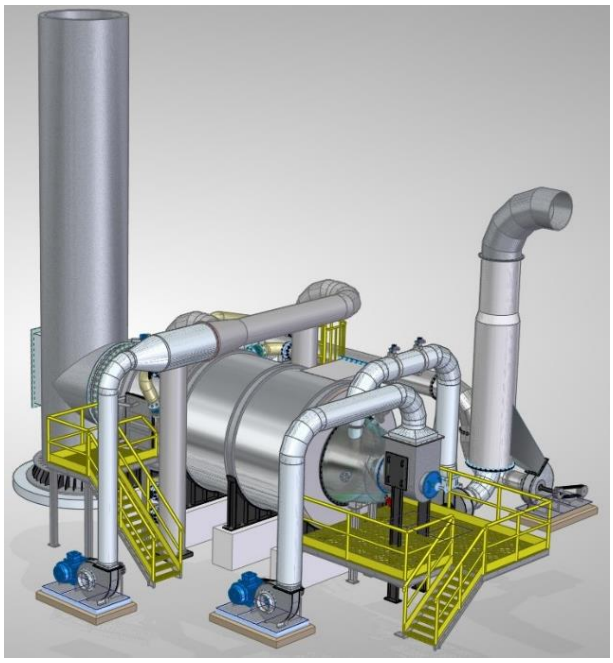


Figura 1: Câmara de combustão de gases de carbonização (GGQ). As reações de combustão de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, alcatrões, metanol e ácido acético, todos na composição dos gases de escape dos fornos de carbonização, liberam uma quantidade de energia bastante relevante e que deve ser aproveitada. Em média, o carvão vegetal mantém cerca de 55% da quantidade de energia referente ao poder calorífico inferior da madeira, o restante é transferido para os gases de carbonização. A figura 2 ilustra a energia contida nos produtos do processo de carbonização (em kcal por tonelada de madeira seca).

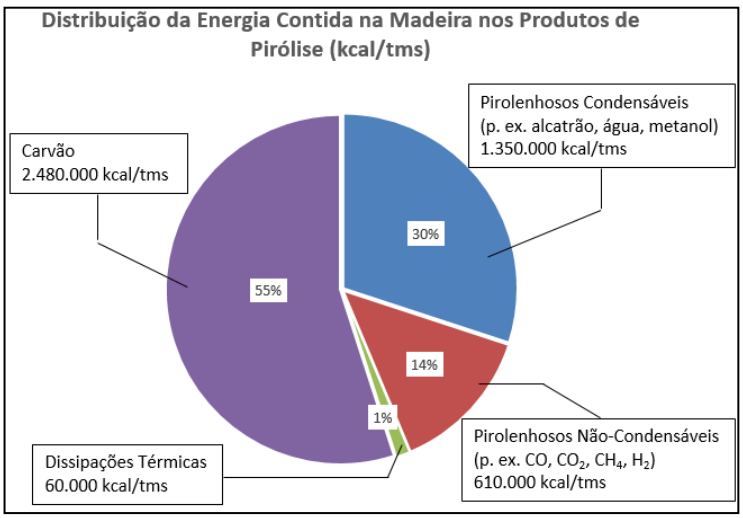


Figura 2: Distribuição de energia dos produtos do processo de carbonização.

A Combustão completa desses gases é importante para minimizar impactos negativos da prática de carbonização ao meio ambiente e também maximizar o potencial de aproveitamento térmico. Para a obtenção de melhores resultados, deve-se priorizar a qualidade da queima.

Tecnologias atuais permitem a combustão completa, estável, controlada e segura dos mencionados componentes em câmaras de combustão (ou GGQ's), minimizando os impactos e maximizando o potencial de aproveitamento térmico. Além disso, com relação à vida útil da instalação e segurança do trabalho, é fundamental que o projeto dessas câmaras empregue materiais com especificações adequadas às temperaturas e condições de operação previstas.

Os produtos da combustão dos gases de carbonização representam relevante disponibilidade térmica tanto para a secagem da madeira a ser enfornada, quanto para a cogeração na unidade industrial. A secagem da madeira em etapa prévia à carbonização representa, de modo geral, um potencial de redução de cerca de 10% do tempo de carbonização. Uma produção média de 5 t/h de carvão a partir de madeira seca tem potencial para a geração de 7 MW, considerando uma planta termoelétrica convencional de ciclo a vapor (Rankine).

