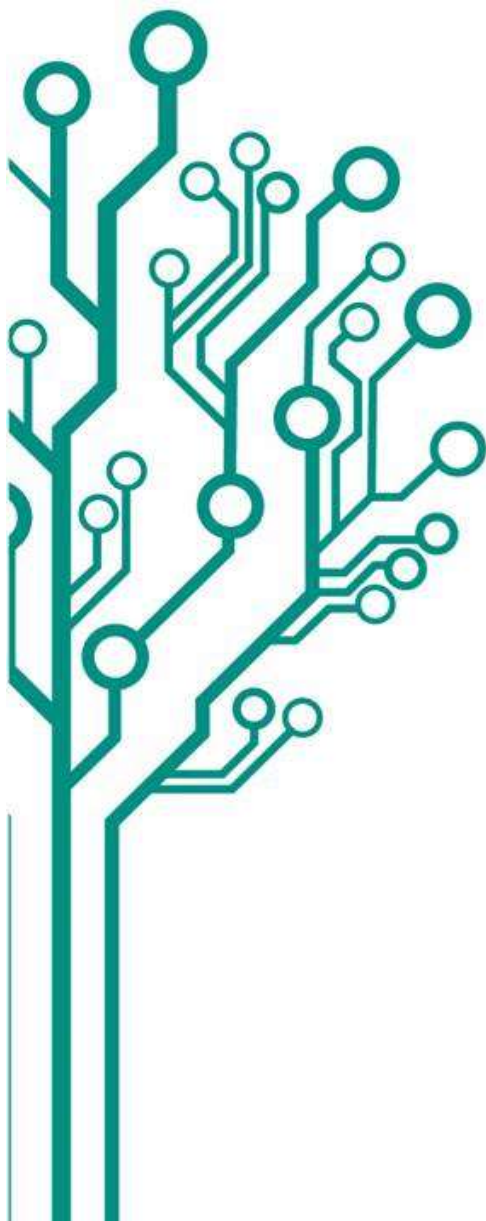


Mestrado Profissional
Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais



**AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DE
DORMENTES DE MADEIRA DA ESTRADA DE
FERRO CARAJÁS PARA A COGERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

FABIO GORAYEB DAMASCENO

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado Profissional em Uso Sustentável de
Recursos Naturais em Regiões Tropicais do
Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Orientador(a):
Dr. Valente José Matlaba

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do ITV – Belém-PA

D155a

Damasceno, Fábio

Avaliação do reaproveitamento de dormentes de madeira da Estrada Ferro Carajás para a cogeração de energia elétrica / Fabio Gorayeb Damasceno – Belém, PA, 2015.

110f.: il.

Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2015.

Orientador: Dr. Valente José Matlaba

1. dormentes. 2. coprocessamento. 3. energia. 4. sustentabilidade.
Título.

CDD 23. ed. 674.38

FABIO GORAYEB DAMASCENO

**AVALIAÇÃO DO REAPROVEITAMENTO DE DORMENTES DE
MADEIRA DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS PARA A COGERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável do Programa de Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Valente José Matlaba
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Gustavo Pessin
Membro interno - Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Paulo de Souza Junior
Membro externo - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) e Instituto Tecnológico Vale (ITV)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que investiram amor e dedicação em minha formação pessoal e cujas trajetórias de vida e dignidade me inspiram e me fortalecem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder a graça de estar vivo para contribuir com uma gota no oceano de possibilidades do fascinante mundo da ciência.

Agradeço ao meu professor orientador que dedicou seu tempo e sua paciência na revisão deste trabalho e me orientou sobre o melhor caminho a trilhar.

Agradeço também a todos os professores do mestrado profissional do ITV, que durante o curso, enriqueceram meu conhecimento técnico e científico e mostraram o valor de estudar e aprofundar a análise crítica na ciência do desenvolvimento sustentável.

Aos meus pais Miriam e Benedito, e irmãs Simone, Ilana e Diana, pela torcida, confiança e apoio nas horas difíceis.

Ao meu amigo Paulo Gustavo pela compreensão e diligência do tempo nos momentos de aflição.

Aos amigos João Caracas e Mariana Amado, pelo conhecimento aplicado às energias renováveis e ajuda técnica.

Aos meus amigos de mestrado, pelo compartilhamento de momentos alegres e, as vezes, de pura tensão, mas que valeram a pena.

Aos líderes da Vale que confiaram, torceram pelo sucesso desse trabalho e investiram recursos para que o mesmo pudesse se tornar realidade e trazer benefícios à empresa.

RESUMO

Considerado um dos resíduos críticos na gestão ambiental de uma ferrovia, as sucatas de dormentes de madeira tratadas com compostos químicos ou oleosos têm dificuldade de destinação final adequada devido ao volume e potencial de toxicidade. Cerca de 770 mil unidades de dormentes serão geradas até 2022 nas obras de duplicação da Estrada de Ferro Carajás (EFC). Este trabalho avalia os aspectos ambientais e econômicos do coprocessamento dos dormentes com biomassa florestal para a cogeração de energia elétrica em unidade termelétrica na região cortada pela EFC. Foi realizado o estudo de viabilidade de queima (EVQ) através de coleta de amostras dos gases emitidos pela chaminé e das cinzas residuais utilizando biomassa de origem florestal (teste em branco). Em seguida introduziu-se madeira de dormente triturada e misturada à biomassa na proporção de 1:5. Foram utilizadas metodologias de amostragem e análises recomendadas pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), Agência de Proteção Ambiental Americana (US EPA) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e os resultados comparados aos limites máximos estabelecidos para emissões atmosféricas, requeridos pela legislação ambiental brasileira para incineração de resíduos. A viabilidade econômica na substituição da biomassa por 20% de dormentes representa uma economia de 19,2% no custo total anual da matéria-prima. Esta economia é equivalente a 21,4% do orçamento anual do projeto social da Fundação Vale “Casa Saudável” desenvolvido na região de Pindaré, Maranhão. Os resultados apontam para a sustentabilidade no reaproveitamento energético da madeira, entretanto alertam para a necessidade de instalação de sistema de controle eficiente das emissões gasosas, principalmente para material particulado e dioxinas e furanos.

Palavras-chave: dormentes. coprocessamento. energia. sustentabilidade.

ABSTRACT

Wood sleepers scraps treated with chemical or oily compounds are one of the critical residues to the environmental management of railways. Unfortunately, they have scarce proper disposal due their volume and potential toxicity. Along the duplication of EFC railway, approximately 770,000 wood sleepers will be generated until 2022. This study evaluated the co-firing process of wood sleepers and forestry biomass in a thermoelectric power unit of the region cut by EFC railway to produce energy. This study analyzed the environmental and economic aspects of energy cogeneration according to the burning feasibility study (BFS). Into the stack flow, emission samples of forestry biomass burning (blank test) were found to be collected. Then, were introduced wood sleeper chips mixed with forestry biomass by 1:5 ratio. According to the standard analytical methodologies recommended by State of Sao Paulo Environmental and Sanitation Technology Company (or CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, in Portuguese), United States Environmental Protection Agency (US EPA) and Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), the result of the BFS was compared to the limits of air emission parameters established by Brazilian environmental law to waste incineration. We found evidence of economic viability with savings of 19.2 per cent in the total biomass cost when wood sleepers were mixed to it to generate thermoelectric energy. The savings represent 21.4 per cent of the annual budget of the social project "Casa Saudável" (Healthy Home) developed in Pindaré region, Maranhao State, Brazil, by Vale Foundation. The result confirmed the sustainability of reuse of wood sleepers to energy production. However, an efficient gas emission system must be taken into account to control particulate matter, dioxins and furans.

Key words: sleepers. co-firing. energy. sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elementos da via permanente.....	18
Figura 2: Dormente serrado.....	19
Figura 3 a,b: Dormentes de madeira da EFC.....	19
Figura 4: Secagem dos dormentes ao ar livre.....	21
Figura 5 a-c: Etapas e ilustração do processo de tratamento sob pressão dos dormentes em autoclave para produção de vácuo, durante 30 a 60 minutos.....	23
Figura 6: Demanda plurianual de aplicação de novos e remoção de dormentes usados na EFC.....	33
Figura 7: Dormentes de concreto	35
Figura 8: Dormentes de aço.....	36
Figura 9 a, b: Chaminé da caldeira e equipamento de controle “Multiciclone”.....	41
Figura 10: Lote de madeira de dormentes para teste no pátio da UTE Cosima.....	44
Figura 11 a-d: Triturador e lotes de madeira e dormentes triturados	45
Figura 12: Balança.....	45
Figura 13 a, b: Moega e silo alimentador que direciona o <i>blend</i> homogeneizado por esteira transportadora até a caldeira.....	46
Figura 14: Esquema de trem de amostragem do método 5 da EPA.....	47
Figura 15: Foto do trem de amostragem utilizado no experimento.....	48
Figura 16: Esquema de coleta de PCDD e PCDF utilizando o trem de amostragem.....	49
Figura 17: Molécula Genérica de Dioxinas e Furanos.....	50
Figura 18: Esquema de coleta de NOx.....	51
Figura 19: Volatile Organic Sampling Train – VOST.....	53
Figura 20: Gráficos das concentrações dos parâmetros analisados (mg/Nm ³) comparativamente ao teste realizado na RECICARBON e limite de referência do CONAMA 316/2002.....	59
Figuras 21 a, b: Emissão de MP e gases para a atmosfera durante teste de queima com dormentes.....	62
Figuras 22 a, b: Reaproveitamento de sucatas de dormentes de madeira como peça ornamental.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 a, b – Concentração dos componentes químicos dos preservativos de madeira CCA-Tipo C e CCB, respectivamente.....	22
Tabela 2 – Limite de emissão para poluentes na legislação brasileira.....	25
Tabela 3 – Destino final dos resíduos de madeira preservada, países selecionados.....	28
Tabela 4 a, b – Classificação dos resíduos de dormentes tratados com creosoto e CCA segundo a NBR 10004:2004, bem como os respectivos parâmetros que estiveram em desacordo.....	29
Tabela 5 – Participação das dez maiores fontes de emissão de dioxinas e furanos, pela toxicidade equivalente (g TEQ/ano), em 2008 (%)......	32
Tabela 6 – Características dos materiais para fabricação de dormentes.....	37
Tabela 7 – Dados da Caldeira.....	40
Tabela 8 – Dados técnicos dos equipamentos geradores de energia.....	41
Tabela 9 – Composição das amostragens dos testes “em Branco” e com Dormentes.....	43
Tabela 10 – Tempo de coleta.....	55
Tabela 11 – Cronograma do monitoramento.....	56
Tabela 12 – Equipamentos utilizados.....	56
Tabela 13 – Resultados do EVQ entre UTE Cosima e Recicarbon sob a ótica da viabilidade ambiental.....	58
Tabela 14 – Resultado da viabilidade econômica no reaproveitamento de dormentes da EFC.....	64
Tabela 15 – Comparação entre a economia com uso de 20% de dormentes e o orçamento de projeto social “Casa Saudável” da Fundação Vale, 2014.....	65
Tabela 16 – Alternativas de destinação de dormentes em fim de vida útil da EFC.....	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALL – América Latina Logística

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

ANVISA – Agencia Nacional de Vigilância Sanitária

BAT/BEP – Melhores técnicas disponíveis associadas às melhores práticas ambientais.

BFS – Burning feasibility study (ou Estudo de Viabilidade de Queima, em Português)

BTX – Benzeno, tolueno e xileno

CCA – Arseniato de cobre cromado

CCB – Borato de cobre cromado

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CFN – Companhia Ferroviária Transnordestina

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CPM – Complexo Portuário de Ponta da Madeira

DS – Desenvolvimento Sustentável

EFC – Estrada de Ferro Carajás

EFVM - Estrada de Ferro Vitória Minas

EVQ – Estudo de Viabilidade de Queima

FCA – Ferrovia Centro-Atlântica

FNS – Ferrovia Norte Sul

GHG – Greenhouse Gases (gases do efeito estufa)

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ITV – Instituto Tecnológico Vale

MME – Ministério das Minas e Energia

MRS – Malha Regional Sudeste Logística S/A

NBR – Norma Técnica Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

PAH – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

PCDD e PCDF – Dioxinas e furanos policlorados

POP – Poluentes orgânicos persistentes

SEMA – Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Maranhão

SVOC – Compostos orgânicos semi voláteis

TEQ – Toxicidade equivalente

US EPA – Agencia de Proteção Ambiental Americana

UTE – Unidade Termelétrica

VOC – Compostos orgânicos voláteis

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Definição do problema.....	13
1.2	Estrutura da Dissertação.....	14
2	REFERENCIAL TEORICO E FUNDAMENTAÇÃO	
	CIENTIFICA.....	17
2.1	Introdução.....	17
2.2	Revisão de Literatura.....	17
2.3	Características dos dormentes.....	17
2.4	Tipos de produtos preservantes de madeira.....	21
2.4.1	Padrões de qualidade do ar.....	24
2.5	Legislação internacional sobre a gestão dos resíduos.....	27
2.6	As dioxinas e furanos e os dormentes de madeira tratada.....	30
2.7	Materiais alternativos para dormentes.....	34
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1	Introdução.....	38
3.2	Metodologia científica.....	39
3.2.1	Descrição do processo de geração de energia UTE.....	40
3.2.2	Planejamento dos testes.....	41
3.2.3	Descritivo do teste de queima.....	42
3.2.4	Avaliação das emissões gasosas na chaminé da unidade termelétrica.....	42
3.2.4.1	Teste “branco”.....	42
3.2.4.2	Teste com dormentes e análise das cinzas.....	42
3.2.5	Relatório final.....	43
3.2.5.1	Dados do gerador da biomassa.....	43
3.2.5.2	Preparação dos lotes para os testes.....	44
3.3	Métodos de amostragem.....	46
3.3.1	Coleta e análise de material particulado (MP) e óxidos de enxofre (SO ₂ e SO ₃).....	47
3.3.2	Coleta e análise de dioxinas e furanos.....	49
3.3.3	Coleta e análise de ácido fluorídrico e ácido clorídrico.....	50
3.3.4	Coleta e análise de óxidos de nitrogênio (NO _x).....	51
3.3.5	Coleta e análise de metais.....	52
3.3.6	Coleta e análise de compostos orgânicos voláteis – VOC.....	52
3.3.7	Coleta e análise de dioxinas e furanos e principais compostos orgânicos perigosos (PCOPs).....	53
3.3.8	Coleta e análise de cianetos.....	54
3.3.9	Coleta e análise de cinzas de dormentes.....	54
3.3.9.1	Preservação das amostras e análises laboratoriais.....	54
3.3.9.2	Estratégia de amostragem de efluentes gasosos e cronograma.....	55
3.3.9.3	Equipamentos utilizados durante o monitoramento.....	56
4	RESULTADOS.....	57
4.1	Introdução.....	57
4.2	Apresentação dos dados do experimento.....	57
4.3	Discussão.....	66
4.4	Alternativa para dormentes de madeira.....	67
5	CONCLUSÃO.....	69

REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICE A – MÉTODOS UTILIZADOS PARA COLETAS E ANÁLISES DE GASES EM FONTES FIXAS	
APÊNDICE B – TABELAS REFERENTE A RESULTADOS DOS TESTES	
APÊNDICE C – TABELA COM OS PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS	
APÊNDICE D – EMPRESAS FABRICANTES DE DORMENTES POLÍMEROS	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Definição do problema

A estrutura de uma via férrea prescinde da sustentação dos trilhos de aço para garantir a absorção de impactos e trepidações inerentes do transporte ferroviário. As peças que fazem a sustentação da parte superior da estrutura de uma via férrea são os chamados “dormentes”, os quais amortecem os impactos e os transferem ao lastro e sublastro conferindo segurança ao transporte de passageiros e cargas.

A utilização de dormentes em ferrovias data de 1820, quando pela primeira vez foram substituídas pedras por dormentes de madeira em ferrovia situada em Boston, Estados Unidos. A prática se tornou comum em todo o mundo devido à abundância da madeira. Mas com o passar dos anos as pressões por recursos naturais constituíram um alerta para a necessidade de ampliar a vida útil dos dormentes de madeira (ALVES, 2005).

As pressões mundiais pela preservação do meio ambiente e a própria escassez de madeira, obrigam as empresas ferroviárias a buscarem alternativas para o dormente de madeira nativa. Existem opções de substituição da madeira pelo concreto, aço, plástico rígido e borracha. Porém, fatores como custo, escala de produção, manuseio e equipamentos para aplicação devem ser contemplados em um estudo de viabilidade.

As pesquisas com materiais apontam avanços significativos na fabricação de dormentes polímeros (plástico rígido combinado com outros materiais) que evitam o corte de árvores e são provenientes de materiais recicláveis, porém ainda sem escala de produção no Brasil para atender a demanda anual de 1,5 milhão de unidades. O aço e o concreto também já têm ampla aplicação em ferrovias no Brasil (e.g. Vale e MRS). No campo das classes de madeira, o eucalipto é considerado inferior às madeiras nobres, mas tem sido a solução para a fabricação de dormentes em larga escala por possuir a mesma vida útil e proporcionar ganhos ambientais pelo manejo sustentável (SALLES, 2009).

Há escassez de alternativa para tratamento e disposição adequada de dormentes de madeira pelo fato de ainda estar presente em sua composição substâncias químicas preservantes, tais como o pentaclorofenol, sais de cromo, cobre e arsênio (CCA) ou boro (CCB) e o creosoto. Dependendo da concentração, as reações com outras substâncias e organismos podem transferir contaminantes para o

meio ambiente (GENOVESE et al., 2006; GOMES et al., 2006; GOMES et al., 2014; HELSEN et al., 1997; HERY, 2004; RENDEIRO, 2008; SALLES, 2009).

A Estrada de Ferra Carajás (EFC), com seus 892 km, nasce na Serra dos Carajás no sudeste do Pará e vai até São Luís no Maranhão, corta 27 municípios e possui 1.851 dormentes por km. Ou seja, mais de 1.650.000 unidades que precisam ser descartadas adequadamente ao término de sua vida útil. Como agravante as equipes de manutenção que efetuam a troca dos dormentes não vêm cumprindo o procedimento interno de gerenciamento de resíduos que orienta a remoção e transporte dos resíduos até a Central de Materiais Descartados (CMD) mais próxima, para armazenamento e destinação adequada. As sucatas de dormentes têm ficado às margens da linha férrea, amontoados em pilhas desordenadas, sem prazo definido para seu recolhimento e entrega na CMD.

Por este motivo, no período de estiagem, de Agosto a Outubro, quando prevalecem altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, o número de ocorrências de incêndio na vegetação motivado por fogo em dormentes é elevado.

Este trabalho buscou desenvolver alternativa local para contribuir no solucionamento da questão ambiental, impactada pela socioeconomia local, de destinação dos dormentes de madeira íntegros e não-íntegros da EFC, com o objetivo de reduzir os riscos de ocorrências ambientais e emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE), além de gerar valor para este resíduo crítico na gestão ambiental desta ferrovia do grupo Vale.

O presente estudo de caso é uma contribuição importante aos outros trabalhos científicos que testam a viabilidade do uso de dormentes na cogeração de energia elétrica.

1.2 Estrutura da dissertação

Além da introdução, os próximos capítulos desta dissertação pretendem abordar a necessidade do uso de dormentes de madeira nas ferrovias e propor uma alternativa de reaproveitamento quando descartados como resíduos.

O capítulo 2 descreve a importância dos dormentes de madeira na composição da estrutura de ferrovias; os diferentes tipos de preservantes de madeira aplicados para ampliar a vida útil da madeira; outros materiais que vem sendo

pesquisados, testados e utilizados para a fabricação de dormentes; trata da legislação vigente, como a Resolução nº 316/2002 CONAMA, a qual constitui nosso ponto de partida nesta análise, os riscos ambientais associados à queima de madeira com preservativo, os principais poluentes e formas de controle e tratamento, são abordados nas seções 2.4.2; 2.4.3 e 2.5.

O capítulo 3 descreve o método utilizado para avaliar os resultados do experimento na unidade termelétrica selecionada. O estudo de viabilidade de queima (EVQ) ou “teste de queima”, baseado na legislação citada, foi utilizado como método para avaliar as emissões gasosas e as cinzas residuais da incineração de dormentes, misturados à biomassa na proporção de 1/5. O calor deste processo gera vapor na caldeira, o qual movimenta a turbina e transforma a energia cinética em energia elétrica.

O método é aplicado para queima de resíduos sólidos em geral, mas tecnicamente a mistura de dormentes com biomassa florestal é considerada um coprocessamento pois utiliza materiais de mesma natureza.

O experimento consistiu em avaliar os parâmetros de emissões gasosas na chaminé da termelétrica em operação normal com biomassa de origem florestal (teste em branco). Em seguida, foram inoculados dormentes de madeira tratados com preservativos oleosos e químicos à mistura com biomassa (*blend*).

As amostras foram coletadas em triplicata com uso de equipamentos como trem de amostragem gasosa ORSAT, filtros e sondas e posteriormente encaminhadas para laboratório para obtenção dos resultados.

A principal evidência foi que a mistura de 20% de dormentes à biomassa reduz o custo da matéria-prima em 19%. Além disso, dormentes possuem alta concentração de carbono e baixo grau de umidade, o que aumenta o poder calorífico e, por conseguinte, o rendimento da queima.

O capítulo 4 mostra os resultados das análises laboratoriais, que indicaram níveis de metais pesados muito abaixo do limite máximo permitido. O material particulado (MP) e dioxinas e furanos (PCDD/PCDF) tiveram concentrações maiores do que o máximo permitido pela legislação.

O capítulo 5 avalia o resultado sob a ótica da dimensão ambiental e também analisa os ganhos financeiros com o coprocessamento de dormentes à biomassa na UTE, comparando os custos de aquisição, custos de geração e preço de venda da energia elétrica. O capítulo propõe ainda alternativa de reaproveitamento distinta da

incineração e mostra os riscos à saúde humana da queima a céu aberto dos dormentes da EFC.

Finalmente, o capítulo 6 é a conclusão da dissertação. As evidências mostradas pelo experimento apontam para a viabilidade da cogeração de energia elétrica utilizando dormentes de madeira da EFC misturado à biomassa na usina termelétrica. Os trabalhos futuros poderão testar percentuais menores, entre 10 e 20% a fim de medir se ocorrerá a queda nos resultados de MP, PCDD e PCDF.

O experimento aponta para a necessidade de implantação de um sistema de tratamento dos gases e respectivo monitoramento para garantir que as emissões atmosféricas estejam dentro de padrões aceitáveis, em consonância com a legislação ambiental vigente no Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

2.1 Introdução

A literatura aplicada sobre dormentes de ferrovias apresenta duas abordagens. A primeira apresenta sua importância, as características estruturais e físicas dos dormentes, especificações, formas de tratamento e diferentes materiais de fabricação.

A partir da especificação técnica para dormentes de ferrovia e entrevista com especialistas da via permanente da EFC é apresentada a análise das vantagens e desvantagens dos materiais utilizados na fabricação de dormentes, tais como madeira, aço, concreto, borracha e plástico rígido (PACHA, 2003; SALLES, 2009).

A segunda abordagem considera os possíveis reaproveitamentos das sucatas de dormentes. Os autores pesquisados (GENOVESE et. al., 2006; GOMES, 2014; HELSEN et. al., 1997; HERY, 2004; RENDEIRO, 2008; SALLES, 2009) apontam para o reaproveitamento energético como o mais adequado para madeiras tratadas com produtos químicos.

As recomendações e cuidados citados pela legislação internacional sobre madeira tratada são abordados neste trabalho.

2.2 Revisão da Literatura

Para contextualizar a problemática da destinação de dormentes de madeira descartados como não-íntegros (pedaços e lascas) ou íntegros (peças fora de especificação) é importante conhecer o papel destes na linha férrea, a origem da madeira e a forma de produção.

2.3 Características dos dormentes

O dormente é o elemento da superestrutura¹ de uma ferrovia que tem por função receber e distribuir ao lastro os esforços gerados pelo tráfego dos veículos

¹ A superestrutura compreende o lastro, dormentes, trilhos e acessórios. Visa manter a exata geometria entre os trilhos (afastamento, inclinação, nivelamento longitudinal e transversal), transmitir os esforços para a infraestrutura sem apresentar deformações e, com isto, garantir a segurança do transporte ferroviário.

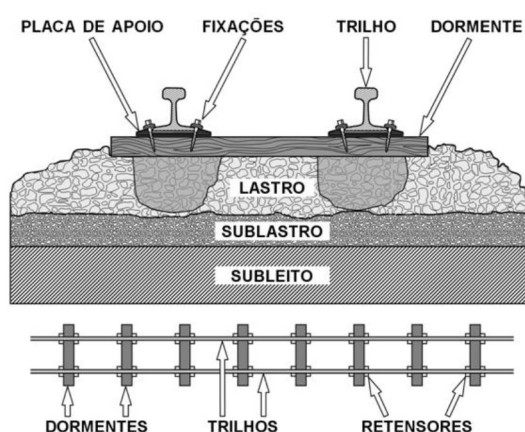
ferroviários. Serve de suporte aos trilhos, permite a sua fixação e mantém a bitola² invariável (PACHA, apud Brina 1982). O seu perfeito estado de conservação propicia a consistência da linha mantendo as condições de segurança do tráfego. A substituição adequada dos dormentes não-íntegros contribui significativamente para a excelência da via permanente.

Os dormentes de madeira têm vida útil de 20 anos (SALLES, 2009). Entretanto, condições operacionais e climáticas extremas podem acelerar a degradação dos mesmos. Na EFC algumas peças deterioram na metade deste tempo, o que requer aumento gradativo da substituição.

Dois fatores contribuem diretamente para a rápida degradação do dormente. Primeiro, a espécie da madeira, a qual agrega todas as características inerentes à matéria-prima, tais como idade da árvore, dureza, densidade e resistência ao fendilhamento. E a qualidade do dormente produzido no tocante à presença de defeitos, saturação das fibras (umidade) e retenção de substância preservativa.

Para cumprir sua função na superestrutura, os dormentes precisam suportar a ação mecânica provocada por esforços das composições, a implacável ação do intemperismo e seus agentes físicos, químicos e mecânicos (e.g. radiações solares, altas temperaturas, acidez do solo e lixiviação).

Figura 1: Elementos da via permanente.



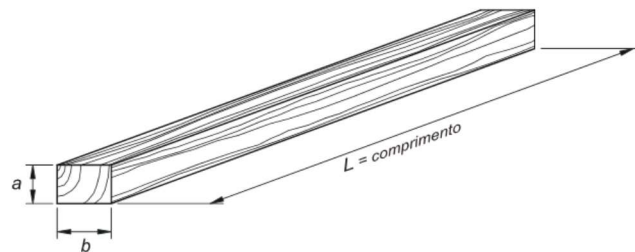
² Bitola é a distância invariável entre trilhos.

Os dormentes são travessas de conformação, geralmente de formato prismático, assentados transversalmente aos trilhos sobre o lastro e espaçados regularmente um do outro. No caso da EFC, a proporção é 1.851 peças/km e o peso é aproximadamente 125 kg.

Os dormentes podem ser serrados na forma de um paralelepípedo retangular (Figura 2) e suas dimensões são em função da bitola da linha férrea, em média.

Figura 2: Dimensões dos dormentes.

- EFC 2,80 x 0,24 x 0,17 m;
- EFVM 2,30 x 0,24 x 0,17 m;
- FCA 2,00 x 0,22 x 0,16 m.



a: altura
b: largura
L: comprimento

Os dormentes fabricados de madeira são os mais usados nas ferrovias do mundo todo, principalmente pelas qualidades naturais. São muito mais resistentes e elásticos do que os demais materiais e cumprem as funções requeridas para a ferrovia.

Figura 3 a, b: Dormentes de madeira da EFC.



(a) Superestrutura: lastro, dormentes, trilhos e acessórios.



(b) Dormentes em detalhe.

Os dormentes classificam-se em comuns e especiais. Os comuns são aplicados em toda a linha corrida e os especiais nos aparelhos de mudança de via (AMV), pontes e pontilhões, devido à necessidade de ter dimensões maiores do que os comuns.

Os primeiros dormentes de madeira usados no Brasil foram na Estrada de Ferro Madeira-Mamoré, em 1907 (VIDAL, 2015 *et al.*). Dava-se a preferência aos dormentes de essências nobres como Maçaranduba, Aroeira, Ipê e Jacarandá.

No início da construção da EFC, em 1985, utilizaram-se árvores nativas (madeiras nobres) da Floresta Amazônica tais como o Jatobá (*Hymenaea courbaril*) e o Angelim Vermelho (*Dinizia excelsia*) para a confecção dos dormentes. Atualmente, com a legislação ambiental mais restritiva e a escassez destas espécies florestais, tem sido aceito para produção de dormentes o eucalipto das espécies *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus paniculata* e *Eucalyptus tereticornis*.

Estas espécies são consideradas madeiras mais moles, e requerem tratamento à base de óleo ou produto químico a fim de preservar a estrutura morfológica da madeira contra a ação de microrganismos e insetos decompositores, visando garantir a resposta mecânica requerida para o transporte de cargas na ferrovia.

A substância química utilizada como preservativo de madeira é tóxica e, dependendo da concentração, influencia negativamente os indicadores ambientais de toxicidade humana, principalmente quando os dormentes são queimados em combustão incompleta (BECKER, 2001; ALVES, 2005; THIERFELDER, 2008; MAGALHÃES, 2012; MARCOTTE, 2014).

O produto preservativo deve ser aplicado em todas as faces do dormente durante o período de secagem até atingirem o teor de umidade adequado para tratamento (em torno do ponto de saturação das fibras). O produto preservativo deve conter fungicida e inseticida de ação temporária e não afetar a integridade do dormente.

O processo de secagem é o de livre secagem à sombra devendo ocorrer até que atinja o teor de umidade menor ou igual à umidade do ponto de saturação das fibras da madeira, para permitir adequada penetração e retenção do produto preservativo. Para a impregnação de produto preservativo hidrossolúvel, o teor médio de umidade deverá estar abaixo de 30%. A secagem em estufa não é permitida.

Figura 4: Secagem dos dormentes ao ar livre.



Do ponto de vista ambiental, o resíduo de madeira tratada com preservantes é considerado perigoso na Europa e restrito para uso doméstico nos EUA, devido à toxicidade conferida a microrganismos do solo e, dependendo da concentração, para a saúde de animais e humanos.

2.4 Tipos de produtos preservantes de madeira

São produtos químicos formulados a base de óleo ou sais químicos que tem a propriedade de garantir a integridade da peça de madeira contra a ação de microrganismos.

- **CCA (Arseniato de cobre cromado) – Tipo C:** formulado com produto de pureza acima de 95%, base anidra³, que possa fornecer cromo, cobre e arsênio. Na maior parte dos últimos 50 anos qualquer tipo de madeira tratada era preservada com CCA. Desde 2003, é aplicada para madeiras de uso residencial e comercial, como *decks* ou pisos foi restringida. O CCA continuou sendo aplicado na indústria pesada como: postes para eletrificação em zonas rurais, estruturas de transporte, fundações e marinas (End-of-Life Management of preserved wood: the case for reuse for energy – WWPI, 2010). O CCA deixa a madeira esverdeada, mas na EFC, que transporta primordialmente minério de ferro, a coloração dos dormentes se confunde com o tom marrom-ferrugem do minério.

³ Base anidra – os cálculos são feitos descontando-se o teor de água determinado pelo método Karl-Fischer. Este método quantifica tanto água de superfície do cristal como água de hidratação. US Pharmacopeia Depart. of Standards Development. Fonte: <https://br.groups.yahoo.com/neo/groups/ProducaoMedicamentos/conversations/topics/66569>

- **CCB (Borato de cobre cromado):** da mesma forma que o CCA, o CCB deve ter teor de pureza dos produtos acima de 95%, base anidra, que possam fornecer cromo, cobre e boro. Já foi usado como preservante de dormentes na EFC, mas atualmente está fora de uso. Abaixo seguem as tolerâncias máximas e mínimas para balanceamento dos preservativos CCA e CCB:

Tabela 1 a, b: Concentração volumétrica (kg.m^{-3}) dos componentes químicos dos preservativos de madeira CCA-Tipo C e CCB, respectivamente.

	MÍNIMA	MÁXIMA		MÍNIMA	MÁXIMA
Cobre (CuO)	17,0%	21,0%	Cobre (CuO)	24,7%	27,3%
Cromo (CrO₃)	44,5%	50,5%	Cromo (CrO₃)	60,3%	66,7%
Arsênio (As₂O₅)	30,0%	38,0%	Boro (B)	10,0%	11,0%

(a)

(b)

Fonte: Especificação Técnica para Dormentes de Eucalipto. Vale, 2009.

- **Creosoto:** O creosoto, que no final do século passado era definido como “um líquido oleoso de coloração amarelada, composto de uma mistura de fenóis destilados da madeira, com cheiro de fumaça e gosto de queimado, também chamado de óleo do alcatrão ou óleo da fumaça” (JANKOLWSKY, 1986 apud WEISS, 1916), é, atualmente, por definição, “um destilado do alcatrão de carvão mineral (hulha) obtido pela carbonização do carvão betuminoso à alta temperatura; com faixa de ebulição entre 125°C e 200°C, destinado à preservação de madeiras” (JANKOLWSKY, 1986 apud NESTLER, 1974).

Ensaio realizados com postes indicaram que a durabilidade média do creosoto vegetal foi de 60% em relação ao mineral, com retenções em torno de 100 kg.m^{-3} . Os ensaios demonstraram também que para retenções entre 96 kg.m^{-3} e 112 kg.m^{-3} , a durabilidade dos postes tratados com creosoto mineral foi 3,5 vezes maior do que a durabilidade das estacas (35 anos contra 10 anos).

Com uso de creosoto vegetal a vida média dos postes foi 6,8 vezes superior à das estacas (21 anos contra 3,1 anos). A utilização do creosoto vegetal para a preservação de madeiras foi interrompida no início do Século XX, ao mesmo tempo em que os esforços de pesquisa concentraram-se no creosoto mineral e nos preservativos hidrossolúveis (JANKOLWSKY, 1986 apud BLEW & KULP e WIRKA, 1954).

O creosoto mineral tem sido a substância mais empregada no tratamento de dormentes de madeira nas ferrovias do Brasil.

- **Pentaclorofenol:** O pentaclorofenol (PCF) é um sólido branco com odor fenólico, insolúvel em água, mas que dissolve rapidamente em óleos e gorduras. Normalmente é encontrado na forma de sal, principalmente o pentaclorofenato de sódio. O PCF contém dioxinas (por exemplo, tetra-, hexa- e octaclorodibenzo-*p*-dioxina) e hexaclorobenzeno como subprodutos da fabricação. É usado como preservante de madeira, desfolhante na cultura de algodão, herbicida pré-emergente e biocida em sistemas de água. Atualmente seu uso está proibido em muitos países, inclusive no Brasil (ANVISA, 2006 e CETESB, 2012).

É indispensável que toda a parte permeável (alburno) do dormente seja impregnada com produto preservativo de maneira uniforme à taxa de 10 kg.m^{-3} . Nas ferrovias da EFC e Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), utiliza-se o processo de célula cheia para impregnação com CCA em autoclave. Em 2012 e 2013 ainda foram comprados dormentes de carvalho dos Estados Unidos impregnados com Creosoto.

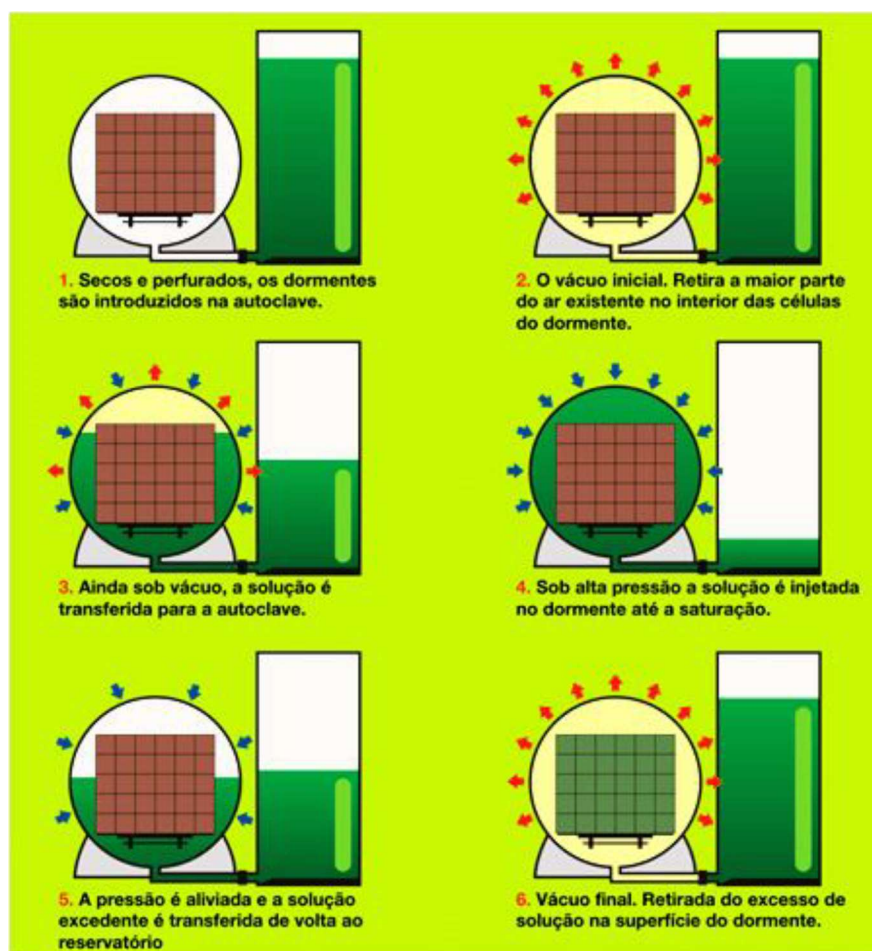
Figura 5 a-c: Etapas e ilustração do processo de tratamento sob pressão dos dormentes em autoclave para produção de vácuo, de 30 a 60 minutos.



(a) Dormentes para tratamento.



(b) Autoclave dimensões: H=2,50m x P=5,00m.



(c) Processo de retenção de preservativo em dormentes.

2.4.1 Padrões de qualidade do ar

Os níveis máximos toleráveis para os padrões de qualidade do ar foram estabelecidos através da Portaria Normativa nº 348 de 14/03/90 e da Resolução CONAMA nº 003 de 28/06/90 a fim de assegurar a saúde e o bem estar das pessoas no Brasil.

Os poluentes padronizados no Brasil são partículas totais em suspensão; fumaça; dióxido de enxofre (SO_2); partículas inaláveis; monóxido de carbono (CO); ozônio (O_3); e óxidos de nitrogênio (NO_x). A legislação brasileira estabeleceu padrão para lançamento desses poluentes para a atmosfera (ver Tabela 2) baseado nas condições ambientais do Estado de São Paulo, que possui o maior parque industrial do país.

Tabela 2 : Limites de emissão para poluentes na legislação brasileira.

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	PADRÃO PRIMÁRIO $\mu\text{g.m}^{-3}$	PADRÃO SECUNDÁRIO $\mu\text{g.m}^{-3}$
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas ¹	240	150
	MGA ²	80	60
Partículas inaláveis (PI)	24 horas ¹	150	150
	MAA ³	50	50
Fumaça	24 horas ¹	150	100
	MAA ³	60	40
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas ¹	365	100
	MAA ³	80	40
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora ¹	320	190
	MAA ³	100	100
Monóxido de carbono (CO)	1 hora ¹	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora ¹	160	160

1. Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano

2. MGA - média geométrica anual

3. MAA - média aritmética anual

Fonte: CETESB "Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2002".

A Resolução nº 382 CONAMA de 26/12/2006 estabelece os limites máximos de emissão de poluentes do ar para fontes fixas, cujo Anexo IV trata especificamente de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados de madeira. A Res. nº 264/99 CONAMA dispõe sobre o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos; finalmente, a Res. nº 316/02 CONAMA dispõe sobre o funcionamento de sistema de tratamento térmico de resíduos.

Algumas medidas indiretas podem ser adotadas para reduzir ou eliminar a poluição do ar, tais como substituição de matérias-primas e reagentes; substituição de combustíveis; eliminação da adição de chumbo tetraetila na gasolina; alteração de processo ou operação: utilização de operações contínuas automáticas; uso de sistemas completamente fechados; condensação e reutilização de vapores (indústria petrolífera), e processos úmidos ao invés de secos.

Também é possível reduzir a quantidade de poluentes de um processo com medidas como operar equipamentos dentro da capacidade nominal; cumprimento do plano de manutenção; armazenamento adequado de materiais pulverulentos.

O controle também pode ser feito com a adoção de medidas diretas. Concentração dos poluentes na fonte para tratamento efetivo antes do lançamento na atmosfera; retenção do poluente após geração através de equipamentos de controle de poluição do ar.

Os equipamentos de controle são classificados em função do estado físico do poluente e do tipo de tratamento a úmido ou a seco.

São equipamentos de controle a seco de material particulado coletores mecânicos inerciais e gravitacionais; coletores mecânicos centrífugos (ciclones); precipitadores dinâmicos secos; filtro de tecido ou filtro-manga⁴; e precipitador eletrostático⁵ seco.

Os equipamentos de controle a úmido são torre de spray (pulverizadores); lavador ciclônico; lavador *Venturi*; lavadores de leito móvel.

Os equipamentos de controle para gases e vapores são os adsorventes; absorventes; incineração de gás com chama direta; incineradores de gás catalíticos e tratamento biológico.

O ar sempre se movimenta da zona de maior pressão para a zona de menor pressão, portanto, um projeto correto de diferenciais de pressão no sistema é de fundamental importância para o seu funcionamento⁶.

Neste estudo de caso, dada a ausência de uma legislação ambiental mais específica para queima de dormentes, utilizou-se a Resolução nº 316/2002 CONAMA como método mais rigoroso, uma vez que estabelece limites de poluentes no ar para queima de resíduos sólidos em geral (perigosos ou não) em fonte fixa.

⁴ Filtro de manga: Dispositivo de tratamento de emissões que filtra as partículas de impurezas presentes no ar carregado, restando-as nos poros dos fios e na superfície do filtro criando uma barreira que também atua como meio filtrante, mas com o tempo precisa ser mantida limpa.

⁵ Precipitador eletrostático: ou filtro de ar eletrostático é um dispositivo que, por processo de ionização, deixa as partículas de impurezas do ar carregadas eletricamente, sendo as mesmas atraídas pelas placas laterais do equipamento, neutralizadas e deslocadas para um funil. Daí seguem para a área de descarte, onde recebem o tratamento adequado.

⁶ Ver: http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3672-controle-de-poluente-atmosfericos.

2.5 Legislação internacional sobre madeira tratada com preservativo

A legislação internacional se concentra em madeira tratada com CCA por representar o pesticida de mais amplo uso na Europa. Segundo GOMES (2006, p. 01): “A madeira preservada, quando atinge o fim da sua vida útil, passou a ser classificada como resíduo perigoso, verificando-se assim, a necessidade de encontrar uma solução ambientalmente adequada para a sua gestão”.

A hierarquia de gestão de resíduos preconizada pela União Europeia (UE) promove, em primeiro lugar, a prevenção ou redução da produção de resíduos e da sua toxicidade, seguida da reutilização e reciclagem dos mesmos, da valorização energética e, por último, a sua deposição em aterro (Diretiva 2003/2/CE, União Europeia, 2003).

A gestão de resíduos perigosos através das operações de gestão habituais, como a valorização energética e a deposição em aterro tem se tornado dispendiosa devido a necessidade de cumprir requisitos legais cada vez mais restritivos.

No caso dos resíduos de madeira preservada, o desenvolvimento de alternativa de gestão está limitado pela grande dispersão dos resíduos, pela ausência de meios apropriados para a sua triagem, e pela qualidade do material recolhido.

A inexistência de um sistema de recolha, triagem e encaminhamento dos resíduos de madeira preservada aos galpões de armazenamento para posterior destinação continuam a ser a principal barreira para seu reaproveitamento e para redução do descarte desses resíduos em aterros, tal como definido na Diretiva Aterros (Diretiva 1999/31/CE).

Apesar destes obstáculos, tem-se verificado um crescimento progressivo da reciclagem e o desenvolvimento de técnicas de remediação para descontaminação através da extração dos preservantes da madeira.

Tabela 3: Destinação dos resíduos de madeira preservada, países selecionados.

PAÍS	TIPO DE TRATAMENTO PARA MADEIRAS COM PRESERVATIVO				
	Valorização energética	Reutilização	Incineração	Aterro	Obs:
FRANÇA	X				---
HOLANDA	X	X		X	---
SUÉCIA	X		X	X	---
CANADÁ		X	X	X	---
ITÁLIA		X		X	---
JAPÃO			X		regulamentada
ALEMANHA				X	---
PORTUGAL		X	X	X	---
SUIÇA			X		regulamentada
EUA			X	X	como resíduo perigoso

Fonte: SALLES, 2009 adaptado de OECD, 2000.

A preocupação com resíduos de madeira preservada têm buscado métodos eficazes de gestão para o tratamento e a destinação final dos mesmos, inclusive apostando no seu reaproveitamento industrial. Por outro lado, a legislação ambiental tem trilhado o rumo da coleta seletiva para desviar resíduos recicláveis e biodegradáveis da destinação final em aterros. Os resíduos perigosos podem ser valorizados energeticamente em instalações que possuam meios adequados de tratamento das emissões gasosas e das escórias e cinzas resultantes.

Na Europa, a madeira preservada é considerada resíduo perigoso desde 2002 (HERY, 2005). Na América do Norte, em princípio, o resíduo de madeira tratada não é considerado resíduo perigoso pela legislação federal. Os resíduos de madeira tratada considerados perigosos devem obedecer a requerimentos aplicáveis do Health and Safety Code (HSC) da US EPA. Para ser classificado como resíduo perigoso é necessário que o resultado obtido em teste de toxicidade por lixiviação confirme tal fato.

A disposição final da madeira tratada deve seguir uma série de recomendações compiladas do Western Wood Preservers Institute (2005, p. 02), tais como não queimar madeira tratada a céu aberto; não descartar o material sobre terra nua; não usar como substrato após moagem em jardins ou canteiros; alguns tipos de madeira tratada podem ser usados como combustível em plantas de cogeração autorizadas para esta finalidade; resíduos podem ser enviados para aterros devidamente autorizados; usuários domésticos podem enviar para aterros, estações de transferência ou para o Centro de Coleta de Resíduos Domésticos Perigosos (WWPI, 2005; HELSEN, 1997; MAGALHÃES, 2012).

No Brasil não há legislação específica para destinação de dormentes de madeira e, quando estes são descartados como resíduos, lança-se mão das normas técnicas, como as NBR 10004, 10005, 10006 e 10007 (ABNT, 2004) para classificação como resíduos perigosos ou não-perigosos.

No caso específico dos dormentes da EFC foram realizados ensaios que apontam o dormente tratado com Creosoto como não-perigoso e não-inerte. Com relação aos tratados com CCA somente uma das amostras foi classificada como Classe I – perigoso, devido a concentração de arsênio ter sido de 1,5 mg/L, superior ao valor máximo permitido estabelecido pelo Anexo F da NBR 10004:2004 no extrato lixiviado, que é de 1,0 mg/L.

Além da classificação pela norma ABNT, foi realizado em 2012 o ensaio ecotoxicológico, onde observou-se susceptibilidade de organismos aquáticos e terrestres. Os resultados apontaram ecotoxicidade aguda para *V. fischeri*; *D. similis*; *D. rerio* e *L. sativa* e, ecotoxicidade crônica para *C. dubia* e *P. subcapitata* frente ao agente poluidor, o que classificaria ambos os tipos de dormente como tóxicos.

Tabela 4 a,b: Classificação dos resíduos de dormentes tratados com creosoto e CCA segundo a NBR 10004:2004, bem como os respectivos parâmetros que estiveram em desacordo.

AMOSTRAS DORMENTES	MATRIZ ANALISADA	NBR 10004: 2004	
		PARÂMETROS EM NÃO CONFORMIDADE	CLASSIFICAÇÃO
N.I. Creosoto	Massa bruta	V.A.	Classe II A
	Lixiviado	V.A.	
	Solubilizado	As, Ba, Cr, Fn, Fe, Mn, Srf	
I. Creosoto	Massa bruta	V.A.	Classe II A
	Lixiviado	V.A.	
	Solubilizado	Al, Ba, Cr, Fn, Fe, Mn, Srf	
CCA	Massa bruta	V.A.	Classe I
	Lixiviado	As	
	Solubilizado	As, Ba, Cr, Fn, Fe, Mn, Srf	

Legenda: N.I.- dormente não-íntegro tratado com creosoto; I.- dormente íntegro tratado com creosoto; CCA – dormente tratado com arseniato de cobre cromado; Al – alumínio; As - arsênio; Ba – bário; Cr – Cromo; Fn – índice de fenóis; Fe – ferro; Mn – manganês; Srf – surfactantes; V.A.- valores aceitáveis de acordo com os limites máximos estabelecidos pela NBR 10004:2004.

(a)

AMOSTRAS DORMENTES	ORGANISMO-TESTE					
	<i>V. fischeri</i>	<i>P. subcapitata</i>	<i>C. dubia</i>	<i>D. similis</i>	<i>D. rerio</i>	<i>L. sativa</i>
N.I. Creosoto	T	T	T	T	T	T
I. Creosoto	T	T	T	T	T	T

Legenda: N.I.- dormente não-íntegro tratado com creosoto; I.- dormente íntegro tratado com creosoto; T – tóxico; NT – não-tóxico.

(b)

2.6 Dioxinas e furanos e os dormentes de madeira tratada

A partir dos autores (HERY, 2005; GULYURTLU, 2007; RENDEIRO, 2008; BOLIN e SMITH, 2011), os resíduos de madeira em geral, incluindo os tratados com preservativo, têm no tratamento térmico uma aplicação adequada.