Uma planta moderna de produção de carvão vegetal integra todos esses processos de aproveitamento dos gases e melhorias operacionais e ambientais, como combustão, secagem, cogeração, entre outros, como mostrado na figura 3.

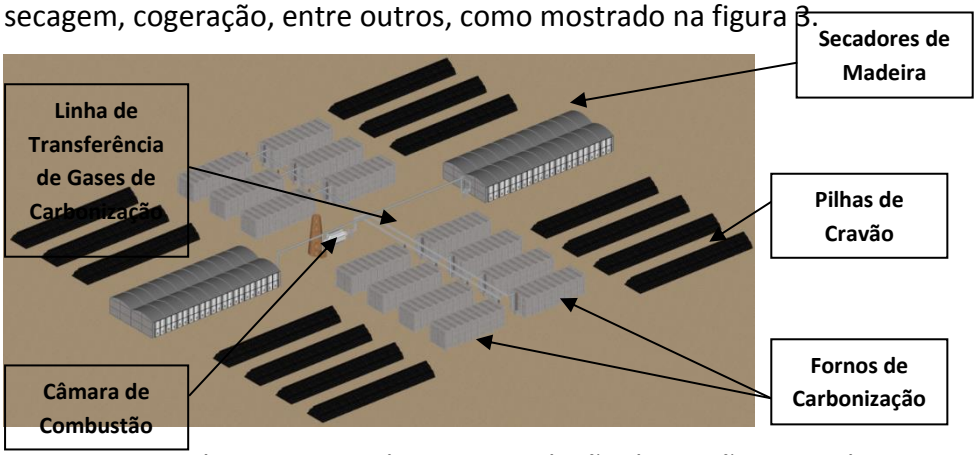
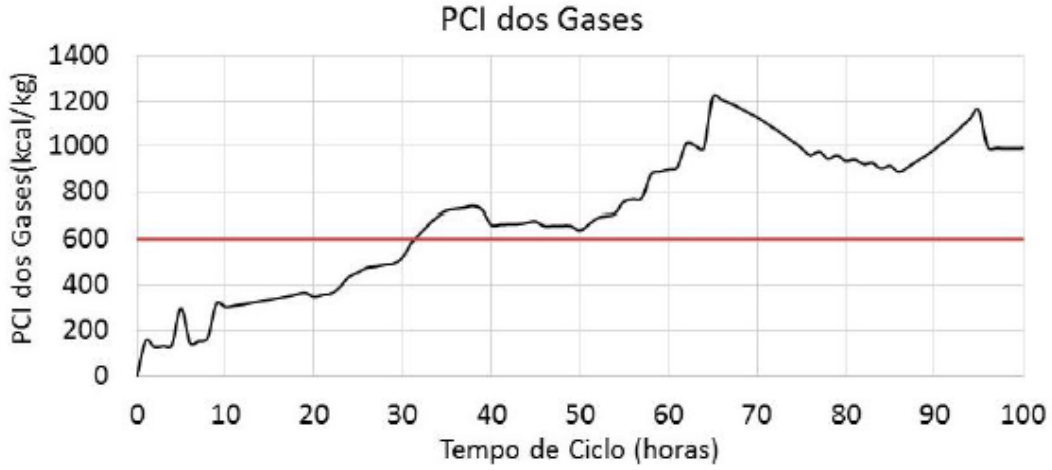


Figura 3: Tecnologias integradas para produção de carvão vegetal.