Através de técnicas de pirólise, gaseificação ou fermentação é possível reaproveitar a energia térmica destes resíduos, gerando biogás ou vapor quente para a cogeração de energia.

Segundo BOLIN e SMITH (2011), a utilização de madeira tratada após sua vida útil na combustão controlada pode trazer potenciais benefícios, tais como compensar o uso de 32 milhões de barris de petróleo/ano, equivalente ao total de combustível fóssil usado nos EUA por aproximadamente 646.000 pessoas.

Também evita que peças de dormentes sejam destinadas para aterros industriais, onde a decomposição por bactérias anaeróbias produz o metano (CH_4). A liberação do metano para a atmosfera tem um potencial calorífico 21 vezes maior do que o gás carbônico (CO_2), e portanto é um dos principais gases do efeito estufa.

Durante a queima de madeira tratada, o cloro contido no creosoto é o responsável pelo aparecimento de poluentes orgânicos persistentes (POP) que devem ser evitados. O surgimento dos POP está mais voltado para a queima da madeira a céu aberto com baixo ou inexistente controle de combustão.

As condições favoráveis para um ótimo processo de combustão são difíceis de serem produzidas uniformemente em todo o volume de uma câmara de combustão. Existem diferentes razões ar/combustível variando desde muito baixa até muito alta, mesmo sendo a razão ar/combustível total próxima da estequiometria⁷.

Essa variação faz com que a composição dos gases na saída da chaminé de uma caldeira contenha além de CO_2 e H_2O , também CO , NO_x , C_xH_y e particulados. Estas quatro últimas espécies são poluentes.

⁷ A estequiometria baseia-se na lei da conservação das massas e na lei das proporções definidas (ou lei da composição constante). Em geral, as reações químicas combinam proporções definidas de compostos químicos. Já que a matéria não pode ser criada ou destruída, a quantia de cada elemento deve ser a mesma antes, durante e após a reação. Por exemplo, a quantia de um elemento A no reagente deve ser igual à quantia do mesmo elemento no produto.

O particulado é o responsável pela formação de fumaça preta na exaustão. A caldeira também produz cinzas, que são resíduos sólidos da combustão incompleta e nas quais podem aparecer traços de metais como K, Mg, Na, Ca, Si, Fe e P.

Em caldeiras industriais, a eficiência nominal varia de 70% a 85% (RENDEIRO, 2008).

O TREATED WOOD COUNCIL (2012) afirmou que os principais fatores que fazem variar a concentração dos PAH⁸ (POPs em potencial) são as condições de combustão e os equipamentos de controle de emissões e que os resíduos de madeira tratada com creosoto podem ser usados como combustível para reaproveitamento da energia nele contida através da queima em uma planta propriamente desenhada e licenciada para essa utilidade.

A formação de dioxinas e furanos (PCDD e PCDF) é resultante da combustão incompleta e da ligação com o cloro contido no combustível (madeira). Estes compostos se formam nas zonas de pós-combustão ou em sistemas de controle da poluição do ar a temperaturas na faixa de 200°C a 650°C, sendo a faixa de maior formação entre 200°C e 450°C.

Alguns metais pesados como cobre, ferro, zinco, cromo, alumínio e manganês agem como catalisadores (ASSUNÇÃO, 2014).

Segundo a US EPA somente uma alta eficiência na combustão é capaz de prevenir a formação de PCDD e PCDF. Isto requer a combinação de altas temperaturas, oxigênio disponível, combustível de alto valor calorífico, longo tempo de residência e equipamentos de controle da poluição com eficiência comprovada e monitorada.

As melhores técnicas disponíveis, associadas às melhores práticas ambientais (BAT/BEP) indicam que a uréia pode ser usada para inibir a presença do cloro liberado pelo creosoto, impedindo a formação de PCDD e PCDF (ASSUNÇÃO, 2014). A Tabela 5 apresenta as dez maiores fontes de emissão de PCDD e PCDF.

⁸ Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) são famílias de compostos caracterizadas por possuírem dois ou mais anéis aromáticos condensados. Estas substâncias, bem como seus derivados nitrados e oxigenados, tem ampla distribuição e são encontrados como constituintes de misturas complexas em todos os compartimentos ambientais.

Tabela 5: Participação das dez maiores fontes de emissão de dioxinas e furanos, pela toxicidade equivalente (g TEQ/ano), em 2008 (%).

Ordem	Fonte	g TEQ/ano	%
1	Usina de ferro e aço	129,8	23,8
2	Produção de alumínio	123,7	22,6
3	Disposição de esgoto e ETE	102,7	18,8
4	Chorume de aterros	65,3	12
5	Incineração de resíduos sólidos perigosos	20,9	3,8
6	Sinterização do minério de ferro	15,7	2,9
7	Produção de cobre	15,1	2,8
8	Produção de celulose e papel	14,4	2,6
9	Termelétricas à biomassa	10,4	1,9
10	Incineração resíduos sólidos municipais	9,1	1,7

Fonte: Inventário de fontes de emissão de PCDD e PCDF, 2008. Compilado de ASSUNÇÃO, 2014.

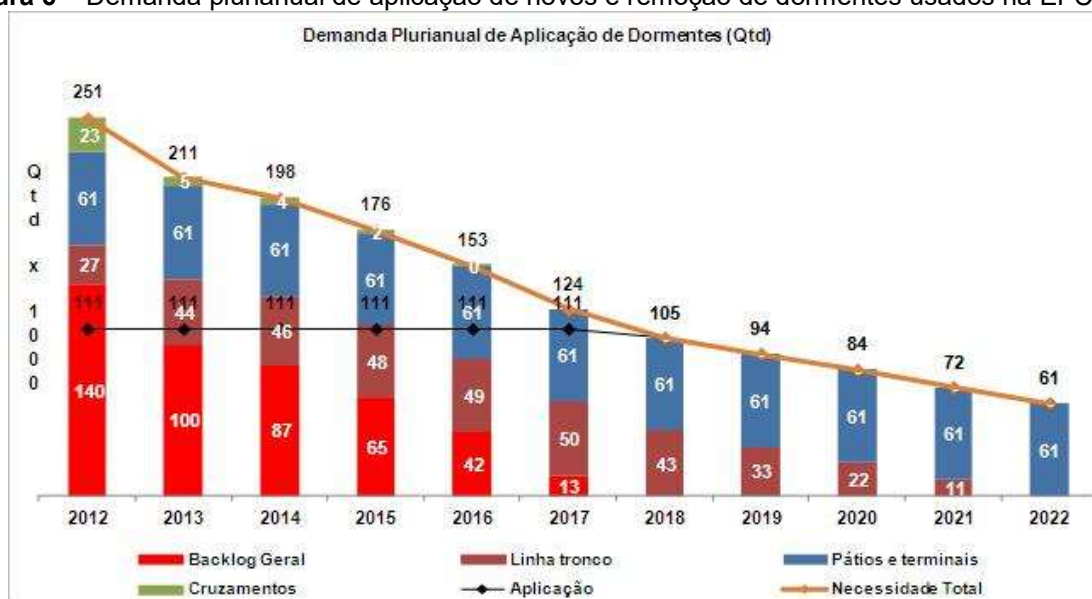
De acordo com a literatura pesquisada (ASSUNÇÃO e PESQUERO, 1999; HERY, 2005; HELSEN, 2007; GULYURTLU, 2007; RENDEIRO, 2008) a destinação adequada de madeira tratada com Creosoto ou CCA aponta o tratamento térmico, sob condições controladas, como a principal opção para reduzir ou até eliminar metais pesados, dioxinas e furanos para a atmosfera.

A fim de evitar a formação de dioxinas e furanos é recomendado manter temperaturas acima de 900°C, com tempos de residência de 2 segundos; monóxido de carbono (CO) na faixa de 40-50 ppm; excesso de oxigênio em torno de 3% base seca na chaminé; resfriamento rápido dos gases de combustão (brusco até 80°C, sem etapas intermediárias, evitando-se tempo de residência nas faixas entre 275-375°C e 550-650°C); presença de metais divalentes nas cinzas (Ni, Cu) agindo como catalisadores; e evitar o acúmulo de cinzas nas zonas de baixa temperatura.

De acordo com o planejamento da obra de duplicação e renovação da EFC, está prevista a troca de cerca de 770 mil dormentes de madeira por novos dormentes de concreto, com término previsto para 2018. Ver Figura 6.

A mudança de material na confecção dos dormentes da EFC configura uma decisão estratégica rumo à sustentabilidade, pois evita o corte de árvores e a eliminação de gases do efeito estufa.

Entretanto, ainda haverá continuidade na aquisição de dormentes de madeira tratada devido a necessidade de aplicação em trechos com mudança de via (AMV), pontes e pontilhões.

Figura 6 – Demanda plurianual de aplicação de novos e remoção de dormentes usados na EFC.

Fonte: Dados fornecidos de relatórios internos. Vale, 2013.

Quanto ao aspecto econômico, a biomassa é uma das maiores fontes disponíveis no mundo. Através de processos de conversão termoquímicos (gaseificação, pirólise e combustão direta) e biológicos, aliados ao uso de turbinas à vapor, pode-se obter o reaproveitamento energético da biomassa avaliando parâmetros econômicos tais como custo da matéria-prima e valor de comercialização da energia elétrica (SALES, 2006; QUÉNO, 2009; PRETO e MORTOZA, 2010).

A energia produzida através de biomassa representa 11% do consumo mundial (MACEDO, 2001) e tende a ampliar essa parcela devido ao preço das *commodities* de combustíveis fósseis (não renováveis) usados para gerar energia.

No Brasil, a escassez de água nos reservatórios das hidrelétricas tem feito com que o governo federal adote medidas para incentivar o surgimento de novas unidades termelétricas à biomassa, que já respondem por 7,6% da matriz energética brasileira (Balanço Energético Nacional, Ministério das Minas e Energia, 2014).

Algumas vantagens da utilização de biomassa para a produção de energia elétrica são baixas emissões de gases do efeito estufa, redução das emissões de óxidos de enxofre e nitrogênio, possibilidade de produzir e distribuir energia em menor escala para comunidades não atendidas pelo sistema de distribuição existente e geração de emprego na região (RENDEIRO, 2008).

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia (PROINFA) e o mercado de crédito de carbono tornaram o uso de biomassa de cana-de-açúcar

viável técnica e economicamente. A biomassa passou a ser um atrativo componente da matriz energética brasileira (DANTAS FILHO, 2009).

A termelétrica UTE Cosima foi dimensionada para a potência de 5 MW, o que corresponde a uma produção nominal de 40.800 MWh/ano, considerando 7% de coeficiente de parada para manutenção (RENDEIRO, 2008). O preço médio para venda de energia à biomassa está sendo cotado nos leilões de energia elétrica a R\$209,00/MWh (ANEEL, 2014), o que resulta numa receita anual total de 8,5 milhões de reais. O consumo de biomassa na UTE Cosima é de 70.080 toneladas/ano ao custo variável de R\$21,00/t, que envolve as etapas de corte, carregamento e transporte. O custo total estimado da biomassa (cavaco de eucalipto) é de 1,47 milhões de reais/ano. O valor da tonelada de sucata de dormente tem variado de R\$0,25 a R\$1,50 por tonelada. Entretanto, a disponibilidade de dormentes é de 16% do total de biomassa requerida para o consumo anual.

2.7 Materiais alternativos para dormentes⁹

Diante do rigor da legislação ambiental vigente e pressionado pelo comércio mundial que tem valorizado produtos sustentáveis como um dos fatores determinantes de aceitação no mercado, a engenharia das ferrovias têm buscado matérias-primas alternativas para a fabricação dos dormentes. Alguns destes materiais são :

Plástico rígido: tecnologia desenvolvida na Europa, EUA e Japão que vem sendo utilizada em substituição aos dormentes de madeira. Tais dormentes são fabricados a partir de compósitos poliméricos que utilizam combinações de diversos tipos de plásticos recicláveis e outros materiais, tais como resinas sintéticas termoplásticas, fibra de vidro e polietileno.

Dormentes de plástico rígido foram testados na EFC e na EFVM desde 2006 e foram aprovados para uso em AMV da EFVM, mas não foram aprovados para a condição de carga encontrada na EFC, de acordo com metodologia de avaliação para dormentes polímeros realizada pela UNICAMP. Contudo, a tecnologia está disponível e já é utilizada em metrovias e ferrovias da Europa e América do Norte.

⁹ Para uma breve síntese, ver Tabela 6.

Borracha: proveniente de pneus de caminhão, os dormentes confeccionados com este material têm peso entre 90 a 110 kg. Este material recebeu aprovação do corpo técnico especialista para uso na EFC, mas a disponibilidade da matéria-prima em larga escala inviabiliza sua fabricação e oferta para reposição.

Concreto Protendido: com investimento alto, elevado critério de segurança e peso médio de 425 kg, esta tecnologia de fabricação de dormentes foi testada e aprovada pela engenharia da Vale para uso e aplicação na EFC.

Requer equipamento específico e de grande porte para aplicação na linha férrea. Atualmente esta tecnologia vem sendo empregada em toda a EFC, com fabricação em larga escala em Bacabeiras, Maranhão.

Figura 7 – Dormentes de concreto.



A escolha por este material na EFC está revestida das seguintes vantagens: i) vida útil estimada de 40 anos; ii) peso elevado de 425 kg proporciona mais elasticidade a via; iii) resistência aos agentes atmosféricos; iv) características físicas e mecânicas uniformes; v) redução, a longo prazo, dos custos de manutenção da via e eliminação da contaminação do solo por produtos preservativos presentes nos dormentes de madeira.

Contudo, algumas desvantagens também estão associadas: i) tendência à ruptura sob a ação de cargas bruscas, principalmente na região de apoio do trilho e nas sedes das fixações. Em tais condições ii) surgem fissuras e trincas seguidas de desintegração parcial ou total; iii) pequena resistência à fadiga; iv) necessidade de processo de fabricação apurado; v) dificuldade de transporte e manuseio devido ao

peso elevado; vi) dificuldade de fixação eficaz; vii) necessidade de linha com alto padrão de lastro e nivelamento; viii) perda total em caso de acidente (dados fornecidos por especificações internas. Vale, 2013).

Aço – os dormentes de aço são perfis laminados em forma de “U” invertido e dobrados nas extremidades (ver Figura 8). As ombreiras são soldadas para permitir a fixação dos trilhos.

São vantagens dos dormentes de aço: i) material perfeitamente homogêneo; ii) longa vida útil; iii) boa resistência aos esforços transversais; iv) facilidade em destinação para o mercado de sucatas metálicas ferrosas. Há desvantagens como i) maior dificuldade para socaria e nivelamento; ii) falta de isolamento elétrico em linhas sinalizadas; iii) necessidade de linha com alto padrão de lastro e isenta de impactos na superfície de rolamento (dados fornecidos por especificações internas. Vale, 2012).

Figura 8 – Dormentes de aço



Fonte: Curso Formação de Engenheiro Ferroviário, Vale, 2008, p 100.

Tabela 6: Características dos materiais para a fabricação de dormentes de ferrovia.

Material	madeira	aço	concreto	plástico
Característica				
propriedades mecânicas	elevado módulo de elasticidade e grande flexibilidade	média estabilidade	alta durabilidade e baixa elasticidade	alta leveza
custo de aquisição	baixo	alto	alto	alto
durabilidade	média (~15 anos)	alta (~50 anos)	alta	alta
reutilização	sim	sim	não	sim
necessidade de tratamento químico para proteção	sim	não	não	não
resistencia a descarrilamentos	alta	alta	baixa	baixa

Fonte : Pacha (2003), Revista Ferroviária (2001 e 2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Introdução

O objetivo deste experimento científico é testar se o coprocessamento de dormentes da EFC, tratados com preservantes de madeira, é uma alternativa sustentável, do ponto de vista ambiental e econômico, para a cogeração de energia elétrica a partir da queima coprocessada com biomassa florestal.

Como método científico utilizado neste experimento, optou-se por avaliar o resultado do teste de queima dos dormentes à luz do que preconiza a Resolução CONAMA nº 316, de 29/10/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que descreve o método aceitável a ser utilizado para a incineração de resíduos e respectiva aferição das emissões gasosas, bem como das cinzas residuais, denominado Estudo de Viabilidade de Queima (EVQ, descrito em Resolução CONAMA nº 316/2002).

O método define os parâmetros e o tempo mínimo necessário de permanência dos resíduos na câmara de combustão para medição dos gases expelidos na saída da chaminé durante a incineração dos resíduos e compara o resultado com o limite máximo estabelecido pela legislação ambiental vigente.

Entretanto, este método é usualmente aplicável para resíduos sólidos urbanos, que têm a incineração como tratamento térmico objetivando a redução do volume e a transformação dos mesmos em cinzas, às quais terão sua destinação final direcionada para aterro adequado.

O método foi utilizado para aferir o resultado do teste de queima de um resíduo específico (dormentes de madeira) misturado à biomassa florestal (ambos de mesma natureza), o que tecnicamente é considerado um coprocessamento. Esta resolução é o mais rigoroso método de avaliação sobre tratamento térmico de resíduos existente na legislação brasileira.

Considerando que a geração de energia elétrica é conseguida através da produção de calor a partir da queima de biomassa florestal na UTE; que a quantidade anual de dormentes de madeira descartados pela EFC responde somente por cerca de 12% do total anual de matéria-prima (biomassa) necessária; e que, nas condições do teste, só houve disponibilidade logística para entregar 1/5 da quantidade diária necessária para a produção nominal de energia elétrica, os dormentes serão inseridos no processo como combustível adicional, misturados à biomassa.

Uma limitação encontrada na experiência é que não há como identificar e separar dormentes tratados com Creosoto dos tratados com CCA após descarte como resíduo, pois a área operacional responsável dispõe apenas de verificação visual para fazer esta distinção. Assim, assume-se que todos os dormentes, independente do tratamento preservativo da madeira, serão triturados e coprocessados de forma homogênea para uso como combustível na caldeira da UTE Cosima em Santa Inês, Maranhão.

Este capítulo tem três seções. A seção 3.2 sistematiza o método utilizado no experimento, enquanto que as seções 3.3 e 3.4 apresentam os procedimentos para realização do teste e métodos de amostragem.

3.2 Metodologia científica

O método científico foi baseado no teste de queima com dormentes e biomassa florestal e foi dividido em três passos. O primeiro foi a realização do Teste em Branco (somente com biomassa de origem florestal comumente usada na UTE para produzir energia elétrica) e coleta das cinzas resultantes.

O segundo passo foi a realização do Teste de Queima com dormentes residuais de madeira da EFC misturados à biomassa florestal na proporção de 1/5 e coleta das cinzas. Os parâmetros analisados nos testes (branco e de queima) estão descritos na Tabela 13, seção 4.2, e estão em consonância com a legislação ambiental brasileira sobre emissões atmosféricas de fontes potencialmente poluidoras (Resolução CONAMA nº 316/2002).

O terceiro passo foi a análise qualitativa das cinzas, tanto do teste em branco, quanto do teste de queima com dormentes, para classificá-las como resíduo perigoso ou não-perigoso, de acordo com a Norma Técnica Brasileira para caracterização de resíduos (NBR 10.004; 10.006 e 10.007:2004).

Dentre os métodos de amostragem apontados pela referida resolução CONAMA, foram utilizados métodos para análise das emissões atmosféricas preconizados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e pela Agência de Proteção Ambiental Americana (US EPA), a partir do monitoramento dos gases na chaminé da UTE. Abaixo, segue a descrição do processo da UTE e os procedimentos aplicados neste estudo de caso.

3.2.1 Descrição do processo de geração de energia da UTE

A usina geradora de energia elétrica (UTE) opera com ciclo *Rankine*¹⁰ convencional, através da utilização de uma caldeira alimentada à biomassa e carvão vegetal que gera e reaquece o vapor. A planta está equipada com tratadores de gases à jusante da caldeira, do tipo multiciclone (Figura 9), para redução das emissões de material particulado.

O conjunto gerador de gás quente é formado por um queimador de biomassa de grelha rotativa, caldeira e exaustão. Todo o sistema foi projetado e implantado pela ICAVI – Ind. de Caldeiras Vale do Itajaí, inclusive com painéis eletrônicos de monitoramento das condições e parâmetros operacionais do sistema.

A unidade geradora de energia, com potência elétrica de 5 megawatts, tem capacidade nominal de geração de energia na ordem de 3 gigawatts por mês e é composta por: uma caldeira à biomassa que gera 28 toneladas por hora de vapor e 90% de eficiência térmica; uma turbina e um gerador. Ver dados técnicos da caldeira na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados da Caldeira

Modelo	Aquatubular com vapor superaquecido
Capacidade de produção de vapor (t/h)	28
Temperatura máxima de projeto (°C)	267,3
Pressão de projeto (kgf/cm ²)	54
Pressão de operação (kgf/cm ²)	45
Quantidade de combustível na queima (t/h)	30

Fonte: Dados fornecidos por UTE Cosima do fabricante da caldeira ICAVI, 2013.

¹⁰ Seguem breves definições de termos técnicos utilizados nesta seção: Ciclo *Rankine* é um modelo usado para avaliar motores a vapor que convertem calor em trabalho mecânico e são largamente usados no mundo inteiro para a geração de energia elétrica; *Blend* é uma mistura homogênea geralmente precedida de trituração para diminuição das partes e homogeneização da mistura.

Figura 9 a, b - Chaminé da caldeira e equipamento de controle “Multiciclone”.



(a) Chaminé H=30 metros. (b) multiciclone H=10 metros.

A alimentação do *blend* de madeira é feita de forma automática pelo silo de acordo com a necessidade. O *blend* é queimado na fornalha da caldeira e os gases gerados no processo de combustão são encaminhados para o recuperador de calor. O recuperador de calor é composto por um trocador de calor que recupera a energia e aquece o ar primário.

Após este processo, o efluente gasoso passa por um multiciclone para o abatimento do material particulado. O material particulado coletado é encaminhado, por gravidade, para caçambas instaladas na parte inferior do multiciclone. Após eliminação do material particulado, o efluente gasoso é encaminhado para a chaminé. Ver dados técnicos do gerador de energia e da turbina na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados técnicos dos equipamentos geradores de energia.

GERADOR						
Modelo	Potência (KVA)	Nº de polos	Rotações por minuto (RPM)	Frequência (Hz)	Tensão (V)	Corrente (A)
SPW 710	6.250	4	1.800	60	13.800	261,5
TURBINA						
Pressão entrada do vapor (Bar)	Temperatura de entrada do vapor (°C)	Vazão de vapor na entrada (t/h)	Rotações por minuto (RPM)	Consumo específico de vapor (kg/kWh)		
43	420	25	6.000	5		

Fonte: Dados fornecidos pela UTE Cosima, 2013.

3.2.2 Planejamento dos testes

Antes do início dos trabalhos foi realizada uma reunião “*in loco*” na unidade termelétrica Cosima do Grupo Queiroz Galvão Siderurgia (QGS) em 10 de setembro de 2013, onde apresentou-se o planejamento detalhado dos testes e uma breve

descrição dos tipos de amostras, dos métodos de amostragem e dos equipamentos empregados.

3.2.3 Descritivo do teste de queima

O teste de queima seguiu estritamente as normas vigentes com o objetivo de quantificar as emissões geradas durante a queima de biomassa e dormentes na caldeira para posterior avaliação da sua viabilidade. O teste de queima foi dividido em três atividades, a saber: preparação dos testes, monitoramento e relatório.

3.2.4 Avaliação das emissões gasosas na chaminé da UTE.

As amostragens de efluentes gasosos foram realizadas para ambos os testes em branco e com o *blend* contendo madeira de dormentes. Todas as coletas foram realizadas em triplicata, como recomenda o Artigo 35 da Resolução CONAMA 316/2002.

Os parâmetros monitorados fazem parte da listagem de poluentes obrigatórios para a realização de testes de queima, descrita no artigo 38 da mesma resolução. As coletas de óxidos de nitrogênio foram compostas. Abaixo segue o escopo de medições realizadas durante o teste de queima.

3.2.4.1 Teste em Branco

Para a preparação dos testes, primeiramente foi necessário preparar a composição do *blend* de biomassa e de dormentes para a queima na caldeira. Foram realizados os testes durante a operação da UTE somente com biomassa de casca de eucalipto.

Dependendo da umidade, a operação da UTE mistura $\frac{1}{4}$ de carvão vegetal à biomassa. Isto não foi necessário durante o teste em branco.

3.2.4.2 Teste com dormentes e análise das cinzas

Foram realizados testes com queima de dormentes sem a utilização de carvão vegetal na proporção de 1/5 de dormentes picados. Ver amostragens para ambos os testes na Tabela 9.

Tabela 9 – Composição das amostragens dos testes “em Branco” e com Dormentes.

Parâmetros	Nº amostras
Dioxinas e furanos (PCDD e PCDF); principais compostos orgânicos persistentes (PCOP); e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH)	3
Material particulado (MP)	3
Óxidos de enxofre (SO _x)	3
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	9
Metais (classe I, II e III)	3
Cianetos	3
Mercúrio (Hg)	3
Ácido clorídrico (HCl); cloro (Cl ₂); ácido fluorídrico (HF)	3
Compostos orgânicos voláteis (VOC): benzeno, tolueno e xileno (BTX)	3
Oxigênio (O ₂); gás carbônico (CO ₂); e excesso de ar	Monitor Eletrônico Tempest

As cinzas foram coletadas na grelha da caldeira e na saída do multiciclone após cada um dos testes. As análises foram realizadas seguindo as normas NBR 10.004; 10.006; 10.007:2004 ABNT com análise realizada pelo Laboratório Analytical Technology, visando classificar as cinzas em perigosa ou não-perigosa.

3.2.5 Relatório final

Foi elaborado um relatório técnico ao final do teste de queima contendo objetivos e metodologia; descrição dos pontos de amostragem e estratégia de coleta; dados de processo (fornecidos pela UTE) durante o período de monitoramento; planilhas de campo; planilhas com desenvolvimento de cálculos de concentração e taxa de emissão; caracterização do efluente gasoso: temperatura dos gases, pressão, umidade, velocidade e vazão (na condição da chaminé e nas condições normais) onde foram realizadas coletas isocinéticas; tabelas e gráficos com os principais resultados; e certificado de calibração dos equipamentos de amostragem podem ser consultados no Apêndice desta dissertação.

3.2.5.1 Dados do gerador da biomassa

A Queiroz Galvão Siderurgia (QGS) fomentou um programa de incentivo à cultura de capim-elefante (*P. Purpureum gramineae*) entre os agricultores da região a fim de incrementar o volume de biomassa necessária para a termelétrica. Esta gramínea tem boa adaptabilidade, alta produtividade forrageira e resitência às pragas e, se bem manejada, pode aumentar o ganho de peso e produção de leite de gado.

A QGS também é proprietária de 45.000 hectares de fazendas de eucalipto no estado do Maranhão, plantados e colhidos com o propósito de atender a demanda de carvão das siderúrgicas produtoras de ferro gusa. Para o processo de carbonização é utilizada a madeira com diâmetro superior a 40 mm; portanto, a parte apical (ponteira) da árvore e os galhos são inapropriados para o processo de carbonização para uso nas siderúrgicas. Estas ponteiros e galhos são recolhidos em campo e processados através de um picador florestal. O cavaco (ou *chips*) é transportado em caminhões apropriados para a UTE onde são utilizados como combustível de fonte renovável para geração de energia elétrica (Revista 360° do Grupo Queiroz Galvão, nº 23, Ano 6, 2012).

3.2.5.2 Preparação dos lotes para os testes

A seleção do lote de dormentes preparado para os testes foi realizada pelo corpo técnico da Vale. Os dormentes selecionados foram aqueles inutilizados disponíveis nos pátios de armazenamento. Para a realização do teste de queima foram disponibilizadas aproximadamente 250 toneladas de dormentes (Figura 10).

A seleção do lote de biomassa (madeira de eucalipto) foi de responsabilidade da UTE. A biomassa utilizada durante o teste em branco foi a mesma utilizada regularmente pela unidade. O transporte dos dormentes foi realizado pela Vale até as dependências da UTE Cosima.

Figura 10 - Lote de dormentes para teste no pátio da UTE Cosima.



O *blend* utilizado rotineiramente pela empresa é uma composição de biomassa e carvão vegetal. A empresa utiliza como biomassa: madeira de bambu e de eucalipto, moinha de carvão e cascas de babaçu, dependendo da umidade do material. A biomassa precisa ser triturada em equipamento adequado (Figura 11).

Figura 11 a, b, c, d – equipamento triturador e lotes de madeira e dormentes triturados.



(a) triturador de madeira.



(b) biomassa de eucalipto triturada.



(c) chips de dormentes.



(d) pilha de dormentes triturados.

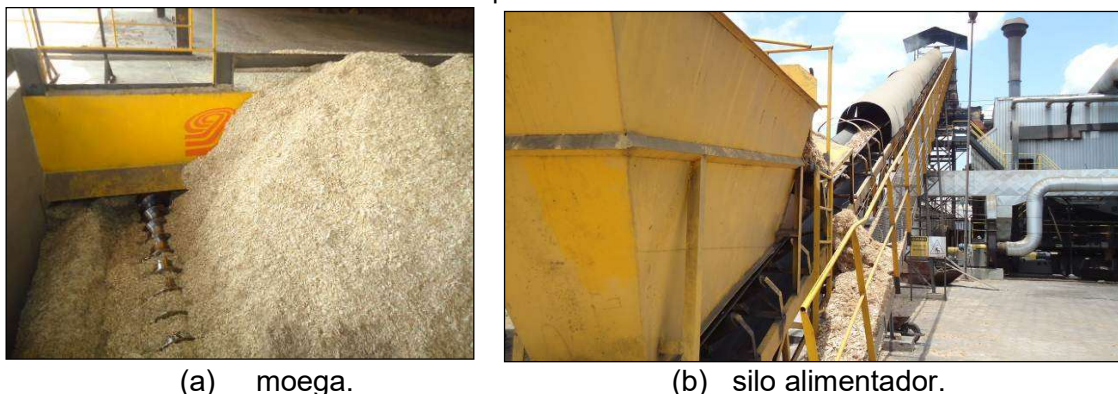
A pesagem do *blend* foi realizada na balança instalada do interior do galpão de estocagem de insumo a qual o direciona para o sistema de moega e esteira que alimenta o silo da caldeira. Ver Figura 12.

Figura 12 – Balança.



Da balança o *blend* passa na moega, a fim de homogeneizar a matéria-orgânica e seguir à esteira transportadora, que a direciona até o alimentador da caldeira. Ver Figura 13 a, b.

Figura 13 a, b – Moega e silo alimentador que direciona o *blend* homogeneizado por esteira transportadora até a caldeira.



3.3 Método de amostragem

Os métodos de amostragem utilizados para coletas e análises de gases em fontes fixas, como a chaminé da UTE Cosima estão preconizados pela US EPA.

Todas as coletas, exceto de Óxidos de Nitrogênio (NO_x), foram realizadas isocineticamente. A coleta isocinética¹¹ garante que a velocidade de entrada dos gases e partículas na boquilha de coleta seja a mesma do fluxo gasoso. Isto garantiu a representatividade das amostras. As coletas isocinéticas foram realizadas utilizando um equipamento chamado “trem de amostragem”.

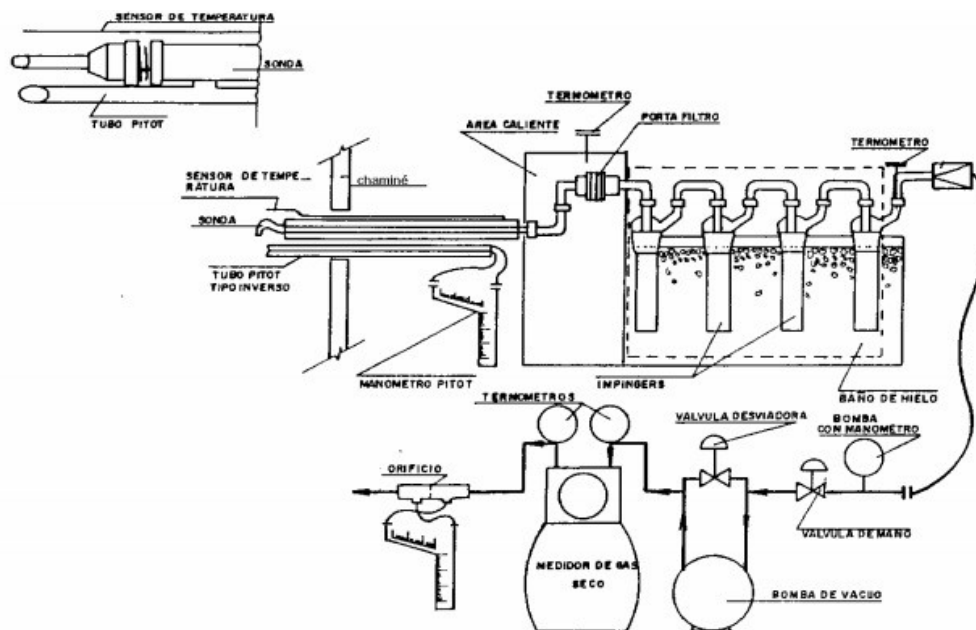
O trem de amostragem padrão é composto por uma sonda de coleta, um filtro aquecido, um conjunto de borbulhadores e um gasômetro, para a medição do gás seco coletado. Para este experimento utilizou-se o modelo básico descrito no método EPA 5. Ver Figura 14.

Segundo o método 5 da EPA, os gases são coletados diretamente da chaminé por meio de uma sonda aquecida. Esta evita a condensação dos gases e possui uma boquilha na sua ponta, por onde os gases são coletados. A sonda encaminha os gases e partículas para um filtro de quartzo, aquecido a 120°C , que retém todas as partículas. Após a retenção das partículas no filtro, os gases são encaminhados para a sequência de borbulhadores com soluções para absorção de poluentes como SO_x , HCl , HF e metais.

¹¹ A coleta isocinética é usada na determinação da concentração e quantidade de poluentes emitidos (e.g. gases e material particulado).

Poluentes como dioxinas e furanos necessitam de resinas específicas para a sua coleta. Foram utilizados cartuchos com resinas que são posicionados antes dos borbulhadores para a adsorção destes poluentes.

Figura 14 – Esquema do trem de amostragem de acordo com o método 5 da US EPA.



Fonte: Controle da Poluição Atmosférica, Cap. 4, Monitoramento poluentes atmosféricos, 2007.
<http://ftp-acd.puc-campinas.edu.br/pub/professores/ceatec/ariovaldosilva/Aulas%20-%20Polui%C3%A7%C3%A3o%20Atmosf%C3%A9rica/Cap%204%20Monitoramento%20da%20QUALIDADE%20DO%20AR.pdf>. Acessado em 30.11.2014.

As amostras de cada uma das coletas foram encaminhadas para laboratórios especializados e acreditados pela norma ISO 17.025.

3.3.1 Coleta e análise de material particulado (MP) e óxidos de enxofre (SO_2 e SO_3)

Este método é utilizado para a determinação de material particulado, ácido sulfúrico, incluindo os vapores deste ácido e de trióxido de enxofre, e dióxido de enxofre de fontes fixas. As amostras são coletadas isocineticamente da chaminé utilizando o trem de amostragem. Ver Figura 15.

O procedimento empregado na determinação da concentração de óxidos de enxofre consiste na absorção do SO_3 em solução de álcool isopropílico¹² e reação do SO_2 com peróxido de hidrogênio. A determinação da concentração de óxidos de enxofre nas soluções absorvedoras foi realizada através de titulação.

A massa de material particulado (MP) é determinada gravimetricamente. Simultaneamente a coleta, foi determinado o volume do gás amostrado. A concentração de MP foi obtida pela relação entre ambos.

$$C_{\text{mp}} = M_{\text{mp}} / V_{\text{gás}}$$

Durante a coleta, com duração aproximada de uma hora, o material particulado coletado pela sonda é retido no filtro. Os gases contendo SO_x são direcionados para os borbulhadores, que coletam o SO_3 e o SO_2 . O primeiro borbulhador é preenchido com 100 mL de 80% de isopropanol, enquanto que o segundo e o terceiro borbulhadores com 100 mL de 3% de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) cada. O último borbulhador contém 200 g de sílica gel.

Figura 15 - Foto do trem de amostragem utilizado no experimento, de acordo com o método 5 EPA.



Uma vez concluída a coleta, o conteúdo dos borbulhadores é pesado para a determinação da umidade e em seguida as amostras são recolhidas para posterior análise em laboratório.

As amostras de SO_2 e SO_3 são realizadas por titulometria¹³ utilizando torina como indicador. As amostras de material particulado, solução de lavagem de sonda e

¹² O álcool isopropílico é substância química líquida, incolor e de forte odor, transparente, solúvel em água, volátil e altamente inflamável. Levemente tóxico se ingerido ou absorvido pela pele, podendo causar lesões na córnea, sendo o mais simples exemplo de um álcool secundário. É isômero de posição do propanol.

¹³ A titulometria é a análise quantitativa para determinar a concentração de uma solução. Mais conhecida como titulação, esta análise permite dosar uma solução e determinar a sua quantidade por intermédio de outra solução de concentração conhecida. A titulação é, em geral, realizada em laboratório e pode ser feita de várias maneiras. A mais conhecida é a titulação ácido-base, que é empregada em análises industriais.

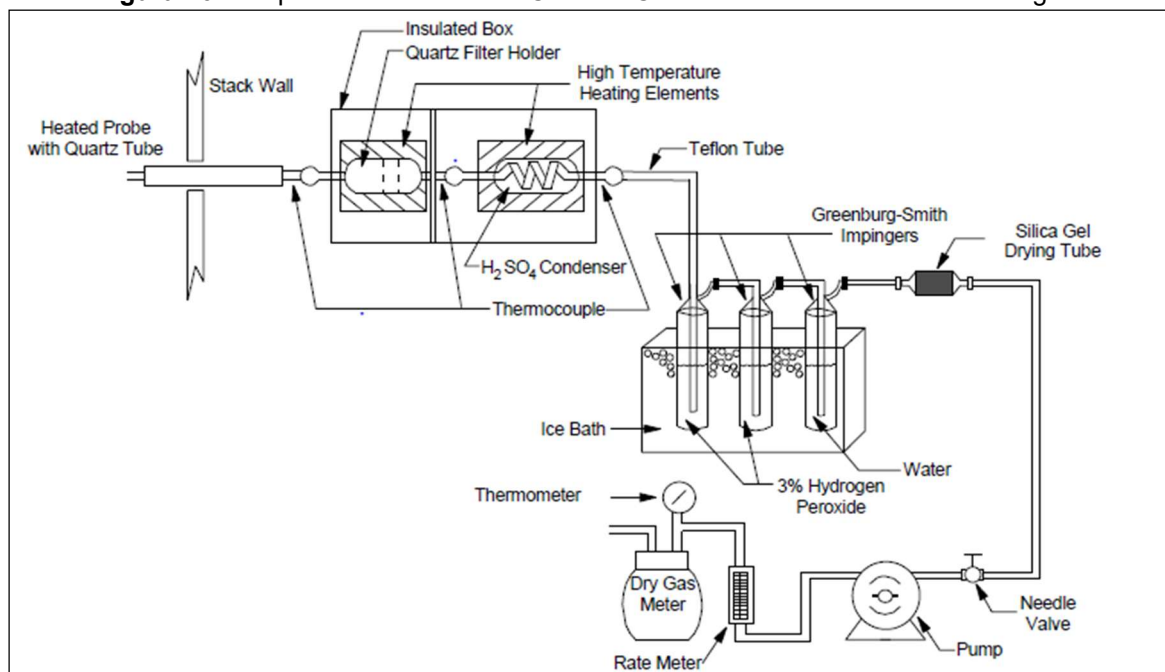
o filtro são analisados por gravimetria. As análises químicas foram realizadas no laboratório da *Analytical Technology*, localizado em São Paulo.

3.3.2 Coleta e análise de dioxinas e furanos

A metodologia empregada para a amostragem de dioxinas (dibenzo-para-dioxinas policloradas - PCDD) e furanos (dibenzofuranos policlorados - PCDF) em fontes estacionárias está descrita no método US EPA 23. Os efluentes gasosos são coletados isocineticamente, empregando-se cartucho de resina XAD-2 com material adsorvente. O processo de amostragem é realizado seguindo o método 5 da EPA. Após a amostragem, a resina empregada na coleta, bem como o filtro de amostragem e soluções de lavagem de sonda e vidraria (acetona, cloreto de metila e tolueno) é extraída com diclorometano. O extrato é concentrado, tratado e finalmente analisado por cromatógrafo¹⁴ de fase gasosa acoplado a um espectrômetro de massa de alta resolução (CG/EM).

Para a realização das análises foi utilizado o laboratório *Cronolab*, localizado na cidade de Rio de Janeiro.

Figura 16 - Esquema de coleta de PCDD e PCDF utilizando o trem de amostragem.



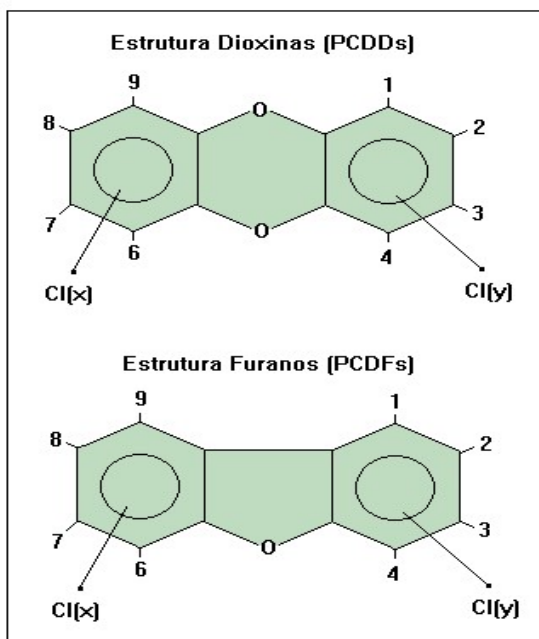
¹⁴ O cromatógrafo é um instrumento analítico que permite analisar diversos compostos em uma amostra. E o espectrômetro é um instrumento óptico utilizado para medir as propriedades da luz em uma determinada faixa do espectro eletromagnético.

Formados pela ligação dos átomos de cloro aos anéis benzênicos, os compostos aromáticos tricíclicos, de função éter, comumente chamados de dioxinas e furanos (PCDD e PCDF), possuem mais de 200 combinações.

A avaliação da toxicidade equivalente destes compostos é expressa pela ligação de átomos de cloro aos anéis benzênicos nas posições 2,3,7,8 - TCDD, considerada a mais tóxica de todas.

A concentração de dioxinas e furanos expressa como 2,3,7,8 - TCDD é obtida multiplicando-se a concentração de cada substância pelo respectivo fator de equivalência de toxicidade (FET) e somando-se o produto. Na Figura 17 são apresentadas, de forma genérica, as moléculas de PCDD e PCDF.

Figura 17 - Molécula Genérica de Dioxinas e Furanos



3.3.3 Coleta e análise de ácido fluorídrico e ácido clorídrico

Este método é aplicável para a determinação das emissões de haletos¹⁵ de hidrogênio (HX) [HCl, HBr e HF] e halogênios (X₂) [Cl₂ e Br₂] para fontes estacionárias de forma isocinética.

¹⁵ Os haletos e halogênios são moléculas diatômicas dos elementos do grupo 17 da tabela periódica, ou seja dos halogêneos flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br), iodo (I) e astato (At) em estado de oxidação. Seus átomos apresentam 7 elétrons periféricos havendo diferença no número de níveis energéticos. Suas características químicas e físicas lhe conferem semelhança ao iodeto, sendo uma exceção o

As amostras são recolhidas isocineticamente usando trem de amostragem de acordo com o método 5 da EPA. Este método é modificado, constituído por uma sonda aquecida e um filtro, um ciclone opcional e uma série de borbulhadores.

Os borbulhadores foram preenchidos com uma solução 0,1 N de H_2SO_4 e 0,1 N de NaOH. O primeiro e o segundo borbulhadores são preenchidos com 100 mL de H_2SO_4 - 0,1 N, enquanto que o terceiro e o quarto com 100 mL de NaOH - 0,1 N. O quinto e último borbulhador é preenchido com sílica gel para secagem dos gases.

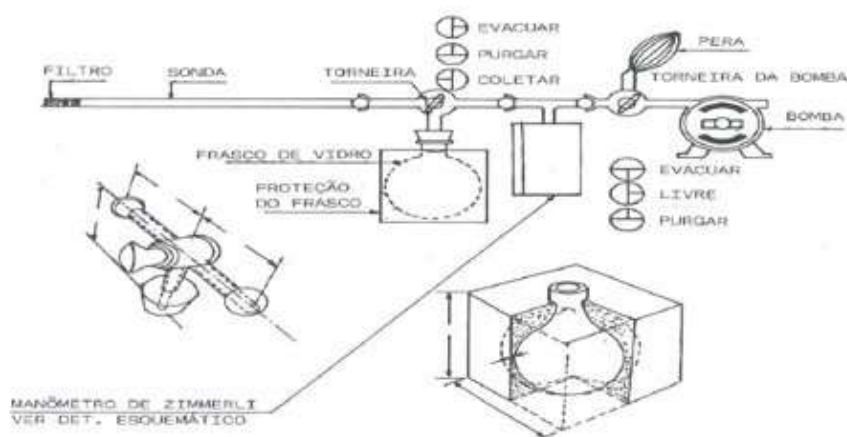
Os haletos de hidrogênio (HCl, HBr, HF) são analisados a partir da fração ácida coletada nos borbulhadores enquanto que os halogêneos (Cl_2 , Br_2) são analisados nos borbulhadores contendo a solução alcalina.

Cada solução (H_2SO_4 e NaOH) foi analisada por cromatografia iônica (IC) no laboratório da *Analytical Technology*.

3.3.4 Coleta e análise de óxidos de nitrogênio (NO_x)

O óxido de nitrogênio presente no fluxo gasoso foi coletado em um frasco de absorção contendo ácido sulfúrico diluído e peróxido de hidrogênio. As coletas de NO_x não são realizadas de forma isocinética. Os óxidos de nitrogênio foram determinados por colorimetria pelo método do ácido fenoldissulfônico, de acordo com o método de referência CETESB L9.229 (ver Figura 18). Essas análises foram realizadas no laboratório *Analytical Technology*, em São Paulo.

Figura 18 - Esquema de coleta de NO_x .



fluoreto e podem ser formados diretamente desde os elementos ou a partir do ácido HX (onde X = F, Cl, Br, I) correspondente com uma base.

3.3.5 Coleta e análise de metais

As análises da concentração de metais nas amostras de efluentes gasosos foram realizadas pelo método EPA 29, utilizando-se absorção atômica.

Os metais analisados foram: Cd, Hg, Tl, As, Co, Ni, Te, Se, Sb, Pb, Cr, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh e V. As análises de mercúrio foram realizadas seguindo a metodologia EPA 101A.

Os metais foram coletados isocineticamente e a sua concentração na amostra foi determinada nos filtros e solução dos borbulhadores com ácido nítrico e peróxido de hidrogênio.

Após a digestão do material particulado coletado e da solução dos borbulhadores foi realizada a análise de metais por absorção atômica. A coleta de metais é idêntica à coleta de material particulado, utilizando-se o trem de amostragem. As análises foram realizadas no laboratório *Analytical Technology*, em São Paulo.

3.3.6 Coleta e análise de compostos orgânicos voláteis – VOC

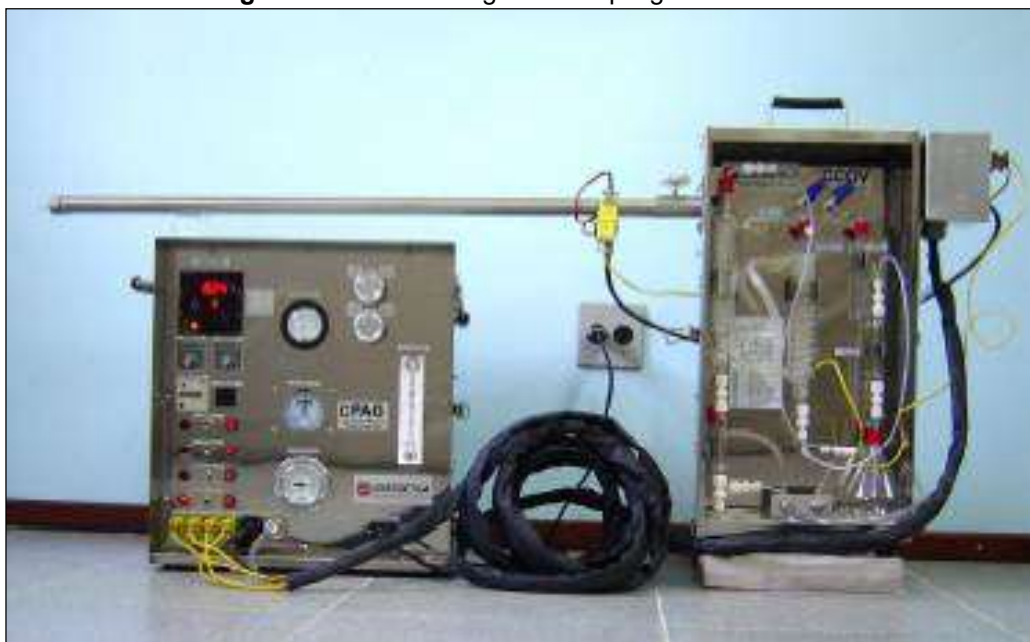
A metodologia empregada para a coleta e análise de compostos orgânicos voláteis está descrita no método US EPA 30. Os gases são coletados por um trem de amostragem VOST (*"Volatile Organic Sampling Train"*), a uma vazão de 1,0 litro por minuto, onde estão inseridos dois tubos de resinas. O primeiro tubo é preenchido com resina denominada Tenax e o segundo com resina Tenax mais carvão ativado. Os compostos orgânicos voláteis, neste caso específico o benzeno, tolueno e xileno (BTX), são adsorvidos na resina para posterior análise química por cromatografia gasosa e espectrofotometria¹⁶ de massa (CG/MS). Cada coleta tem uma duração de 60 minutos, sendo que a cada 20 minutos ocorrem trocas dos pares de resinas. Os procedimentos de análise estão descritos nos métodos US EPA descritos a seguir.