A primeira etapa fundamental para o sucesso da engenharia de um projeto desta monta, passa pela "Campanha de Medições", que compreende todo o levantamento das condições de produção de uma planta de produção e a caracterização dos gases de

carbonização, com o intuito de construir o **modelo energético** da planta e assim poder dimensionar os recursos necessários para operação das linhas de transporte, sistemas de controle, câmaras de combustão e posterior aproveitamento (secagem, cogeração, trocadores de calor, etc.). Com estes conhecimentos, não só o dimensionamento estará adequadamente garantido por um projeto de engenharia, como serão gerados subsídios para posteriores certificações de eficiência dos sistemas, o que certamente irá atender a futuras demandas do setor. Todo este levantamento se concentra no estudo do fluxo gasoso dos fornos, ao longo do ciclo de cada forno e ao longo do tempo de contribuição de cada forno para um sistema integrado de combustão. Assim, permite-se que fumaças mais pobres energeticamente possam participar de uma mistura de gases mais rica e assim garantir a eficiência de queima de todo o sistema. Equipamentos e técnicas específicas para determinação dos valores e construção dos modelos, também são essenciais para o sucesso desses projetos.

Exemplificando um dos importantes resultados dos levantamentos de campo para a elaboração dos projetos técnicos de engenharia, observa-se a seguir uma curva que mostra a evolução do poder calorífico dos gases ao longo do ciclo de carbonização, no qual se destaca o valor mínimo de PCI (poder calorífico inferior) que garante a estabilidade da combustão dos gases dentro de uma câmara e seu correspondente tempo de ocorrência dentro do ciclo de carbonização. Assim, trabalhando-se com a interação de diferentes curvas (ou fornos), garante-se a queima contínua no *cluster* que contribui para um tramo específico de alimentação à câmara, devidamente dimensionada para receber a quantidade de gases dos fornos do referido *cluster*. Vale lembrar, que ao se utilizar madeira previamente seca, com teores abaixo de 20%, por exemplo, haverá aumento significativo no poder calorífico dos gases emitidos, melhorando a eficiência de todo o processo (maior tempo de queima, maior disponibilidade de gases para queima e secagem).



As campanhas permitem também, determinar estimativas para o potencial de cogeração de energia elétrica, considerando que existam condições viáveis para instalação desses sistemas.

Portanto, é plausível a evolução de sistemas que melhorem as condições operacionais, a partir da queima das fumaças e geração de energia térmica para secagem e, por conseguinte, ambientais das plantas de carbonização. A primeira etapa para equacionar devidamente os sistemas, é a análise de cada modelo de produção, sua respectiva planta, fluxo logístico e, a partir dos levantamentos de campo, e consistentes Campanhas de Medição, construir os modelos adequados, permitindo a elaboração de projetos de engenharia consistentes. Os projetos piloto existentes fornecem subsídios adicionais a estes projetos. As possibilidades do aproveitamento para geração de energia elétrica também se abrem e devem ser prospectados pelas vias tradicionais (Ciclo Rankine ou motogeradores) ou outros que despontam como alternativas a desenvolver (Ciclo ORC ou turbinas a gás), considerando também, tecnologias que envolvem um menor consumo de água nos processo (ex. torres de condensação a ar).

CONCLUSÃO:

O processo de produção de carvão vegetal tradicional implica no uso da madeira com umidade significativa, a qual, associada à liberação dos demais vapores oriundos da degradação da madeira, torna a transformação limitada em seus rendimentos ótimos, com reflexos também, em relação às emissões atmosféricas e geração de efluentes líquidos.

Por outro lado, a secagem artificial reduz o teor de água, aumentando a concentração dos vapores combustíveis, enriquecendo o fluxo gasoso para alimentar os equipamentos geradores de energia térmica (GGQ's) e elétrica (co geração), melhorando consideravelmente, os índices de transformação da madeira em carvão.

Permite assim, que a energia necessária para os novos processos (secagem; transporte de gases; exaustores; bombas, etc.), seja produzida com melhor eficiência, devido à própria secagem da madeira.

Adicionalmente, com disponibilidade de energia elétrica produzida na própria planta, viabiliza-se a adoção de outros equipamentos e sistemas, que propiciam aumentos de produtividade e qualidade do produto final, tais como, trocadores de calor, sistemas de monitoramento, beneficiamento, controle e automação.

Instala-se então um CÍRCULO VIRTUOSO, pelo qual, a busca pela redução da umidade, essencial em qualquer processo que envolva processos termodinâmicos e biomassa, leva a uma melhoria TRANSFORMACIONAL de toda a cadeia de produção do carvão vegetal, de forma sustentável.