¹⁶ A cromatografia gasosa consiste em uma análise química instrumental onde uma solução de amostra é inserida no injetor do equipamento e transportada por um gás através de um tubo de separação chamado de "coluna" (hélio ou nitrogênio podem ser utilizados para este transporte e são chamados de gases de arraste). Os diversos componentes presentes na amostra são separados dentro da coluna. Para quantificação de uma amostra de concentração desconhecida, um padrão conhecido deverá ser injetado no equipamento. O tempo de retenção do padrão e sua área serão comparados com os da amostra e utilizados para o cálculo da concentração. A espectrofotometria é o método de análises óptico mais usado nas investigações biológicas e físico-químicas. O espectrofotômetro é um instrumento que permite comparar a radiação absorvida ou transmitida por uma solução que contém uma quantidade desconhecida de soluto, e uma quantidade conhecida da mesma substância.

- Method 5041A - “Analysis for Desorption of Sorbent Cartridges from Volatile Organic Sampling (VOST)”;
- Method 8260B – “Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography /Mass Spectrometry (GC/MS)”.

As coletas de VOC foram realizadas com três jogos de cartuchos ou “traps” de resina por coleta e tiveram duração de 60 minutos cada (ERM BRASIL, 2013).

Figura 19 - Volatile Organic Sampling Train - VOST



Para a realização das análises foi utilizado o laboratório *Cronolab*, no Rio de Janeiro.

3.3.7 Coleta e análise de dioxinas e furanos e principais compostos orgânicos perigosos (PCOPs)

A metodologia empregada para a amostragem de PCDD e PCDF em fontes estacionárias está descrita nos métodos US EPA 23. Os efluentes gasosos foram coletados isocineticamente empregando-se cartucho de resina XAD-2 como material adsorvente.

Após a amostragem, a resina empregada na coleta, bem como o filtro de amostragem e soluções de lavagem de sonda e vidraria (acetona, cloreto de metila e

tolueno), foi extraída com diclorometano¹⁷. O extrato foi concentrado, tratado e analisado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa de alta resolução (CG/EM). O procedimento de análise está descrito nos métodos US EPA 8290 e 8270.

- Method 8290 - “Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins & Dibenzofurans Measurements for the flue gas samples”;
- Method 8270 – “Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (CG/MS)”.

Os Compostos Orgânicos Semi Voláteis (SVOC) em questão são os compostos orgânicos poliaromáticos incluindo o Benzo pireno e o Pentaclorofenol - *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH).

3.3.8 Coleta e análise de cianetos

Os cianetos foram coletados isocineticamente e a sua concentração na amostra foi determinada nos filtros e solução dos borbulhadores, que contém uma solução de NaOH 0,1 N. A coleta de cianetos é idêntica a coleta de material particulado, ou seja, utiliza o mesmo trem de amostragem. A análise de cianetos foi realizada por cromatografia no laboratório *Analytical Technology*, em São Paulo.

3.3.9 Coleta e análise de cinzas de dormentes e de biomassa

As cinzas de dormentes e de biomassa foram coletadas pelos profissionais da UTE, tanto na grelha da caldeira como na saída do mult ciclone, após cada um dos dois testes. As análises foram realizadas seguindo as normas de caracterização de resíduos sólidos preconizadas pela ABNT (NBR 10.004, 10.005 e 10.006:2004) no laboratório *Analytical Technology*, em São Paulo.

3.3.9.1 Preservação das amostras e análises laboratoriais

¹⁷ Diclorometano um hidrocarboneto clorado, fórmula química CH_2Cl_2 , peso molecular 84,93 g/mol. É um líquido incolor e volátil. É amplamente utilizado como solvente, pois é considerado um dos compostos organoclorados menos perigosos, apesar de o seu limiar de aroma (214 ppm) indicar que já se ultrapassou o valor limite de exposição (VLE) cerca de 4 vezes (50 ppm). É imiscível em água e dissolve a maioria dos solventes orgânicos.

As amostras do monitoramento com biomassa e com dormentes de madeira, bem como as cinzas, foram preservadas, embaladas e transportadas para os laboratórios seguindo todos os procedimentos necessários para a sua correta preservação.

3.3.9.2 Estratégia de amostragem de efluentes gasosos e cronograma

A estratégia de coleta de cada parâmetro foi vinculada às condições operacionais da caldeira. A Tabela 10 mostra o período total de cada coleta por análise.

Tabela 10 –Tempo de coleta

PARÂMETRO	TEMPO DE COLETA (min)
MP e SO _x	60
HCl e HF	60
PCDD, PCDF e SVOC (pentaclorofenol)	180
NO _x	Instantâneo
VOC	60 min: 20 min/cartucho
Cianetos	60
Metais (classes I, II e III)	60

Fonte: Relatório de teste de queima de dormentes na UTE Cosima em Santa Inês, Maranhão. ERM, Vale, 2013.

O teste de queima foi realizado em novembro de 2013 e seguiu o cronograma de medições apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Cronograma do monitoramento.

PARÂMETRO	DATA E TIPO DE TESTE DE QUEIMA			
	BRANCO		DORMENTES	
	Nov 1	Nov 2	Nov 3	Nov 4
MP e SO _x	X		X	
Metais (classe I, II, III)	X		X	
Cianetos	X		X	
PCDD, PCDF e SVOC (pentaclorofenol)		X		X
VOC (BTX)		X		X
NO _x		X		X
HCl, HF e Cl ₂		X		X
Cinzas		X		X

Fonte: Relatório de teste de queima de dormentes na UTE Cosima em Santa Inês, Maranhão. ERM / Vale, 2013.

Para evitar contaminação das amostras entre um teste e outro foi observado um intervalo de 12 horas entre as medições com biomassa e as realizadas com dormentes (*blend*).

3.3.9.3 Equipamentos utilizados durante o monitoramento

Os equipamentos utilizados durante o teste de queima estão relacionados na tabela 12.

Tabela 12 – Equipamentos utilizados.

EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA
Tubo de <i>Pitot</i>	Tipo “S”, 2,0 metros comprimento, calibração Lab. CETESB.
Manômetro de coluna inclinada (milímetros de coluna d’água)	Escala de 0 a 250 mmCA, e menor divisão de 0,5 mmCA.
Manômetro	Tipo “U” com Hg e menor divisão de 1,0mm.
Termopares	Tipo “K” calibrados. Marca Ilope.
Cabos compensados	Tipo “K”.
Coletor isocinético de poluentes atmosféricos	CIPA. Marca Energética. Calibrado em Lab. CETESB.
Porta-resinas	Em vidro de borosilicato.
Sonda	Em aço inox. Aquecida.

Fonte: Relatório de teste de queima de dormentes na UTE Cosima em Santa Inês, Maranhão. ERM / Vale, 2013.

4 RESULTADOS

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta os dados do monitoramento de emissões atmosféricas referente ao “teste de queima com dormentes”, com o objetivo de avaliar a viabilidade da substituição de biomassa florestal por dormentes de madeira tratada, cujo resultado é demonstrado através de tabelas e gráficos.

A metodologia aplicada está em consonância com as diretrizes estabelecidas pela Resolução nº 316/2002 do CONAMA. Este capítulo apresenta e analisa o resultado das medições dos poluentes e cinzas do processo de queima, conforme descrito na referida resolução.

4.2 Apresentação dos resultados do experimento

Os resultados estão apresentados de acordo com o tipo de combustível utilizado durante os testes, conforme o Apêndice B. As Tabelas 1 a 12 apresentam os dados monitorados e resultados dos testes realizados na condição operacional de queima somente da biomassa, enquanto que as Tabelas 13 a 24 mostram os resultados do teste realizado na condição operacional de biomassa misturada aos dormentes de madeira (*blend*).

Todas as tabelas apresentam os dados de temperatura média, umidade média dos gases, velocidade média dos gases no duto e análise dos gases de combustão.

A avaliação final do resultado dos testes de queima com dormentes na UTE Cosima levou em consideração as dimensões ambiental e econômica.

Sob o ponto de vista ambiental, a Tabela 13 apresenta uma comparação entre o resultado das amostras coletadas na UTE Cosima em Santa Inês, Maranhão e o resultado do mesmo teste realizado na empresa Recicarbon em Cariacica, Espírito Santo, cujo processo utiliza somente dormentes de madeira para carbonização.

Estes resultados foram comparados ao Valor Máximo Permitido (VMP), de acordo com a Resolução n. 316/02 CONAMA.

Tabela 13 – Resultados médios e desvio padrão do EVQ na UTE Cosima e comparação com o resultado médio na Recicarbon e VMP (CONAMA 316/02).

VIABILIDADE AMBIENTAL					
EVQ		UTE COSIMA		RECI CARBON	CONAMA 316/02
Parâmetro	Unidade	Somente biomassa	dormente + biomassa (1/5)	somente dormente	VMP*
Material particulado	mg/Nm ³	960,06 ±94	778,38 ±149	19,50	70,00
Óxidos de enxofre	mg/Nm ³	7,65 ±5	1,98 ±0,6	38,70	280,00
Óxidos de nitrogênio	mg/Nm ³	129,34 ±45	145,80 ±20	199,90	560,00
Metais classe I Cd, Hg, Tl	mg/Nm ³	0,003 ±0,0001	0,003 ±0,0006	0,004	0,280
Metais classe II As, Co, Ni, Se, Te	mg/Nm ³	0,01 ±0,001	0,16 ±0,01	0,14	1,40
Metais classe III Sb, Pb, Cr, CN ⁻ , F ⁻ , Cu, Mn, Pt, Pd, Rh, V, Sn	mg/Nm ³	0,65 ±0,01	0,77 ±0,02	0,45	7,00
Ácido clorídrico	mg/Nm ³	18,38 ±6	15,98 ±0,3	0,06	80,00
Ácido fluorídrico	mg/Nm ³	0,36 ±0,05	0,28 ±0,02	0,20	5,00
Dioxinas e Furanos	Total PCDD + PCDF ng/Nm ³	0,24 ±0,18	0,52 ±0,19	0,075	0,50
Cloro	kg/h	0,13 ±0,03	0,11 ±0,01	----	1,80
Monóxido de carbono	ppm/Nm ³	----	----	84,20	100,00

* VMP: Valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 316/2002.

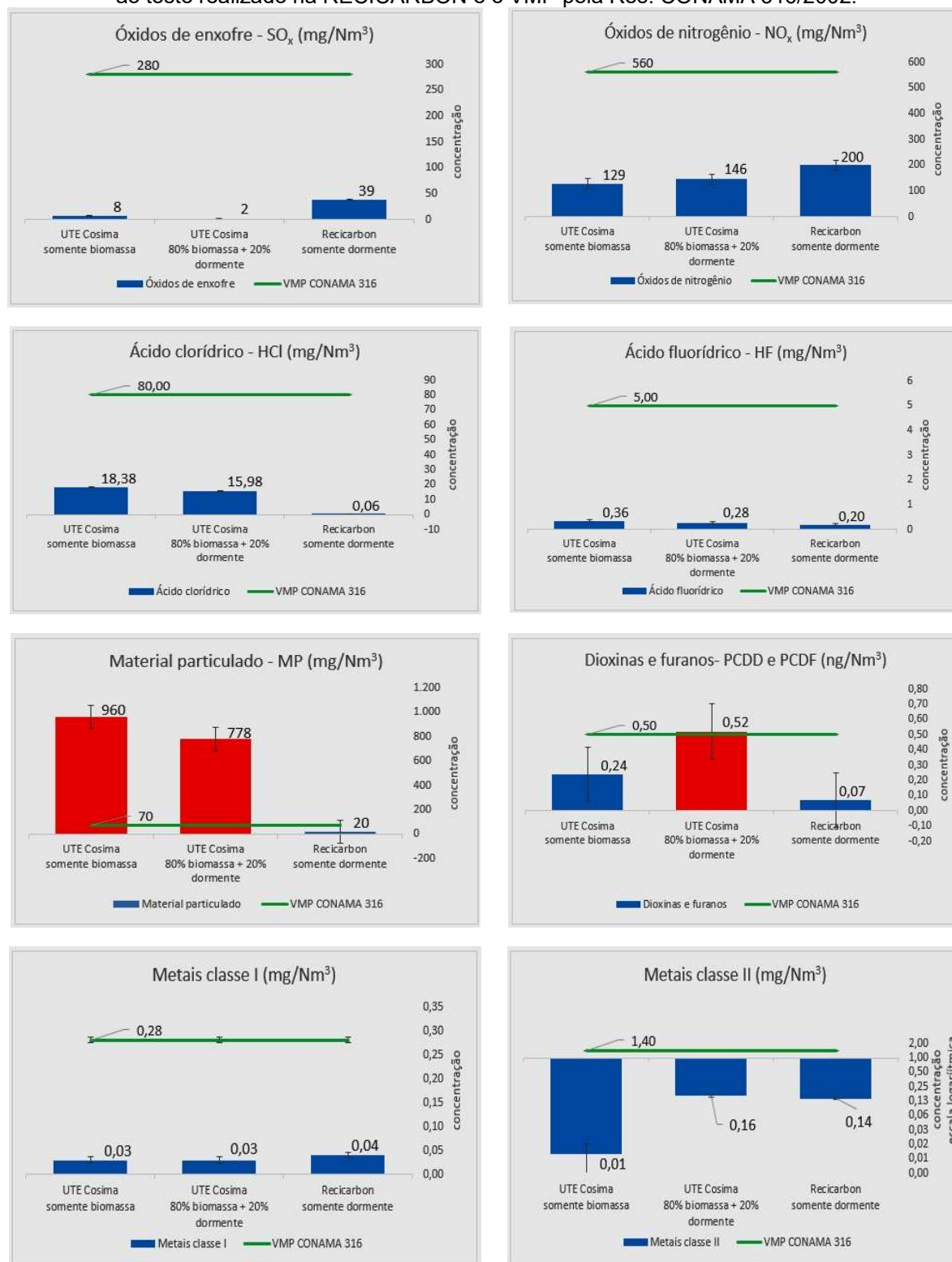
Fonte: Relatório de Teste de Queima, ERM Brasil e Vale, 2014 e Relatório de Teste de Queima, JAPH e Recicarbon 2014.

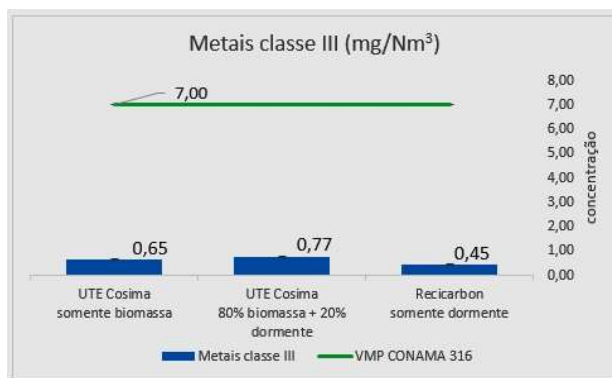
Em geral, os intervalos de confiança dos resultados obtidos foram inferiores ao máximo estabelecido pela legislação. Todavia, o sistema de controle operacional de queima de combustível na UTE Cosima apresenta uma instabilidade, com o desvio-padrão elevado (pelo menos 20) para o material particulado e óxido de nitrogênio.

O número de três amostras por parâmetro (e nove, no caso do NO_x), foi determinado pelo orçamento disponível para o experimento, condicionando os resultados.

Os gráficos da Figura 20 apresentam os resultados médios dos testes de queima na UTE Cosima e Recicarbon e os compara com o VMP da Res. CONAMA 316/02.

Figura 20 – Gráficos das concentrações dos parâmetros analisados em mg/Nm³ comparativamente ao teste realizado na RECICARBON e o VMP pela Res. CONAMA 316/2002.





- **Metais**

As concentrações médias das três classes de metais durante os dois testes na chaminé da UTE foram menores que o limite referenciado pela Resolução nº 316/02 CONAMA.

Conforme estabelecido na resolução, as concentrações de metais foram agrupadas em classes I a III.

A classe I é composta por metais como cádmio, mercúrio e tálio; a classe II por arsênio, cobalto, níquel, telúrio e selênio; e classe III contém antimônio, chumbo, cromo, cobre, estanho, manganês, platina, ródio e vanádio.

Com todos os valores corrigidos a 7% de oxigênio, os metais da classe I apresentaram média de 0,0026 mg/Nm³ para o teste com biomassa e 0,0031 mg/Nm³ com substituição da biomassa por 20% de dormentes, valores estes bem inferiores ao limite de 0,28 mg/Nm³.

Para os metais da classe II os resultados foram de 0,01 mg/Nm³ para o teste com queima de biomassa e de 0,16 mg/Nm³ com substituição da biomassa por 20% de dormentes, também inferiores ao limite de 1,4 mg/Nm³. O resultado encontrado na queima do *blend* está atrelado ao aumento das concentrações de arsênio e níquel durante a queima de dormentes.

Os resultados médios encontrados para metais da classe III foram de 0,65 e 0,77 mg/Nm³, ambos bem abaixo do limite de 7,0 mg/Nm³.

Conclui-se que os valores medidos foram dez vezes menores em relação ao limite definido pela legislação e que estão nos mesmos níveis de concentração, evidenciando que não existem alterações significativas nas emissões exceto pela presença de dormentes tratados com CCA que elevaram a concentração de arsênio.

- **Óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x)**

As concentrações médias de óxidos de enxofre e nitrogênio foram corrigidas a 7% de oxigênio para as duas situações monitoradas pelo teste de queima e apresentaram resultado abaixo do limite de emissão estipulado pela Resolução nº 316/02 CONAMA.

Os resultados médios de óxido de enxofre foram de 8 mg/Nm³ para a queima de biomassa e de 2 mg/Nm³ para o *blend* (substituição de 20% de biomassa por dormentes da EFC); ambos abaixo do valor máximo permitido de 280 mg/Nm³.

As concentrações de óxido de nitrogênio nos dois testes estiveram abaixo do VMP, ou seja, inferiores a 570 mg/Nm³. O resultado médio obtido com a queima somente de biomassa foi de 129 mg/Nm³, enquanto que para o *blend* o valor médio foi de 146 mg/Nm³.

O resultado das amostragens de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio apresentaram-se abaixo do limite estipulado pela Resolução CONAMA 316 e demonstram que a substituição de 20% de biomassa por madeira de dormentes não altera de forma significativa as emissões atmosféricas do processo avaliado.

- **Halogênios**

Todos os elementos deste grupo tem a tendência de receber elétrons de outros elementos e formar íons de haletos, formando moléculas diatômicas. Também reagem diretamente com a maior parte dos metais e têm facilidade de reagir com o hidrogênio para formar haletos de hidrogênio. Da mesma forma que os metais, os resultados das concentrações médias de halogênios, tais como ácido clorídrico, cloro livre e ácido fluorídrico, medidas durante os testes, estiveram abaixo do limite de emissão estipulado pela Resolução nº 316/02 CONAMA.

As concentrações de ácido clorídrico (HCl) medidas na condição de queima somente de biomassa apresentaram média de 19 mg/Nm³ a 7% de O₂ enquanto que as concentrações medidas na queima do *blend* foram de 16 mg/Nm³ a 7% de O₂. Todos os resultados foram inferiores ao limite de 80 mg/Nm³.

As emissões de cloro livre (Cl) medidas na condição de queima somente de biomassa apresentaram média de 0,13 kg/h e concentração de 3,11 mg/Nm³ a 7% de O₂ enquanto que as concentrações medidas com o *blend* foram de 2,88 mg/Nm³ e taxa de emissão de 0,11 kg/h. Todos os resultados ficaram abaixo do limite medido para a taxa de emissão de 1,80 kg/h estabelecido pela referida resolução.

Comparando os resultados entre as duas condições operacionais do experimento conclui-se que as concentrações são equivalentes e da mesma ordem de grandeza.

Quanto às concentrações de ácido fluorídrico (HF), conclui-se que as emissões dos dois testes estiveram abaixo do limite de 5,00 mg/Nm³.

Na condição de queima somente de biomassa a concentração média foi de 0,36 mg/Nm³ a 7% de O₂, enquanto que as concentrações medidas com o *blend* foram de 0,28 mg/Nm³ a 7% de O₂.

- **Material particulado (MP)**

Os resultados do monitoramento de emissões atmosféricas nas duas condições operacionais evidenciaram que as concentrações de MP estão acima do VMP, pois apresentam média de 960 mg/Nm³ para o teste com queima somente de biomassa e de 778 mg/Nm³ para o *blend*.

Este resultado é mais de dez vezes superior ao valor de referência (70,0 mg/Nm³), ou seja, independente do insumo energético a ser utilizado, as concentrações de MP são equivalentes. Ver Figuras 21 a, b da UTE no 3º dia do teste.

Figuras 21 a, b – Emissão de MP e gases para a atmosfera durante teste de queima com dormentes.



Ainda que o resultado seja comparado ao VMP de 730 mg/Nm³ a 8% de oxigênio pela Resolução nº 382 CONAMA, aplicada para caldeiras com potência até 10 MW, a concentração de 891 mg/Nm³ a 8% de oxigênio é superior ao valor de referência.

As condições operacionais durante o teste de queima eram instáveis e a remoção de cinzas da fornalha se deu pelo processo de sopragem, o qual arrastou grande quantidade de MP para a chaminé.

- **Dioxinas e furanos (PCDD e PCDF)**

O resultado médio de PCDD e PCDF com o *blend* promoveu o aumento de 119% nas emissões destes poluentes em relação à queima de somente biomassa.

As concentrações do *blend* apresentaram valores 3,82% superiores ao VMP de 0,50 ng/Nm³ estipulado pela Res. 316/2002 CONAMA.

Devido ao incremento das concentrações de PCDD e PCDF, comparadas à queima de biomassa, sugere-se a realização de futuros experimentos com diferentes percentuais de mistura de dormentes à biomassa. O estudo deverá focar no processo de formação de PCDD e PCDF no intuito de evitar a formação destes poluentes e avaliar equipamentos de controle de poluição específicos para tratar as emissões geradas.

- **Pentaclorofenol**

Não foi detectado em nenhuma das amostras (resultados inferiores ao limite de detecção de 0,5 µg) a presença de pentaclorofenol, o principal composto orgânico perigoso (PCOP) utilizado no tratamento da madeira de dormentes.

- **Cinzas**

O resultado de caracterização das cinzas as classificaram como classe I - resíduos perigosos - tanto para as cinzas geradas do processo de queima de biomassa como da queima do *blend*. Portanto, as cinzas provenientes do processo de queima na caldeira deverão ser encaminhadas para um aterro específico de disposição de resíduos perigosos.

A viabilidade econômica está associada à substituição do percentual de biomassa florestal por dormentes, considerando dados informados pelo fabricante dos equipamentos da UTE (ver Tabela 7, Capítulo 3), uma potência da UTE de 5 MW, com a produção nominal de 43.800 MWh/ano e o consumo de biomassa de aproximadamente 70 mil toneladas/ano. Baseado nestas informações e no preço da energia elétrica proveniente de termelétricas de R\$209,00 por MWh (ANEEL – Leilão nº 6/2014 A-5), foi calculada a receita anual, o lucro bruto associado, a economia associada à biomassa e o percentual de margem de lucro associada à mistura de *chips* de dormentes à biomassa. Ver memória de cálculo na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultado da viabilidade econômica no reaproveitamento de dormentes da EFC

VIABILIDADE ECONÔMICA				
VARIÁVEL	UNIDADE	SOMENTE BIOMASSA	DORMENTES + BIOMASSA	MEMÓRIA DE CÁLCULO / FONTE
(a) Potência UTE ¹	MW	5,0		Fonte: Icavi (fabricante)
(b) Produção nominal	MWh/ano	43.800		Fonte: UTE Cosima
(c) Fator parada p/ manutenção	%	7,0		Fonte: Rendeiro, 2008
(d) Produção efetiva	MWh/ano	~40.800		D=b*c
(e) Consumo de biomassa ²	t/ano	70.080	14.016	Fonte: UTE Cosima
(f) Preço médio	R\$/t	~21,00	0,88	F=g/6, preço médio contrato de venda
(g) Custo médio/MWh ³	R\$/MWh	~125,00	5,25	g=60% i (biom) g=f*6 (dorm)
(h) Custo médio anual	R\$/ano	1.471.680,00	1.189.678,00	h ₁ =e*f h ₂ =(e*0,8*f ₁)+(e*0,2*f ₂)
(i) Preço energia UTE à biomassa ⁴	R\$/MWh	209,00		Edital Leilão 06 ANEEL, 2014.
(j) Receita média anual	R\$/ano	8.527.200,00		j=d*i
(k) Lucro bruto	R\$/ano	7.055.520,00	7.337.522,00	k=j-h
(l) Economia de custo	R\$/ano	----	282.002,00	l=k ₂ -k ₁
(m) Margem de lucro	%	----	19,17	m=l/h ₁ *100

1- Dados fornecidos pelo fabricante (ver Capítulo 3, página 40).

2- Consumo específico de vapor na turbina = 5,0 kg/KWh. Ver Tabela 12.

3- NOGUEIRA, L.A.H., 1995: Incidência da biomassa sobre o preço da energia em MWh = 60%

4- Editais dos leilões de energia de biomassa ANEEL, 2014.

Segundo classificação interna da Vale, a partir de ensaios realizados pela empresa Aplysia em 2012, os dormentes de madeira são classificados como resíduo não-perigoso e não-inerte (classe II A), cuja destinação adequada seria aterro industrial, aterro sanitário ou incineração.

Se considerarmos os valores de incineração praticados pelo contrato com a empresa especializada e homologada pela Vale para esse tipo de tratamento de resíduos, cujo custo é de R\$1.012,89 por tonelada (CMD Vale, 2013), a Vale teria um gasto 11 milhões de reais para incinerar 11.000 toneladas de dormentes inservíveis anualmente até 2018.

O reaproveitamento energético dos dormentes coprocessados à biomassa em UTE para a cogeração de energia elimina esse custo de destinação e ainda agrega valor ao resíduo gerando ganho financeiro para a Vale e UTE Cosima no valor de 14 mil reais e 282 mil reais por ano, respectivamente.

A margem de lucro associada à mistura de dormentes à biomassa na UTE poderá ser aplicada como investimento na melhoria do sistema de controle ambiental

das emissões atmosféricas, cujo valor estimado para dimensionamento adequado dos dispositivos de tratamento necessários para reduzir MP, PCDD e PCDF gira em torno de 300 a 800 mil reais.

Em valores correntes, a margem de lucro corresponde a 21,36% do orçamento anual (ver Tabela 15) do investimento social aplicado pela Fundação Vale com o projeto CASA SAUDÁVEL no Maranhão.

O projeto apóia diretamente 110 famílias que residem em Pindaré-Mirim com material de construção civil, técnica de construção e manutenção para banheiros secos, cisterna de 16 mil Litros, composteira, horta familiar e melhorias das condições habitacionais.

A família beneficiada é estimulada a cooperar para a multiplicação das ações para outras famílias da comunidade, transmitindo seu conhecimento e apoio. Assim, o projeto garante o empoderamento das famílias e a sustentabilidade das ações da Fundação Vale.

Tabela 15 – Economia com uso de 20% de dormentes *versus* orçamento de projeto social “Casa Saudável”

PROJETO SOCIAL FUNDAÇÃO VALE NO MARANHÃO	“CASA SAUDÁVEL”
Orçamento 2014 (R\$)	1.320.000,00
Margem de lucro do reaproveitamento de dormentes (R\$)	282.002,00
Percentual equivalente (%)	21,36

Fonte: Fundação Vale, 2014.

4.3 Discussão

Os resultados dos testes de queima sugerem que o controle e tratamento dos gases e do material particulado no processo de carbonização da empresa Recicarbon é mais eficiente do que no processo da UTE Cosima.

Há instabilidade no controle operacional da UTE COSIMA, o qual precisa ser melhorado com o dimensionamento adequado de dispositivos de abatimento de material particulado e dioxinas e furanos.

Ainda assim, verificou-se que o *blend* testado teve resultados favoráveis para todas as classes de metais (incluindo metais pesados como mercúrio, cádmio e chumbo), halogênios (como os ácidos clorídrico e fluorídrico) e óxidos de enxofre e nitrogênio, que tiveram valores inferiores ao valor máximo permitido (VMP) pela resolução de referência.

Há uma equivalência entre as concentrações de MP para ambos os combustíveis, com ou sem dormentes. Ambos tiveram valores superiores ao limite tomado como referência pelas resoluções 316 e 382 do CONAMA, inclusive com redução de 18,9% na concentração de MP quando há mistura de 1/5 de dormentes à biomassa, o que atesta que a combustão com dormentes é mais completa.

A concentração de PCDD e PCDF aumentou com a mistura com dormentes e ultrapassou em 3,8% o limite de referência.

Para todos os outros metais e óxidos de enxofre e nitrogênio, potenciais poluentes do ar quando combinados, os resultados foram muito inferiores ao limite de referência.

Com relação à viabilidade econômica, há margem de lucro de 19,17% associada à cogeração de energia com combustível *blend com* dormentes na UTE. Outra vantagem é que a madeira de dormente já apresenta níveis mínimos de umidade, o que elimina custos com secagem, e possui maior concentração de carbono do que a lenha de eucalipto.

O ganho com a economia feita coprocessando 1/5 de dormentes à biomassa (*blend*) é equivalente a 21,63% do orçamento anual do projeto social “Casa Saudável” da Fundação Vale na região da UTE Cosima, no Maranhão.

4.4 Alternativa para dormentes de madeira

As pressões mundiais pela preservação do meio ambiente e a própria escassez de madeira no Brasil obrigam as empresas ferroviárias no Brasil a pesquisar alternativas de reaproveitamento dos dormentes de madeira.

Além da substituição por outros materiais na fabricação dos dormentes, existem alternativas para os dormentes de madeira (ver Tabela 16).

Tabela 16 - Alternativa de destinação de dormentes em fim de vida útil da EFC.

ALTERNATIVA DE DESTINAÇÃO DE DORMENTES	
INTERNA	EXTERNA
Linhas auxiliares da EFC	Cogeração de energia elétrica
Venda para outras ferrovias do grupo Vale	Carbonização e siderurgia
Combustível para usina de pelletização	Indústria cimenteira (coprocessamento)
Construção civil (pilares; escoramento)	Construção civil (estacas de fundações)
Ornamentação e paisagismo	Ornamentação e paisagismo

Fonte: Entrevista com William Jacob, especialista em dormentes. Vale, 2013.

A partir da execução das obras de renovação e duplicação da linha férrea com dormentes de concreto, os dormentes de madeira íntegros retirados da EFC têm sido disponibilizados ainda em condições de uso para venda e aplicação em outras ferrovias do grupo Vale ou de outras empresas de logística ferroviária.

Para as peças não-íntegras a utilização interna pela Vale tem sido demarcação de baias nas CMD e de trilhas ecológicas, no Parque Botânico de São Luis, Maranhão (Figura 22).

Figuras 22 a, b – Reaproveitamento de dormentes de madeira não-íntegros.



a) Dormentes usados como peça ornamental.



b) Dormentes usados como baia na CMD.

A destinação externa é realizada através de venda para empresas homologadas pela Vale que os revendem para uso na construção civil ou como peça ornamental. O contrato de venda é firmado mediante a assinatura de um Termo de Compromisso de não queima.

Em 2008 cerca de 18 mil unidades de dormentes foram direcionadas para a Ferrovia Centro Atlântica (FCA) e 74 mil unidades foram destinadas à ferrovia Norte–Sul (FNS) do grupo VLi em 2015.

A única empresa atualmente homologada como destinatária de dormentes de madeira tratados para carbonização é a RECICARBON, situada em Aracruz, Espírito Santo. Esta empresa teve seu teste de queima aprovado pelo órgão ambiental local e é licenciada para a produção de carvão vegetal a partir dos dormentes de madeira provenientes de ferrovias do sistema sudeste-sul, tais como a EFVM, FCA e MRS.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as principais conclusões deste experimento, com foco nas dimensões econômica e ambiental da sustentabilidade.

A essência do experimento está alinhada com as dimensões da sustentabilidade, uma vez que aponta alternativa para o reaproveitamento e agregação de valor aos dormentes íntegros e não-íntegros descartados como resíduo pela EFC.

Há agregação de valor ao destiná-los de forma adequada para a cogeração de energia elétrica em UTE e redução dos custos operacionais relacionados ao plantio, colheita, transporte e secagem de biomassa.

Também há a opção de destiná-los para a carbonização e posterior uso na indústria siderúrgica como insumo. O setor da construção civil e paisagismo são outros nichos de mercado que podem reutilizar dormentes na construção de pontes, pontilhões, pilares e cercas, ou ainda como peças ornamentais.

A destinação adequada dos dormentes da EFC também reduz o número de ocorrências ambientais de queima a céu aberto e proporciona melhoria da qualidade de vida e da segurança das comunidades lindeiras pela redução dos incêndios ocasionados por dormentes na vegetação.

A alternativa de queima controlada e monitorada para a cogeração de energia elétrica ou carbonização para uso em siderurgia é sustentada pelos autores pesquisados (e.g. HERY, 2005; GULYURTLU, 2007; RENDEIRO, 2008; BOLIN e SMITH, 2011), os quais afirmaram que madeiras tratadas com creosoto têm sido reconhecidas como combustível tradicional¹⁸.

Independente do insumo, biomassa ou *blend* com dormentes, é necessário se mitigar as emissões de material particulado pela chaminé da caldeira e também deve-se levar em consideração a destinação das cinzas geradas no processo, classificadas como resíduo perigoso.

¹⁸ Combustível Tradicional é definido pela US EPA como sendo biomassa celulósica (e.g. madeira) e combustíveis fósseis (e.g. carvão, óleo e gás natural) e seus derivados (e.g. coque de petróleo, coque betuminoso, óleo de alcatrão de carvão, gás de refinaria, combustível sintético, asfalto, gás de alto forno, butano gasoso recuperado e gás de coqueria) que têm sido historicamente queimados como combustíveis e têm sido gerenciados como produtos com valor agregado.

A partir dos resultados do teste de queima com biomassa e dormentes discutidos no capítulo anterior, a substituição de 1/5 da biomassa da lenha de eucalipto por *chips* de dormentes como insumo energético na UTE teve viabilidade ambiental e econômica confirmada, desde que adotadas medidas como:

- 1- Melhorar o controle do processo de alimentação e de queima de biomassa na caldeira, a fim de possibilitar o monitoramento mais eficiente da relação ar/combustível, temperaturas e pressões no interior da fornalha e quantidade de biomassa a ser queimada em função da demanda de vapor;
- 2- Alterar a forma de retirada das cinzas da fornalha pelo processo de “sopragem”, o qual promove o arraste das cinzas juntamente com os gases de combustão para a chaminé provocando a elevada emissão de partículas para a atmosfera. Por exemplo, no processo de sopragem das cinzas da fornalha ficaram evidentes espasmos intermitentes de fumaça preta lançados pela chaminé da UTE durante o teste de queima realizado (ver Figura 21 a, b. pg 62);
- 3- Avaliar a eficiência de retenção do equipamento multiciclone; caso o mesmo se mostre eficiente, com taxas superiores a 50% de abatimento, sugere-se que o multiciclone seja mantido e um equipamento auxiliar seja acoplado em série;
- 4- Instalar equipamento de controle da poluição para a retenção e abatimento do material particulado. (e.g. filtro de mangas¹⁹ ou precipitador eletrostático²⁰ que operem em conjunto com um defagulhador para evitar a queima das mangas, ou ainda um lavador de gases);
- 5- Avaliar as condições de uso e o desgaste do material refratário da caldeira, uma vez que os parâmetros que apresentaram alterações indicam que o contaminante possa ser dos compostos existentes neste material refratário;
- 6- Estudo complementar deverá focar na formação de PCDD e PCDF ao longo do processo com o intuito de evitar esses poluentes. Conforme as melhores técnicas disponíveis e as melhores práticas ambientais (BAT/BEP), a adição de ureia pode reduzir até 50% da emissão de PCDD e PCDF ao limitar a

¹⁹ Filtro de manga: Dispositivo de tratamento de emissões que filtra as partículas de impurezas presentes no ar carregado, retendo-as nos poros dos fios e na superfície do filtro criando uma barreira que também atua como meio filtrante, mas com o tempo precisa ser mantida limpa.

²⁰ Precipitador eletrostático ou filtro de ar eletrostático é um dispositivo que, por processo de ionização, deixa as partículas de impurezas do ar carregadas eletricamente, sendo as mesmas atraídas pelas placas laterais do equipamento, neutralizadas e deslocadas para um funil. Daí seguem para a área de descarte, onde recebem o tratamento adequado.

disponibilidade de cloro e inibir a formação destes poluentes (ASSUNÇÃO, 2014).

Sob a ótica econômica e ambiental foi verificado que o planejamento anual de dormentes descartados da EFC até 2022 pode reduzir até 16% da utilização anual de biomassa na UTE Cosima, o que evitaria o corte de árvores de eucalipto nas fazendas.

O coprocessamento com dormentes reduz o custo da matéria-prima em 19,17% evitando etapas de plantio, cultivo e colheita, além da secagem da madeira. Também evita desperdício de água para irrigação do eucalipto e o custo de transporte, uma vez que a UTE Cosima possui um ramal ferroviário que possibilita a logística do transporte dos dormentes até o seu pátio interno de descarga de insumos.

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da região onde está inserida a UTE é baixo em relação a média brasileira e reflete a situação da região nordeste. Considerando a situação socioeconômica precária em que vive a população local, o cultivo de biomassa para a geração de energia em áreas rurais, com dificuldade de abastecimento por combustíveis fósseis ou sistema hidrelétrico, tem se mostrado uma atividade economicamente viável.

A UTE Cosima tem capacidade de abastecer com sua produção de energia elétrica cerca de 20 mil residências.

Quanto aos aspectos ambientais uma central a biomassa possui balanço de carbono lançado na atmosfera menor que a das centrais a combustíveis fósseis, considerando o princípio conhecido como emissões evitadas de carbono e, levando-se em conta todo o ciclo de vida da biomassa. Comparativamente às emissões de uma termelétrica a diesel, 1 kWh gerado por uma UTE a biomassa deixa de contabilizar 1,02 kg de CO₂ eq²¹, para efeito de inventário de emissões.

²¹ eq: carbono equivalente. Está relacionado ao Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential - GWP*, em inglês) dos gases do efeito estufa (GEE) comparativamente à quantidade de dióxido de carbono que teria o mesmo GWP medido num período de tempo específico (e.g. o GWP do metano é 21 e do óxido nitroso é 310. Isto significa que a emissão de 1 milhão de toneladas métricas de metano e óxido nitroso é equivalente a emissões de 21 e 310 milhões de toneladas métricas de dióxido de carbono, respectivamente).

Somente a emissão de carbono relativa ao transporte da biomassa, que é feito com óleo diesel, é lançado à atmosfera. O restante é absorvido pelo manejo sustentável de florestas de eucalipto plantadas e pelo crescimento de novas árvores.

Estas centrais também possuem capacidade de receber resíduos vegetais que são abandonados ou queimados a céu aberto, amenizando a questão ambiental da queima de resíduos a céu aberto e emissão de GEE.

No aspecto socioeconômico, centrais a biomassa de pequeno e médio portes têm a versatilidade de poderem ser instaladas em regiões inóspitas do país onde o sistema convencional tem dificuldade de produção e distribuição de energia elétrica.

A UTE tem a capacidade de ser integrada à economia local e gerar empregos diretos e indiretos, inclusive com posições menos qualificadas que podem ser ocupadas por empregado com baixa escolaridade. Além disso, pode movimentar a economia local através do incentivo a produção da biomassa na agricultura familiar.

O custo do quilowatt-hora (kWh) gerado na usina à biomassa é inferior ao gerado pela usina a diesel e apesar de não ser competitivo quando comparado ao da geração hídrica, lidera o *ranking* entre as outras gerações térmicas.

Estas UTEs podem operar por longos períodos de tempo sem interrupção (requerem somente 250 horas por ano de parada para manutenção), e atendem as exigências da ANEEL (RENDEIRO, 2008).

A UTE Cosima foi dimensionada para a potência de 5 MW, com produção nominal de 40.800 MWh/ano e consumo de biomassa da ordem de 70 mil toneladas por ano. O preço médio para venda de energia à biomassa foi cotado nos leilões de energia elétrica a R\$209,00 por megawatt-hora (ANEEL, 2014), logo a receita anual total é 8,5 milhões de reais.

O custo estimado da matéria-prima em uma UTE gira em torno de 60% do preço da energia (NOGUEIRA, 1995); neste estudo de caso em torno de R\$ 21,00/tonelada, que envolve as etapas de corte, carregamento e transporte. O custo total estimado para somente biomassa (cavaco de eucalipto) é de R\$1,47 milhão por ano. Considerando que a disponibilidade de dormentes é de 16% do total de biomassa requerida para consumo anual, ainda assim a inoculação de 20% de dormentes misturados a biomassa, reduziria o custo gerando uma economia de R\$282 mil por ano para a UTE, o que representa uma margem de lucro de 19,17%.

O custo de destinação destas peças para um aterro industrial ou para incineração é de R\$1.012,89 por tonelada (Vale, 2013). O gasto anual para a empresa Vale seria de 11 milhões de reais para incinerar 11.000 toneladas de dormentes inservíveis anualmente até 2018.

O reaproveitamento energético dos dormentes coprocessados à biomassa em UTE elimina esse custo de destinação e ainda gera economia de 14 mil reais por ano para a Vale com a venda das peças à UTE pelo preço médio praticado.

A margem de lucro associada à mistura de dormentes à biomassa na UTE poderá ter diferentes finalidades, incluindo investimento na melhoria do sistema de controle ambiental das emissões atmosféricas, cujas estimativas de custo para o dimensionamento adequado dos dispositivos de tratamento necessários para reduzir MP, PCDD e PCDF fica entre 300 a 800 mil reais.

Como linhas de pesquisa futura, sugere-se a realização de novo teste de queima:

- 1- Com a variação do percentual de dormentes entre 10 a 20% para medir a emissão de MP e PCDD e PCDF e monitorar a concentração destes poluentes, a fim de avaliar se a mesma diminui e se estabiliza em níveis inferiores ao limite máximo permitido pela Resolução 316/2002 CONAMA.
- 2- Com a adição de ureia recomendada pelas BAT/BEP para avaliar o abatimento na formação de dioxinas e furanos (PCDD e PCDF).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL), Edital do Leilão nº 6/2014 (A-5). 2014. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8185&i_d_area=90

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-10004, NBR-10005, NBR-10006 e NBR-10007: Classificação de resíduos sólidos – Coletânea de Normas. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR-11824: dormentes de aço. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR-12477: dormentes de aço laminado. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR-12803: dormentes preservados de madeira. Rio de Janeiro, 1993.

_____. NBR-6232: tratamento preservativo de dormentes de madeira. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR-7511: dormentes de madeira. Rio de Janeiro, 1994.

ALVES, G.K.A. Os dormentes ferroviários, seu tratamento e o meio ambiente. Mestrado em engenharia de transportes. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ASSUNÇÃO, J.V. e PESQUERO, C. **Dioxinas e Furanos**: Origens e Riscos. Revista de Saúde Pública, Vol. 33, nº 5, Outubro/1999, p.523–530. Universidade de São Paulo (USP), Faculdade de Saúde Pública. ISSN 0034-8910. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89101999000500014>>.

ASSUNÇÃO, J.V. Estratégias para redução de liberações de dioxinas e furanos no Brasil. 2014. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/226151549/Estrategias-para-Reducao-de-Liberacoes-de-Dioxinas-e-Furanos-pdf#scribd> Acesso em: Maio 2015.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN 2014). Síntese do Relatório Final 2014. Matriz Energética Brasileira em 2013. Elaborado por Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Ministério das Minas e Energia - MME, 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br>

BECKER, L.; MATUSCHEK, G.; LENOIR, D. et al. (2001). Thermal degradation of wood treated with creosote. Disponível em: **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Vol. 57(1). p. 15–36. DOI 10.1016/S0165-2370(00)00117-0

BOLIN, Christopher e SMITH, Stephen, (2011). Life cycle assessment of ACQ-treated lumber with comparison to wood plastic composite decking. **Journal of Cleaner Production**. Volume 19, Issue 6-7, April-May 2011. p. 620-629. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610004567>>. Acesso em: jan. 2015. DOI 10.1016/j.jclepro.2010.12.004.

_____. Life cycle assessment of borate-treated lumber with comparison to galvanized steel framing. **Journal of Cleaner Production**. Volume 19, Issue 6-7, April-May 2011. p. 630-639. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610004579>>. Acesso em: jan. 2015. DOI 10.1016/j.jclepro.2010.12.005.

_____. Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. Renewable and Sustainable Energy Reviews. **Journal of Cleaner Production**. Volume 15, Issue 5, June 2011. p. 2475-2486. Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000682>>. DOI 10.1016/j.rser.2011.01.019. Acesso em: jan. 2015.

BRINA, H.L. **Estradas de ferro: tração, frenagem, material rodante, circulação de trens**. Belo Horizonte: UFMG, 1988. 2ª edição Vol 2. 216 p.

BROWN, T.L; LE MAY, H.E; BURSTEN, B. E. et al. Química a ciência central. 9 ed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRUCE, N; PEREZ-PADILLA, R; ALBALAK, R. **Indoor air pollution in developing countries**: a major environmental and public health challenge. Bulletin of the World Health Organization, Vol. 78, n. 9, 2000. Genebra, Suíça. ISSN: 0024-9686. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0042-96862000000900004>> Acesso em: Jan. 2015.

CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado de São Paulo 2002** – São Paulo: CETESB, 2003. 131pp. ISSN 0103-4103.

COMUNIDADE EUROPÉIA. **Diretiva 2003/2/CE** de la comisión de 6 de enero de 2003 que limita la **comercialización y el uso del arsénico** (décima adaptación al progreso técnico de la directiva 76/769/CEE del Consejo).

COSTA, Donizete Macedo. **Estudo de Alternativas para a Disposição Final de Dormentes de Madeira Tratados Usados**: Viabilidade da Utilização como Combustível em Forno Cerâmico, em Substituição à Lenha. Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) - Referência: B1601. 2007.

DAMBRUOSO, P.; de GENNARO, G.; di GILLIO, A. et al. The impact of infield biomass burning on PM levels and its chemical composition. **Chemistry in a Sustainable Society, Environmental Science and Pollution Research**, Vol 21, Issue 23, p 13175-13185. DOI 10.1007/S11356-01323844.

DANTAS FILHO, P.L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, USP, 2009, 175p.

EPA. Preliminary Risk Assessment for Creosote. **Pesticides**: Topical & Chemical Fact Sheets – U.S. Environmental Protection Agency, 2007. Disponível em:

<http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/chemicals/creosote_prelim_risk_assess.htm>. Acesso em: abril 2014.

ERM BRASIL, VALE S/A. **Teste de Queima** de Dormentes na Usina Termelétrica da Queiroz Galvão localizada em Santa Inês-MA. Relatório Final. Vale, ERM, Dezembro, 2013. 68 p.

FOUNTOUNKIS, C.; BUTLER, T.; LAWRENCE, M.G. et al. Impacts of controlling biomass burning emissions on wintertime carbonaceous aerosol in Europe. Original research article: **Atmospheric Environment**. Volume 87, Abr, 2014. p. 175-182. DOI 10.1016/j.atmosenv.2014.01.016. Acesso em: fev. 2015.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. In: **Encontro de Energia do Meio Rural**, 6. 2006, Campinas. Proceedings online... Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000100021&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 13 jun. 2013.

GOMES, H.; RIBEIRO, A.B.; LOBO, V. **Modelo de Optimização da Localização de Unidades de Remediação de Resíduos de Madeira Tratada** - Silva Lusitana 14(2). p. 181–202. 2006. Disponível para download em: <<http://www.scielo.oces.mctes.pt/pdf/slu/v14n2/v14n2a05.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.

GOMES, S.I.; CORRADI, G.; RAVAGNANI, M.A.S.S. et al. Análise da viabilidade do sistema silvipastoril como alternativa energética, não convencional, para produção complementar de energia elétrica e o desenvolvimento territorial sustentável. **2º Simpósio de Bioenergia e biocombustíveis do Mercosul**, Set 2014.

GULYURTLU, I. Estado da Arte da Gasificação de Biomassa. **Seminário “Culturas energéticas, biomassa e biocombustíveis”**. Universidade de Évora. DEECA/INETE.PT. 2007. Acesso em Outubro, 2014.

HELSEN, L.; VAN den BULCK, E.; VAN den BROECK, K. et al. **Low-temperature Pyrolysis of CCA treated wood waste chemical determination and statistical analysis of metal in and output; mass balances**. Waste Management, Vol. 17, issue 1, p. 79-86. 1997. DOI 10.1016/S0956-053X(97)00040-8.

HERY, Jean-Sebastian. **A Complete Industrial Process to Recycle CCA-treated wood**. "Chartherm" R&D Department, THERMYA. In: Environmental Impacts of Preservative-treated wood. February 8 – 11, 2004, Orlando, FL, USA. Disponível para download em: <http://ccaresearch.org/ccaconference/pre/document/FI_Env_Cent_Treated_Wood_Proceedings2.pdf#page=321>.

JACOB, J.; CHERIAN, J. Review of environmental and human exposure to persistent organic pollutants. **Asian Social Science**, Vol. 9, n.11, 2013. ISSN 1911-2017. DOI 10.5539/ass.v9n11p107. Disponível em: ccsenet.org/journal/index.php/ass/article/viewFile/30042/17799. Acesso em Out. 2014

JANKOWSKY, I.; CAMARGO, L.E.A. Avaliação preliminar da toxidez de óleos de xisto betuminoso em relação a fungos xilófagos. In: **Boletim ABPM**, São Paulo, Vol: 50, p.1-5. Dez, 1986.