Do ponto de vista econômico e financeiro, as diversas situações devem ser analisadas, de acordo com cada projeto e alinhamento estratégico, onde devem ser observadas as demandas internas e as externalidades que se apresentam de maneira crescente, sendo uma oportunidade de mudança significativa para todo o setor de produção de carvão vegetal.

Belo Horizonte, março de 2016.

ANEXO 9 – Pesquisas Relacionadas no Exterior

Biomassa na indústria do aço

País: Finlândia - Ano: 2011

Entidades / Pesquisadores: Centre for Advanced Steels Research – Hannu Suopajarvi

Referência para consulta: http://www.steelonthenet.com/files/metallurgical_coal.html

Resumo:

Introduzir biomassa vegetal na injeção das ventaneiras em fornos a coque (turfa, resíduos de madeira e madeira não comprometida no mercado usual);

Para produção do carvão vegetal, estudaram rotas que utilizavam os próprios gases do alto forno ou da coqueria associada a produção do redutor principal (coque);

Também investigaram a possibilidade de produção exclusiva de carvão vegetal (incluindo custos históricos de produção no Brasil);

Detectaram pequenas alterações nas condições de performance do alto forno, se afetar de maneira significativa os resultados. Contudo o uso da biomassa reduz significativamente a emissão dos gases de efeito estufa;

Sugeriram diversos pontos para continuidade das investigações e estudos de viabilidade, aprofundamento em rotas de aproveitamento dos gases em planta com maior integração dos processos (carbonização, aproveitamento dos gases, injeção geração de energia elétrica).

Produção Integrada de Aço com Biomassa

País: Austrália - Ano: 2013

Entidades / Pesquisadores: CSIRO / Jahanshahi – Somerville – Deev - Mathieson

Referência para consulta: IEAGHG/IETS Iron and Steel Industry CCUS and Process Integration Workshop – Tokyo 5-7 november 2013

Resumo:

O estudo trás uma abordagem ampla sobre a utilização do carvão vegetal em altos fornos e fornos elétricos a arco. Enfoca desde a real redução de emissões (sim), a disponibilidade de matéria prima (madeira residual) na Austrália (sim) e os fatores de produção (custo) e tecnologias agregadas (em P&D ainda).

Foram testados alguns compósitos de minério + carvão vegetalina forma de briquetes; força de compressão e a metalização foram boas no início, decaindo com o tempo.

Também foram testadas diversas misturas para biocoque (% diferentes de carvão vegetal) com diferentes aglomerantes orgânicos. Houve incremento da reatividade do compósito, mas com queda na resistência mecânica; adição de aglomerantes orgânicos e carvão de maior densidade se mostraram benéficos às misturas.

Investigação sobre métodos de carbonização que priorizassem o melhor rendimento e uma rota que considera o aproveitamento dos coprodutos (condensados), de forma mais eficiente (ex. sem entrada excessiva de ar), tendo como matéria prima, cavacos ou pellets; foi desenvolvido um equipamento piloto (taxa de alimentação entre 100 – 300 kg/h).

Apresentada uma tabela com as aplicações e características dos materiais e quanto o nível de intensidade de uso de cada alternativa. Destaque para a injeção de finos, usual nos altos fornos no Brasil. Mostra-se a seguir:

Status of iron and steelmaking applications

Application	Optimized Quality Parameters† [3]	Last Stages Completed	Next Step
Sintering solid fuel	Low VM: <3% High density*: >700 kg/m³ Size: 0.3 - 3 mm	Pilot scale testing [9, 10]	Industrial trials
Cokemaking blend component	Low to mid VM: <10% High density*: >700 kg/m³ Size: <1 mm Low alkalis	Bench-scale R&D	Pilot oven trials
BF tuyere injectant	Higher VM: 10 - 20% Low ash: <5% Low alkalis	Theoretical analysis [7] & combustion testing [11]; Mini-BF commercial operations in Brazil	Trial on large BF
BF nut coke replacement	Low to mid VM: <7% Higher density Size: 20 - 25 mm	Mini-BF commercial operations [12]	Trial on large BF
Carbon/ore composites	Low VM: <5% Size: 80% passing 75 µm	Bench-scale R&D	Pilot or industrial trials (RHF)
Steel recarburiser	Low VM: <3% Low moisture: <2% High density*: >500 kg/m³	Industrial trial [13]	Industrial trial with optimized charcoal
EAF charge carbon	Low to mid VM: <7% Size: 20 - 30 mm Low alkalis	Proposed	Industrial trial
EAF foaming agent/ inject carbon	Low to mid VM: 2 - 7% Moisture: 1 - 7% Size: 0.5 - 5 mm Low alkalis	Industrial trial [14]	Industrial trial with optimized charcoal

† Applications not requiring very low moisture levels require relatively dry charcoal, say <12% moisture.
* This is particle (not bulk) density

Como principal conclusão, apontam a necessidade de maior aprofundamento em encontrar um modelo de produção de carvão (pirólise) com baixo custo e em grande escala.

Substituição de coque pelo carvão vegetal poderá ser um diferencial de custo de capital menor para baixas emissões de CO^2, integrando processos nas plantas de produção de aço.

Uso de Líquidos de Pirólise da Madeira como Biocidas e Proteção Vegetal

País: Finlândia- Ano: 2010

Entidades / Pesquisadores: Agrifood Research Finland / Kari Tiilikkala, Leena Fagernäs and Jasse Tiilikkala

Referência para consulta: https://issuu.com/magdymohamed/docs/history_and_use_of_wood_pyrolysis_l_f9f477f4e76110

Resumo:

Trata especificamente do uso do pirolenhoso (citado como vinagre de madeira) no uso agrícola e a necessidade de (i) reduzir a dependência do uso de agroquímicos sintéticos; (ii) maior aprofundamento em pesquisas sobre toxicologia, entre outras e; (iii) das barreiras para comercialização.

Barreiras no uso de pesticidas tem aumentado gradativamente, com ações específicas para o tema.

Poucos trabalhos sobre o assunto. A revisão relata alguns resultados, muitos deles, sem comprovação científica ainda

O trabalho está dividido em três partes: (a) descrição dos processos de pirólise lenta e produção do vinagre de madeira; (b) sobre a eficácia da aplicação do vinagre de madeira e; (c) visão das tendências do chamado KBBE (conhecimento baseado na bio economia) sobre a pirólise e a aplicação dos produtos.

Não estão claras as diversas denominações para os produtos, o que dificulta as análises dos estudos relatados.

A produção de químicos, via de regar não é economicamente viável no hemisfério ocidental. A petroquímica é predominante.

Muitos relatos de uso na Ásia (China, Japão, Índia, etc.). Talvez os resultados por serem descritos em língua pouco acessível não foram difundidos pelo mundo ocidental.

Utilizações diversas (preservativo de madeira; fungicida; repelente; inseticida; herbicida e estimulador de crescimento de plantas; alimentação para o gado).

Não há consenso sobre riscos toxicológicos dos produtos à base de alcatrão ou ácido pirolenhoso.

Forte tendência na Europa de incremento da produção de bio óleo a partir da pirólise rápida (produtores de papel e celulose são os principais responsáveis por essa tendência).

No Japão o desenvolvimento de tecnologias e produtos nesse sentido crescem a reboque do avanço das cidades ecológicas, onde a carbonização é vista como uma alternativa viável.

Crescimento dos biológicos nos EUA se dá mais na rota de óleos essenciais e não em pirolenhosos, diferentemente da Ásia (China, Japão, Tailândia e Camboja), onde existem muitos produtos nessa linha.

Em relação aos registros para uso, existe uma variedade de situações, para produtos nos diferentes países onde o assunto é tratado.

Existe um potencial expressivo para o desenvolvimento dessa linha de produtos a reboque das preocupações ecológicas e de sustentabilidade expressas em diversas ações pelo mundo afora. Elementos – chave como disponibilidade de biomassa com qualidade e o ajuste das cadeias logísticas serão diferenciais.

Como desafios relatam a necessidade e ajustes na regulação europeia e suporte a pequenos e médios produtores; nos EUA, com o sucesso dos óleos essenciais o vinagre pode despontar.

Melhorar o conhecimento sobre os produtos e trabalhar no sentido de adequar a legislação e os registros são as conclusões do estudo.