_____. **Os Creosotos na preservação de madeiras**. Departamento de Ciências Florestais. ESALQ-USP. IPEF, nº 34, 1986. p. 5-14.

_____. **Potencialidade do creosoto de Eucalyptus spp como preservativo para madeiras**. São Paulo. Escola Politécnica da USP, 1986, 159 p. (Tese de doutorado).

JANKOWSKY, I. et al. Estudo preliminar sobre a toxidez do alcatrão e do creosoto da madeira em relação ao fungo Polyporus fumosus (Pers. Ex Fries). **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, (137): 1-6. 1981.

JAPH SERVIÇOS ANALÍTICOS, RECICARBON IND. COM. LTDA. **Relatório do Estudo de Viabilidade de Queima (EVQ) com dormentes**. Unidade Industrial de Aracruz/ES. Relatório Final. Recicarbon Ind. Com. Ltda, JAPH Serviços Analíticos Ltda, Março, 2013. 79 p.

KAMISAKI, G.; VALENTE, R.C.; HEIER, T. et al. Análise técnica e econômica da cogeração de energia elétrica utilizando turbina a vapor em ciclo simples a partir de biomassa. Faculdade de Tecnologia de Resende FAT, Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ. Paper CIT-06-0260. **Proceedings of 11th Brazilian Congresso f Thermal Sciences and Engineering ENCIT 2006**, Curitiba, PR, Brazil, Dec 5-8, 2006. Paper CIT 06-0260.

KAPOORIA, R.K.; KUMAR, S.; KASANA, K.S. An analysis of a thermal power plant working on a Rankine cycle: a theoretical investigation. In: **Journal of Energy in Southern Africa**. Vol.19. Nº 1, 2008.

LETURCQ, Phillippe. Wood Preservation (carbon sequestration) or wood burning (fossil-fuel substitution), which is better for mitigating climate change?. In: **Annals of Forest Science** Springer Verlag (Germany), 2014, 71 (2), pp.117-124, 2014. Vol: 71. p.117–124.

MACEDO, Isaías C. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Secretaria Técnica do Fundo Setorial de Energia, CGEE, 2001.

MACHADO, Alexandre. **Gerenciamento de energia em planta industrial visando a redução dos custos de operação**. Projeto submetido ao Depto. Eng. Elétrica da Escola Politécnica da UFRJ para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista. [s.d].

MAGALHÃES, W.L.E.; MATTOS, B.D.; MISSIO, A.L. Field testing of CCA – treated Brazilian spotted gum. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Vol. 74, 2012. p. 124–128. DOI 10.1016/j.ibiod.2012.05.024.

MAIOLI, O.L.G.; KNOPPERS, B.A.; AZEVEDO, D.A. Sources, distribution and variability of hydrocarbons in total atmospheric suspended particulates of two Brazilian

areas influenced by sugarcane burning. **Springer Science+Business Media**. 2010. DOI 10.1007/s10874-010-9175-9.

MARCOTTE, S.; POISSON, T.; PORTET-KOLTALO, F. et al. Evaluation of the PAH and water-extractable phenols content in used cross ties from French rail network. In: **Chemosphere** 111, September 2014. Page 1-6. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653514003610>. Acesso em: jan. 2015. DOI 10.1016/j.chemosphere.2014.03.012.

MEINCKEN, M. & FUNK, S. **Burning characteristics of low-cost safety charcoal briquettes made from wood residues and soil for domestic use**. Springer Science+Business Media Dordrecht 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10457-014-9772-8>. Acesso em: jan. 2015. DOI 10.1007/s10457-014-9772-8.

MORESCHI, J.C. Produtos preservativos de madeira. Curso de pós-graduação em engenharia florestal. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://engmadeira.yolasite.com/resources/Preservantesdemadeira.pdf>

NETO, Vicente C. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. Tese submetida para obtenção do grau de mestre em Ciências do Planejamento Energético UFRJ/COPPE, 2001. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/vcneto.pdf>. Acesso em: Outubro, 2014.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Uso da biomassa florestal para geração elétrica em grande escala: o projeto "WBP-SIGAME" brasileiro**. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Instituto de Mecânica, Itajubá, MG. Depósito de Documentos de la FAO, 1995. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0m.htm#usodebiomassaflorestalparageraçãoeletricaemgrande>. Acesso em: Outubro, 2014.

NUNES, I. **História das ferrovias**. Monografia de conclusão de curso de graduação em Ciências Sociais, UNESP, 1993. 41 f. Acesso em: Agosto, 2014.

PACHA, R. S. **Notas de aula da disciplina Hidrovias e Ferrovias**. Universidade Federal do Pará. Belém: 2003. Acesso em: Agosto, 2014.

PALONEN, J; NIEMINEM, J.; BERG, E. **Review of Finnish biomass gasification technologie**. 1998 In: OPET, Finland, Report 4. Expoo 2002. ISSN 0260-7840. Acesso em: Setembro, 2014.

PRETO, E.V. e MORTOZA, G.L. **Geração de Energia Elétrica utilizando biomassa**. 2010. 82 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010. Disponível em: <http://bdm.unb.br/handle/10483/1381>. Acesso em: Dezembro, 2014.

Queiroz Galvão, **Revista 360°**. nº 23, Ano 6, 2012. Disponível em: <https://queirozgalvao.uberflip.com/i/315507-edicao-23> Acesso em: Setembro, 2013.

QUÉNO, L.R.M. (2009). Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e capim elefante para energia. Dissertação de mestrado em Engenharia Florestal. Publicação PPG EFL. DM-132/09, Depto de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 64p. Acesso em: Janeiro, 2015.

RENDEIRO, Gonçalo (Coord). Combustão e gasificação de biomassa sólida. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 193 p. (Soluções energéticas para a Amazônia). In: **Programa Luz para todos**. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/863>. ISBN 9788598341057. Acesso em: Dezembro, 2014.

RIBEIRO, R. S. **Investigação Experimental e Integração de um sistema de geração de energia elétrica por gaseificação de biomassa para comunidades isoladas**. Dissertação de Mestrado defendida no Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007. Acesso em: Janeiro, 2014.

SALDIVA, P.H.N.; CARMO, R.L. et al. Saúde humana, bem estar e segurança. In: **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional**. Volume 2, 2006. p 262-311. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT2/GT2_volume_completo_cap6.pdf.

SALES, C. A. V. B. **Avaliação Técnico - Econômica de Rotas Tecnológicas Convencionais e Avançadas para Produção de Eletricidade Através da Gaseificação de Biomassa**. Dissertação de Mestrado. Itajubá, Universidade Federal de Itajubá, 2006.172p.

SALLES, Ana Claudia Nioac de. **Emissões dos Gases do Efeito Estufa dos Dormentes de Ferrovia de Madeira Natural e de Madeira Plástica no Brasil e na Alemanha com Base em seus Ciclos de Vida**. Tese de Doutorado defendida no Instituto Alberto Luiz Coimbra da Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2009.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change**. Ed. John Wiley & Sons, Second Edition, p.232. 2012. ISBN 1118591364. Disponível em: http://books.google.com.br/books?id=YH2K9eWsZOcC&gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: Novembro 2015.

TATÀNO, F.; BARBADORO, L.; MANGANI, G; et al. Furniture wood wastes: Experimental property characterization and burning tests. **Waste Management**, Volume 29, Issue 10, Out, 2009. p. 2656-2665. DOI 10.1016/j.wasman.2009.06.012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09002293>

THIERFELDER, T; SANDSTRÖM, E. The creosote content of used railway crossties as compared with European stipulations for hazardous waste. **Science of the total environment**, Volume 402, 2008. p. 106-112. DOI 10.1016/j.scitotenv.2008.04.035. Disponível em: www.sciencedirect.com e www.elsevier.com/locate/scitotenv.

TREATED WOOD COUNCIL. **Comments on proposed draft final regulations - 225 CMR 14:00: Renewable Energy Portfolio Standard - Class I: Eligible Biomass Fuel**

Definition Revisions.Submitted via email to Massaschusetts Department of Energy Resources, 2012.

VIDAL, J.M.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C. et al. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. *Ciência Florestal*. Vol. 25, n.1, Santa Maria Jan/Mar. 2015. ISSN 1980-5098. DOI 10.1590/1980-5098.2015.25.05.257. Versão online disponível em: www.scielo.br/scielo.php?pid=51980-50982015000100257&script=sci_arttex#B16 Acesso em Abril, 2015.

WANG, D.K.W. et al. **Sampling and analytical methodologies for PCDDs and PCDFs in incinerators and wood burning facilities**. Environment Canada, Air Pollution Control Directorate, Ottawa, Ontario, Canada, 2013.

WANG, H.; ZHUANG, Y.; HAO, Z. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons from rural household biomass burning in a typical Chinese village. **Research Center for Eco-Environment Sciences**. Beijing, China, 2009. DOI 10.1007/s11430-008-0064-x. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/225518814_Polycyclic_aromatic_hydrocarbons_from_rural_household_biomass_burning_in_a_typical_Chinese_village

WESTERN WOOD PRESERVATION INSTITUTE (WWPI). Diretiva Americana para **tratamento e disposição final de madeiras tratadas**. Disponível em: http://www.wwpinstitute.org/disposal_management.html Acesso em Outubro, 2014.

WILCKEN, C.F.; LIMA, A.C.; DIAS, T.K.R. et. al. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. FEPAF. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Campos Botucatu-SP, 2008. 25p. Disponível em : <http://www.iandebo.com.br/pdf/plantioeucalipto.pdf>

APÊNDICE A – MÉTODOS UTILIZADOS PARA COLETAS E ANÁLISES DE GASES EM FONTES FIXAS.

Seguem os métodos utilizados para coletas e análises de gases em fontes fixas. Estes métodos estão preconizados pela US EPA – *United States Environmental Protection Agency*.

- Method 1 - "Sample and Velocity Traverses for Stationary Sources";
- Method 2 - "Determination of Stack Gas Velocity and Volumetric Flow Rate (Type S Pitot Tube)";
- Method 3 - "Gas Analysis for Carbon Dioxide, Oxygen, Excess Air, and Dry Molecular Weight";
- Method 4 - "Determination of Moisture content in Stack Gases";
- Method 5 - "Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources";
- Method 7 - "Determination of Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources";
- Method 8 - "Determination of Sulfuric Acid Mist and Sulfur Oxide Emissions from Stationary Sources";
- Method 10 - "Modified Method 5 Sampling Train for Semi Volatile Organic Compounds in Stack Gases";
- Method 13B - "Determination of Total Fluoride Emissions From Stationary Sources - Specific Ion Electrode Method";
- Method 23 - "Determination of Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and Polychlorinated dibenzofurans from Stationary Sources";
- Method 26A - "Determination of Hydrogen Halide and Halogen Emissions from Stationary Sources – Isokinetic Method";
- Method 29 - "Determination of Metals Emissions from Stationary Sources";
- Method 30 - "Determination of Volatile organic compounds from Stationary Sources";
- Method 101A - "Mercury from Sewage Sludge Incinerators";
- Method 429 - "Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions from Stationary Sources".

- Method 8270 – “Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)”;
- Method 8290 – “Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins & Dibenzofurans Measurements” for the flue gas samples”;
- Method 9057- “Determination of HCl and HF Emission Sampling Train by Anion Chromatography”;
- NBR 10004:04 ABNT – “Análise da massa bruta das cinzas resultantes da incineração e classificação em resíduo perigoso ou não perigoso”.

APÊNDICE B - TABELAS DE RESULTADOS DOS TESTES

TESTE DE BRANCO – APENAS BIOMASSA

Tabela 1 - Resultados das Amostragens de Material Particulado e Óxidos de Enxofre. Chaminé da unidade termelétrica

Referência		01 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		9:00 às 10:06	10:20 às 11:36	13:20 às 14:40
Temperatura (°C)		166,21	166,08	166,21
Umidade (% vol.)		6,94	6,58	7,14
Velocidade (m/min)		1.337,15	1.363,66	1.372,28
Vazão (m³/h)*		138.021,39	140.757,50	141.646,80
Vazão (nm³/h)**		77.076,70	78.924,87	78.928,27
Material Particulado	Concentração (mg/Nm³)**	529,55	472,87	544,45
	Taxa de Emissão (kg/h)	40,82	37,32	42,97
	Concentração a 7% O ₂ (mg/Nm³)**	950,47	871,07	1.058,65
Dióxido de Enxofre	Concentração (mg/Nm³)**	3,13	2,24	6,60
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,24	0,18	0,52
Trióxido de Enxofre	Concentração (mg/Nm³)**	0,02	0,02	0,21
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	16,32
SO _x (como SO ₂)	Concentração (mg/Nm³)**	3,15	2,26	6,76
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,24	0,18	0,53
	Concentração a 7% O ₂ (mg/Nm³)**	5,65	4,16	13,15
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,20	7,20	6,80
	O ₂ (%vol.)	13,20	13,40	13,80
	CO (%vol.)	0,00	0,00	0,00
	N ₂ (%vol.)	79,60	79,40	79,40
Isocinética (%)		98,07	96,95	97,63

(*) Em condições da chaminé.

(**) Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND Não detectado – Abaixo do limite de quantificação do método de análise (LQ SO₃: 0,02 mg).

Tabela 2 - Resultados das Amostragens de Metais.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		01 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		15:00 às 17:15	17:25 às 19:36	19:50 às 22:05
Temperatura (°C)		165,54	166,38	166,67
Umidade (% vol.)		6,69	5,75	6,22
Velocidade (m/min)		1.399,57	1.397,17	1.394,31
Vazão (m³/h)*		144.464,08	144.216,87	143.921,64
Vazão (nm³/h)**		81.009,89	81.532,06	80.914,59
tálio	Concentração (mg/nm³)**	N D	N D	0.0009
	Taxa de Emissão (kg/h)	N D	N D	0.0001
níquel	Concentração (mg/Nm³)**	0.0009	0.0014	0.0014
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0001	0.0001	0.0001
chumbo	Concentração (mg/Nm³)**	0.0057	0.0062	0.0069
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0005	0.0005	0.0006
cromo	Concentração (mg/Nm³)**	0.0051	0.0055	0.0060
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0004	0.0004	0.0005

(**) Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND Não detectado – Abaixo do limite de quantificação do método de análise para cádmio (LQ: 0,001 mg), mercúrio (LQ: 0,00002 mg), arsênio (LQ: 0,001 mg), cobalto (LQ: 0,001 mg), telúrio (LQ: 0,003 mg), selênio (LQ: 0,001 mg) e antimônio (LQ: 0,001 mg).

Limites de quantificação para outros metais: LQ tálio: 0,002 mg; LQ níquel: 0,001 mg; LQ chumbo: 0,0009 mg; LQ cromo: 0,001 mg; LQ cobre: 0,001 mg; LQ estanho: 0,001 mg; LQ manganês: 0,001 mg; LQ platina: 0,003 mg; LQ paládio: 0,002 mg; LQ ródio: 0,003 mg; LQ vanádio: 0,002 mg.

Tabela 3 - Resultados das Amostragens de Metais (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		01 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
cobre	Concentração (mg/Nm ³)**	0.0057	0.0062	0.0069
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0005	0.0005	0.0006
estanho	Concentração (mg/Nm ³)**	0.0051	0.0055	0.0060
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0004	0.0004	0.0005
manganês	Concentração (mg/Nm ³)**	0.0217	0.0174	0.0194
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0018	0.0014	0.0016
platina	Concentração (mg/Nm ³)**	N D	N D	0.0009
	Taxa de Emissão (kg/h)	N D	N D	0.0001
paládio	Concentração (mg/Nm ³)**	0.0886	0.1292	0.1378
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0072	0.0105	0.0112
Análise de Orsat	CO ₂ (%vol.)	7,20	7,40	7,20
	O ₂ (%vol.)	13,40	13,60	13,60
	CO (%vol.)	0,00	0,00	0,00
	N ₂ (%vol.)	79,40	79,00	79,20
Isocinética		96,80	96,91	97,06

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND Não detectado – Abaixo do limite de quantificação do método de análise para ródio (LQ: 0,003 mg) e vanádio (LQ: 0,002 mg).

Limites de quantificação dos demais metais: LQ cádmio: 0,001 mg; LQ mercúrio: 0,00002 mg; LQ tálio: 0,002 mg; LQ arsênio: 0,001 mg; LQ cobalto: 0,001 mg; LQ níquel: 0,001 mg; LQ telúrio: 0,003 mg; LQ selênio: 0,001 mg; LQ antimônio: 0,001 mg; LQ chumbo: 0,0009 mg; LQ cromo: 0,001 mg; LQ cobre: 0,001 mg; LQ estanho: 0,001 mg; LQ manganês: 0,001 mg; LQ platina: 0,003 mg; LQ paládio: 0,002 mg.

Tabela 4 - Resultados das Amostragens de Cianetos.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		01 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		9:00 às 10:06	10:20 às 11:26	13:20 às 14:40
Temperatura (°C)		165,83	166,79	168,25
Umidade (% vol.)		7,43	7,11	7,41
Velocidade (m/min)		1.343,07	1.405,22	1.363,86
Vazão (m³/h)*		138.632,01	145.047,47	140.778,12
Vazão (nm³/h)**		77.077,30	80.740,46	77.855,85
cianetos	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	ND
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	-	-	-
	Taxa de Emissão (kg/h)	-	-	-
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,2	7,20	6,80
	O ₂ (%vol.)	13,2	13,4	13,8
	CO (%vol.)	0	0	0
	N ₂ (%vol.)	79,6	79,4	79,4
Isocinética (%)		93,04	91,91	93,38

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND Não detectado – Valor abaixo do limite de quantificação do método de análise (LQ cianetos: 0,0015 mg).

Tabela 5 - Resultados das Amostragens de Dioxinas e Furanos.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		02 de Novembro de 2013		
Dados		1ª Coleta	2ª Coleta	2ª Coleta
Horário		8:48 às 12:00	12:32 às 16:12	16:30 às 19:20
Temperatura (°C)		165,58	165,38	166,46
Umidade (% vol.)		7,93	9,24	11,31
Velocidade (m/min)		1.386,03	1.348,06	1.366,95
Vazão (m³/h) *		143.066,67	139.147,49	141.097,20
Vazão (m³/h) N **		80.118,77	76.864,38	79.240,98
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)***	7,3	7,4	7,4
	O ₂ (%vol.)***	13,6	13,4	13,4
	CO (%vol.)***	0	0	0
	N ₂ (%vol.)***	79,1	79,2	79,2
Isocinética		100,05	100,00	98,49
Resultados de Concentração e Taxa de Emissão de Dioxinas				
2,3,7,8 – TCDD	C (ng/m³) N **	0.0276	0.0220	0.0165
(FET = 1,0)	Te (µg/h)	2.2092	1.6946	1.3095
1,2,3,7,8 – PeCDD	C (ng/m³) N **	0.0216	0.0034	0.0027
(FET = 0,5)	Te (µg/h)	1.7313	0.2600	0.2155
1,2,3,4,7,8 – HxCDD	C (ng/m³) N **	0.0013	0.0002	0.0001
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.1008	0.0124	0.0085
1,2,3,6,7,8 – HxCDD	C (ng/m³) N **	0.0037	0.0002	0.0001
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.2991	0.0129	0.0115
1,2,3,7,8,9 – HxCDD	C (ng/m³) N **	0.0015	0.0001	0.0001
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.1219	0.0054	0.0058
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	C (ng/m³) N **	0.0004	0.0001	0.0001
(FET = 0,01)	Te (µg/h)	0.0304	0.0047	0.0043
OCDD	C (ng/m³) N **	0.00001	0.00001	0.00001
(FET = 0,001)	Te (µg/h)	0.0008	0.0006	0.0005
Total de Dioxinas como Toxicidade Equivalente a 2,3,7,8-TCDD ^(a)	C (ng/m³) N **	0.0561	0.0259	0.0196
	C a 7 % de O2 (ng/m³) N **	0.1061	0.0477	0.0362
	Te (µg/h)	0.0045	0.0020	0.0016

Tabela 6 - Resultados das Amostragens de Dioxinas e Furanos (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Resultados de Concentração e Taxa de Emissão de Furanos				
2,3,7,8 – TCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0388	0.0270	0.0247
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	3.1113	2.0735	1.9573
1,2,3,7,8 – PeCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0072	0.0027	0.0020
(FET = 0,05)	Te (µg/h)	0.5737	0.2052	0.1611
2,3,4,7,8 – PeCDF	C (ng/m ³) _N **	0.1156	0.0217	0.0154
(FET = 0,5)	Te (µg/h)	9.2583	1.6703	1.2213
1,2,3,4,7,8 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0056	0.0004	0.0004
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.4460	0.0325	0.0326
1,2,3,6,7,8 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0056	0.0005	0.0004
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.4447	0.0379	0.0333
1,2,3,7,8,9 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0061	0.0004	0.0003
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.4922	0.0334	0.0260
2,3,4,6,7,8 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0019	0.0000	0.0001
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.1508	0.0035	0.0075
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0006	0.0000	0.0000
(FET = 0,01)	Te (µg/h)	0.0445	0.0021	0.0013
1,2,3,4,7,8,9 – HpCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0001	0.0000	0.0000
(FET = 0,01)	Te (µg/h)	0.0081	0.0000	0.0000
OCDF	C (ng/m ³) _N **	0.00001	0.00000	0.00000
(FET = 0,001)	Te (µg/h)	0.0011	0.0003	0.0003
Total de Furanos como Toxicidade Equivalente a 2,3,7,8-TCDD (a)	C (ng/m ³) _N **	0.1814	0.0528	0.0434
	C a 7 % de O ₂ (ng/m ³) _N **	0.3431	0.0973	0.0800
	Te (µg/h)	0.0145	0.0041	0.0034
Dioxinas e Furanos Expresso como Toxicidade Equivalente a 2,3,7,8 – TCDD				
Total PCDDs + PCDFs como 2,3,7,8-TCDD (a)	C (ng/m ³) _N **	0.2375	0.0787	0.0630
	C a 7 % de O ₂ (ng/m ³) _N **	0.4492	0.1450	0.1161
	Te (µg/h)	0.0190	0.0060	0.0050

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

C: Concentração;

Te: Taxa de emissão.

PCDDs - Dibenzo-para-dioxinas policloradas.

PCDFs - Dibenzofuranos policlorados

FET : Fator de Equivalência de Toxicidade da substância para expressá-la como 2,3,7,8 - tetraclorodibenzeno p-dioxina (2,3,7,8 - TCDD), especificados pela NATO/CCMS - North Atlantic Treaty Organization's - Committee on Challenges of Modern Society.

(a) Concentração total de dioxinas e furanos expresso com toxicidade equivalente a 2,3,7,8 tetraclorodibenzeno p-dioxina

Tabela 7 - Resultados das Amostragens de PAH.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		02 de Novembro de 2013		
Dados		1ª Coleta	2ª Coleta	2ª Coleta
Horário		8:48 às 12:00	12:32 às 16:12	16:30 às 19:20
Temperatura (°C)		165,58	165,38	166,46
Umidade (% vol.)		7,93	9,24	11,31
Velocidade (m/min)		1.386,03	1.348,06	1.366,95
Vazão (m³/h) *		143.066,67	139.147,49	141.097,20
Vazão (m³/h) N **		80.118,77	76.864,38	79.240,98
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)***	7,3	7,4	7,4
	O ₂ (%vol.)***	13,6	13,4	13,4
	CO (%vol.)***	0	0	0
	N ₂ (%vol.)***	79,1	79,2	79,2
Isocinética		100,05	100,00	98,49
Resultados de Concentração e Taxa de Emissão de PAH				
Acenafteno	C (µg/m³) N **	ND	ND	0.0428
	Te (g/h)	-	-	0.0034
Acenaftileno	C (µg/m³) N **	3.0052	3.7065	ND
	Te (g/h)	0.2408	0.2849	-
Antraceno	C (µg/m³) N **	5.6143	3.0471	3.8504
	Te (g/h)	0.4498	0.2342	0.3051
Benzo [ghi]perileno	C (µg/m³) N **	0.3578	0.4964	0.5888
	Te (g/h)	0.0287	0.0382	0.0467
Fenantreno	C (µg/m³) N **	ND	ND	3.8183
	Te (g/h)	-	-	0.3026
Fluoranteno	C (µg/m³) N **	3.0712	2.3116	3.0118
	Te (g/h)	0.2461	0.1777	0.2387
Fluoreno	C (µg/m³) N **	0.4586	ND	ND
	Te (g/h)	0.0367	-	-
Indeno[1,2,3-cd]pireno	C (µg/m³) N **	0.3405	0.4710	0.5531
	Te (g/h)	0.0273	0.0362	0.0438
Naftaleno	C (µg/m³) N **	64.3802	21.1992	31.9417
	Te (g/h)	5.1581	1.6295	2.5311
Pireno	C (µg/m³) N **	4.4400	4.2391	5.5133
	Te (g/h)	0.3557	0.3258	0.4369
Pentaclorofenol	C (µg/m³) N **	0.1737	0.1812	0.1784
	Te (g/h)	0.0139	0.0139	0.0141

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND: Não detectado. Resultado ND para todas as amostras de Benzo[a]antraceno, Benzo[a]fluoranteno, Benzo[k]fluoranteno, Benzo[a]pireno, Criseno e Dibenzo[a,h]antraceno.

Tabela 8 - Resultados das Amostragens de Compostos Orgânicos Voláteis - VOC Chaminé da unidade termelétrica

Referência		02 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta		
Temperatura (°C)		166,25		
Umidade (% vol.)		7,93		
Velocidade (m/min)		1.382,21		
Vazão (m³/h)*		142.672,75		
Vazão (nm³/h)**		79.815,14		
Compostos Orgânicos Voláteis		1ª Resina	2ª Resina	3ª Resina
Clorometano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0074	0,0132	0,0143
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0006	0,0011	0,0011
Cloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	ND	0,1347	0,1302
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	0,0107	0,0104
Benzeno	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0046
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0004
Tolueno	Concentração (mg/Nm³)**	0,1409	0,4298	0,5631
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0112	0,0343	0,0449
Etilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0269	0,0321	0,0923
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0021	0,0026	0,0074
Estireno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0103	0,0126	0,0373
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0008	0,0010	0,0030
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,3		
	O ₂ (%vol.)	13,6		
	CO (%vol.)	0		
	N ₂ (%vol.)	79,1		

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND: Não detectado – Resultados ND para os seguintes VOC: Cloreto de vinila, 1.1 – cicloroetano, m,p –xilenos, o- xilenos, n-propilbenzeno, 1.3.5 – Trimetilbenzeno e 1.2.4 – Trimetilbenzeno.

VD: Valor desconsiderado – Resultado VD para Diclorometano.

Tabela 9 - Resultados das Amostragens de VOC (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		02 de Novembro de 2013		
Parâmetros		2ª Coleta		
Temperatura (°C)		166,5		
Umidade (% vol.)		9,24		
Velocidade (m/min)		1.345,53		
Vazão (m³/h)*		138.886,26		
Vazão (nm³/h)**		76.558,54		
Compostos Orgânicos Voláteis		1ª Resina	2ª Resina	3ª Resina
Clorometano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0705	0,0132	0,0086
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0054	0,0010	0,0007
Cloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0750	0,0178	0,0155
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0057	0,0014	0,0012
Benzeno	Concentração (mg/Nm³)**	ND	0,0092	0,0092
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	0,0007	0,0007
Tolueno	Concentração (mg/Nm³)**	0,1363	0,4333	0,5040
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0104	0,0332	0,0386
Etilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0281	0,0441	0,2431
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0021	0,0034	0,0186
m,p -xilenos	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0728
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0056
o- xilenos	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0487
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0037
Estireno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0120	0,0235	0,0281
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0009	0,0018	0,0022
n-propilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0057
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0004
1.3.5 - Trimetilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0109
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0008
1.2.4 - Trimetilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0155
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0012
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,5		
	O ₂ (%vol.)	13,3		
	CO (%vol.)	0		
	N ₂ (%vol.)	79,2		

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base Seca.

ND: Não detectado – Resultados ND para Cloreto de vinila, 1.1 – cloroetano.

VD: Valor desconsiderado – Resultado VD para Diclorometano.

Tabela 10 - Resultados das Amostragens de VOC (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		02 de Novembro de 2013		
Parâmetros		3ª Coleta		
Temperatura (°C)		166,75		
Umidade (% vol.)		7,83		
Velocidade (m/min)		1.364,37		
Vazão (m³/h)*		140.830,37		
Vazão (nm³/h)**		78.851,17		
Compostos Orgânicos Voláteis		1ª Resina	2ª Resina	3ª Resina
Clorometano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0063	0,0103	0,0063
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0005	0,0008	0,0005
Cloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0189	0,0075	0,0080
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0015	0,0006	0,0006
Benzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0080	0,0075	0,0092
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0006	0,0006	0,0007
Tolueno	Concentração (mg/Nm³)**	0,3677	0,3588	0,4427
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0290	0,0283	0,0349
Etilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,1117	0,0676	0,0533
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0088	0,0053	0,0042
m,p -xilenos	Concentração (mg/Nm³)**	0,0229	0,0138	0,0092
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0018	0,0011	0,0007
o- xilenos	Concentração (mg/Nm³)**	0,0206	0,0126	0,0086
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0016	0,0010	0,0007
Estireno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0235	0,0160	0,0172
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0019	0,0013	0,0014
1.3.5 - Trimetilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0057	0,0034	ND
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0005	0,0003	ND
1.2.4 - Trimetilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0086	0,0057	0,0040
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0007	0,0005	0,0003
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,4		
	O ₂ (%vol.)	13,4		
	CO (%vol.)	0,0		
	N ₂ (%vol.)	79,2		

(*) Nas condições da chaminé

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm)

(***) Base Seca

ND: Não detectado – Resultados ND para Cloreto de vinila, 1.1 – cicloroeteno e n-propilbenzeno.

VD: Valor desconsiderado – Resultado VD para Diclorometano.

Tabela 11 - Chaminé da unidade termelétrica
Resultados das Amostragens de Óxidos de Nitrogênio

Ref.		01 de Novembro de 2013								
Temperatura (°C)		166,21			166,08			166,21		
Umidade (%)		6,94			6,58			7,14		
Velocidade (m/min)		1.337,16	1.337,16	1.337,16	1.364,82	1.365,00	1.363,30	1.371,40	1.376,55	1.371,13
Vazão (m³/h)*		138.022,04	138.022,04	138.022,04	140.877,51	140.895,68	140.720,47	141.556,02	142.087,61	141.528,69
Vazão (m³/h) _N **		77.075,14	77.075,14	77.075,14	78.689,73	78.699,88	78.906,08	78.876,35	79.172,55	78.861,12
Análise de Orsat	CO ₂ (%vol.)**	7,2	7,2	7,2	7,2	7	7,4	7,2	5,2	7,2
	O ₂ (%vol.)**	13,2	13,2	13,2	13,2	13,8	13	13,2	15,4	13,5
	CO (%vol.)**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N ₂ (%vol.)**	79,6	79,6	79,6	79,6	79,2	79,6	79,6	79,4	79,3
Dados		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	6ª Coleta	7ª Coleta	8ª Coleta	9ª Coleta
Óxidos de nitrogênio	Concentração (mg/Nm³)**	43,89	70,35	57,90	54,83	58,80	55,98	88,43	96,25	77,70
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)	78,78	126,28	103,92	98,42	114,33	97,96	158,73	240,62	145,04
	Taxa de emissão (kg/h)	3,38	5,42	4,46	4,31	4,63	4,42	6,98	7,62	6,13

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

Tabela 12 - Resultados das Amostragens de Halogênios.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		01 de Novembro de 2011		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		15:00 às 17:11	17:25 às 19:36	19:50 às 22:05
Temperatura (°C)		166,25	165,54	165,50
Umidade (% vol.)		6,78	6,34	7,02
Velocidade (m/min)		1.371,54	1.376,94	1.360,79
Vazão (m³/h)*		141.570,87	142.128,18	140.461,04
Vazão (nm³/h)**		79.186,74	79.996,66	78.490,83
HCl	Concentração (mg/Nm³)**	13,4904	8,5008	7,5082
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	24,8507	16,0825	14,2046
	Taxa de Emissão (kg/h)	1,0683	0,6800	0,5893
Cl ₂	Concentração (mg/Nm³)**	1,9751	1,7192	1,2879
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	3,6383	3,2526	2,4365
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,1564	0,1375	0,1011
HF	Concentração (mg/Nm³)**	0,2263	0,1735	0,1719
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	0,4168	0,3282	0,3252
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0179	0,0139	0,0135
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,2	7,4	7,2
	O ₂ (%vol.)	13,4	13,6	13,6
	CO (%vol.)	0	0,0	0
	N ₂ (%vol.)	79,4	79	79,2
Isocinética (%)		98,04	98,64	99,54

(*) Nas condições da chaminé

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm)

(***) Base Seca

TESTE DE QUEIMA COM BLEND 80% BIOMASSA + 20% DORMENTES

Tabela 13 - Resultados das Amostragens de Material Particulado e Óxidos de Enxofre Chaminé da unidade termelétrica

Referência		03 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		7:50 às 8:53	9:28 às 10:32	10:45 às 11:38
Temperatura (°C)		165,50	166,71	166,46
Umidade (% vol.)		8,68	6,45	7,19
Velocidade (m/min)		1.356,27	1.346,93	1.364,62
Vazão (m³/h)*		139.995,14	139.031,10	140.856,18
Vazão (nm³/h)**		78.012,07	79.167,70	79.611,01
Material Particulado	Concentração (mg/Nm³)**	373,21	500,30	340,94
	Taxa de Emissão (kg/h)	29,11	39,61	27,14
	Concentração a 7% O ₂ (mg/Nm³)**	725,68	946,52	662,93
Dióxido de Enxofre	Concentração (mg/Nm³)**	1,29	1,10	0,65
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,10	0,09	0,05
Trióxido de Enxofre	Concentração (mg/Nm³)**	0,02	0,02	0,02
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	ND
SO _x (como SO ₂)	Concentração (mg/Nm³)**	1,30	1,12	0,66
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,10	0,09	0,05
	Concentração a 7% O ₂ (mg/Nm³)**	2,53	2,11	1,29
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,00	6,80	6,60
	O ₂ (%vol.)	13,80	13,60	13,80
	CO (%vol.)	0,00	0,00	0,00
	N ₂ (%vol.)	79,20	79,60	79,60
Isocinética (%)		100,13	98,01	98,39

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNT) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND – Não detectado.

ND Não detectável – Abaixo do limite de quantificação do método de análise (LQ SO₃: 0,02 mg).

Tabela 14 - Resultados das Amostragens de Metais.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		03 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		12:08 às 14:18	14:30 às 16:37	16:53 às 19:20
Temperatura (°C)		165,54	163,75	163,54
Umidade (% vol.)		7,00	6,86	6,44
Velocidade (m/min)		1.364,40	1.365,52	1.380,90
Vazão (m³/h)*		140.833,99	140.949,87	142.536,62
Vazão (nm³/h)**		79.926,87	80.445,17	81.749,52
tálio	Concentração (mg/nm³)**	0.0014	0.0009	0.0009
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0001	0.0001	0.0001
arsênio	Concentração (mg/Nm³)**	0.0684	0.0765	0.0812
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0055	0.0062	0.0066
níquel	Concentração (mg/Nm³)**	0.0028	0.0014	0.0018
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0002	0.0001	0.0001
chumbo	Concentração (mg/Nm³)**	0.0148	0.0157	0.0132
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0012	0.0013	0.0011
cromo	Concentração (mg/Nm³)**	0.0287	0.0305	0.0319
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0023	0.0025	0.0026

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND: Não detectado – Abaixo do limite de quantificação do método de análise para cádmio (LQ: 0,001 mg); mercúrio (LQ: 0,00002 mg); cobalto (LQ: 0,001 mg); telúrio (LQ: 0,003 mg); selênio (LQ: 0,001 mg); antimônio (LQ: 0,001 mg).

Limites de quantificação para outros metais: LQ tálio: 0,002 mg; LQ arsênio: 0,001 mg; LQ níquel: 0,001 mg; LQ chumbo: 0,0009 mg; LQ cromo: 0,001 mg; LQ cobre: 0,001 mg; LQ estanho: 0,001 mg; LQ manganês: 0,001 mg; LQ platina: 0,003 mg; LQ paládio: 0,002 mg; LQ ródio: 0,003 mg; LQ vanádio: 0,002 mg.

Tabela 15 - Resultados das Amostragens de Metais (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		03 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
cobre	Concentração (mg/Nm ³)**	0.0698	0.0710	0.0712
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0056	0.0057	0.0058
estanho	Concentração (mg/Nm ³)**	0.0014	0.0009	0.0009
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0001	0.0001	0.0001
manganês	Concentração (mg/Nm ³)**	0.1359	0.1188	0.1314
	Taxa de Emissão (kg/h)	0.0109	0.0096	0.0107
Análise de Orsat	CO ₂ (%vol.)	6,4	6,8	6,6
	O ₂ (%vol.)	14,0	13,8	13,8
	CO (%vol.)	0,0	0,0	0,0
	N ₂ (%vol.)	79,6	79,4	79,6
Isocinética		97,99	96,91	97,09

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND: Não detectado – Abaixo do limite de quantificação do método de análise para platina (LQ: 0,003 mg); paládio (LQ: 0,002 mg); ródio (LQ: 0,003 mg); vanádio (LQ: 0,002 mg).

Limites de quantificação para outros metais: LQ cádmio: 0,001 mg; LQ mercúrio: 0,00002 mg; LQ tálio: 0,002 mg; LQ arsênio: 0,001 mg; LQ cobalto: 0,001 mg; LQ níquel: 0,001 mg; LQ telúrio: 0,003 mg; LQ selênio: 0,001 mg; LQ antimônio: 0,001 mg; LQ chumbo: 0,0009 mg; LQ cromo: 0,001 mg; LQ cobre: 0,001 mg; LQ estanho: 0,001 mg; LQ manganês: 0,001 mg.

Tabela 16 - Resultados das Amostragens de Cianetos.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		03 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		7:50 às 8:53	9:28 às 10:32	10:45 às 11:50
Temperatura (°C)		165,25	165,88	166,00
Umidade (% vol.)		7,02	7,42	7,02
Velocidade (m/min)		1.305,23	1.335,29	1.311,69
Vazão (m³/h)*		134.726,08	137.829,51	135.392,90
Vazão (nm³/h)**		76.487,02	77.790,95	76.728,43
Cianetos	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	ND
	Taxa de Emissão (kg/h)	-	-	-
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	-	-	-
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	7,0	6,8	6,6
	O ₂ (%vol.)	13,8	13,6	13,8
	CO (%vol.)	0,0	0,0	0,0
	N ₂ (%vol.)	79,2	79,6	79,6
Isocinética (%)		97,29	92,53	93,37

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

ND: Não detectado – Valor abaixo do limite de quantificação do método de análise (LQ cianetos: 0,0015 mg)

Tabela 17 - Resultados das Amostragens de Dioxinas e Furanos.
Chaminé da unidade termoeletrica

Referência		04 de Novembro de 2013		
Dados		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		6:20 às 9:00	9:20 às 12:06	12:30 às 15:15
Temperatura (°C)		160,88	164,38	164,63
Umidade (% vol.)		7,61	7,48	7,52
Velocidade (m/min)		1.353,00	1.364,00	1.358,84
Vazão (m³/h) *		139.656,77	140.792,73	140.259,94
Vazão (m³/h) N **		79.424,69	79.547,75	79.162,08
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)***	6,8	5,8	5,8
	O ₂ (%vol.)***	13,8	14,2	14,6
	CO (%vol.)***	0,0	0,0	0,0
	N ₂ (%vol.)***	79,4	80,0	79,6
Isocinética		98,63	98,31	97,76
Resultados de Concentração e Taxa de Emissão de Dioxinas				
2,3,7,8 – TCDD	C (ng/m³) N **	0.0474	0.0222	0.0217
(FET = 1,0)	Te (µg/h)	3.7637	1.7651	1.7187
1,2,3,7,8 – PeCDD	C (ng/m³) N **	0.0261	0.0287	0.0022
(FET = 0,5)	Te (µg/h)	2.0741	2.2808	0.1780
1,2,3,4,7,8 – HxCDD	C (ng/m³) N **	0.0061	0.0057	0.0099
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.4834	0.4539	0.7854
1,2,3,6,7,8 – HxCDD	C (ng/m³) N **	0.0058	0.0055	0.0088
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.4634	0.4409	0.6940
1,2,3,7,8,9 – HxCDD	C (ng/m³) N **	0.0050	0.0047	0.0042
(FET = 0,1)	Te (µg/h)	0.4006	0.3721	0.3293
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	C (ng/m³) N **	0.0029	0.0026	0.0021
(FET = 0,01)	Te (µg/h)	0.2294	0.2068	0.1688
OCDD	C (ng/m³) N **	0.00006	0.00006	0.00004
(FET = 0,001)	Te (µg/h)	0.0050	0.0046	0.0034
Total de Dioxinas como Toxicidade Equivalente a 2,3,7,8-TCDD ^(a)	C (ng/m³) N **	0.0934	0.0694	0.0490
	C a 7 % de O ₂ (ng/m³) N **	0,18	0,14	0,11
	Te (µg/h)	7,42	5,52	3,88

Tabela 18 - Resultados das Amostragens de Dioxinas e Furanos (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Resultados de Concentração e Taxa de Emissão de Dioxinas				
2,3,7,8 – TCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0149	0.0140	0.0317
(FET = 0,1)	Te (μg/h)	1.1828	1.1142	2.5093
1,2,3,7,8 – PeCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0090	0.0058	0.0096
(FET = 0,05)	Te (μg/h)	0.7123	0.4626	0.7561
2,3,4,7,8 – PeCDF	C (ng/m ³) _N **	0.2248	0.0496	0.1073
(FET = 0,5)	Te (μg/h)	17.8582	3.9445	8.4907
1,2,3,4,7,8 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0064	0.0055	0.0113
(FET = 0,1)	Te (μg/h)	0.5087	0.4381	0.8936
1,2,3,6,7,8 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0070	0.0067	0.0124
(FET = 0,1)	Te (μg/h)	0.5554	0.5300	0.9804
1,2,3,7,8,9 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0069	0.0066	0.0133
(FET = 0,1)	Te (μg/h)	0.5445	0.5225	1.0539
2,3,4,6,7,8 – HxCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0020	0.0018	0.0014
(FET = 0,1)	Te (μg/h)	0.1626	0.1464	0.1125
1,2,3,4,6,7,8 – HpCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0005	0.0005	0.0008
(FET = 0,01)	Te (μg/h)	0.0428	0.0397	0.0600
1,2,3,4,7,8,9 – HpCDF	C (ng/m ³) _N **	0.0001	0.0001	0.0001
(FET = 0,01)	Te (μg/h)	0.0102	0.0086	0.0107
OCDF	C (ng/m ³) _N **	0.00001	0.00001	0.00001
(FET = 0,001)	Te (μg/h)	0.0005	0.0005	0.0005
Total de Furanos como Toxicidade Equivalente a 2,3,7,8-TCDD (a)	C (ng/m ³) _N **	0,27	0,09	0,19
	C a 7 % de O ₂ (ng/m ³) _N **	0,53	0,19	0,41
	Te (μg/h)	21,58	7,21	14,87
Dioxinas e Furanos Expresso como Toxicidade Equivalente a 2,3,7,8 – TCDD				
Total PCDDs + PCDFs como 2,3,7,8-TCDD (a)	C (ng/m ³) _N **	0,37	0,16	0,24
	C a 7 % de O ₂ (ng/m ³) _N **	0,71	0,33	0,52
	Te (μg/h)	0.0290	0.0127	0.0187

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

C: Concentração.

Te: Taxa de emissão.

PCDDs - Dibenzo-para-dioxinas policloradas.

PCDFs - Dibenzofuranos policlorados

FET : Fator de Equivalência de Toxicidade da substância para expressá-la como 2,3,7,8 - tetraclorodibenzeno p-dioxina (2,3,7,8 -TCDD), especificados pela NATO/CCMS - North Atlantic Treaty Organization's - Committee on Challenges of Modern Society.

(a) Concentração total de dioxinas e furanos expresso com toxicidade equivalente a 2,3,7,8 tetraclorodibenzeno p-dioxina

Tabela 19 - Resultados das Amostragens de PAH.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		04 de Novembro de 2013		
Dados		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		6:20 às 9:00	9:20 às 12:06	12:30 às 15:15
Temperatura (°C)		160,88	164,38	164,63
Umidade (% vol.)		7,61	7,48	7,52
Velocidade (m/min)		1.353,00	1.364,00	1.358,84
Vazão (m³/h) *		139.656,77	140.792,73	140.259,94
Vazão (m³/h) N **		79.424,69	79.547,75	79.162,08
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)***	6,8	5,8	5,8
	O ₂ (%vol.)***	13,8	14,2	14,6
	CO (%vol.)***	0,0	0,0	0,0
	N ₂ (%vol.)***	79,4	80,0	79,6
Isocinética		98,63	98,31	97,76
Resultados de Concentração e Taxa de Emissão de PAH				
Acenaftileno	C (µg/m³) N **	3.0396	ND	33.3309
	Te (g/h)	0.2414	-	2.6385
Antraceno	C (µg/m³) N **	1.5216	1.1467	12.9444
	Te (g/h)	0.1209	0.0912	1.0247
Benzo [ghi]perileno	C (µg/m³) N **	2.0584	0.8760	ND
	Te (g/h)	0.1635	0.0697	-
Fluoranteno	C (µg/m³) N **	1.6211	1.1752	12.4298
	Te (g/h)	0.1288	0.0935	0.9840
Fluoreno	C (µg/m³) N **	ND	ND	0.5830
	Te (g/h)	-	-	0.0462
Indeno[1,2,3-cd]pireno	C (µg/m³) N **	1.9589	0.8333	ND
	Te (g/h)	0.1556	0.0663	-
Naftaleno	C (µg/m³) N **	4.2733	3.1196	96.2573
	Te (g/h)	0.3394	0.2482	7.6199
Pireno	C (µg/m³) N **	3.7613	2.6815	29.5343
	Te (g/h)	0.2987	0.2133	2.3380
Pentaclorofenol	C (µg/m³) N **	0.1778	0.1781	0.1799
	Te (g/h)	0.0141	0.0142	0.0142

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

C: Concentração.

Te: Taxa de emissão.

ND: Não detectado. Resultado ND para todas as amostras de Acenafteno, Benzo[a]antraceno, Benzo[a]fluoranteno, Benzo[k]fluoranteno, Benzo[a]pireno, Criseno e Dibenzo[a,h]antraceno e Fenantreno.

Tabela 20 - Resultados das Amostragens de Compostos Orgânicos Voláteis – VOC.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		04 de Novembro de 2013		
Parâmetros		1ª Coleta		
Temperatura (°C)		162,25		
Umidade (% vol.)		7,61		
Velocidade (m/min)		1.351,37		
Vazão (m³/h)*		139.488,55		
Vazão (nm³/h)**		79.054,09		
Compostos Orgânicos Voláteis		1ª Resina	2ª Resina	3ª Resina
Clorometano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0040	0,1033	0,0373
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0003	0,0082	0,0029
Cloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	ND	0,3505	0,1696
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	0,0277	0,0134
Benzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0045	ND	ND
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0004	ND	ND
Tolueno	Concentração (mg/Nm³)**	0,5669	0,5600	0,4734
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0448	0,0443	0,0374
Etilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0466	0,2209	0,1118
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0037	0,0175	0,0088
m,p -xilenos	Concentração (mg/Nm³)**	0,0063	0,0069	0,0046
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0005	0,0005	0,0004
o- xilenos	Concentração (mg/nm³)**	0,0057	0,0063	0,0046
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0004	0,0005	0,0004
Estireno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0131	0,0993	0,0527
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0010	0,0079	0,0042
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	6,8		
	O ₂ (%vol.)	13,8		
	CO (%vol.)	0,0		
	N ₂ (%vol.)	79,4		

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

VD: Valor desconsiderado – Resultado VD para diclorometano.

ND: Não detectado – Resultados ND para cloreto de vinila, 1.1 – cicloroetano, n-propilbenzeno, 1.3.5 – trimetilbenzeno e 1.2.4 – trimetilbenzeno.

Tabela 21 - Resultados das Amostragens de VOC (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		04 de Novembro de 2013		
Parâmetros			2ª Coleta	
Temperatura (°C)		164,25		
Umidade (% vol.)		7,48		
Velocidade (m/min)		1.357,26		
Vazão (m³/h)*		140.096,47		
Vazão (nm³/h)**		79.146,87		
Compostos Orgânicos Voláteis		1ª Resina	2ª Resina	3ª Resina
Clorometano	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,2733
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0216
Cloreto de vinila	Concentração (mg/Nm³)**	0,0103	ND	ND
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0008	ND	ND
Cloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,2608
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0206
1.1 - cicloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0709
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0056
Benzeno	Concentração (mg/Nm³)**	ND	ND	0,0091
	Taxa de Emissão (kg/h)	ND	ND	0,0007
Tolueno	Concentração (mg/Nm³)**	0,2973	0,2676	0,7308
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0235	0,0212	0,0578
Etilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0086	ND	0,0938
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0007	ND	0,0074
Estireno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0040	ND	0,0395
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0003	ND	0,0031
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	5,8		
	O ₂ (%vol.)	14,2		
	CO (%vol.)	0,0		
	N ₂ (%vol.)	80,0		

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

(***) Base seca.

VD: Valor desconsiderado – Resultado VD para diclorometano.

ND: Não detectado – Resultados ND para m,p –xilenos, o –xilenos, n-propilbenzeno, 1.3.5 – trimetilbenzeno e 1.2.4 – trimetilbenzeno.

Tabela 22 - Resultados das Amostragens de VOC (continuação).
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		04 de Novembro de 2013		
Parâmetros			3ª Coleta	
Temperatura (°C)		163		
Umidade (% vol.)		7,52		
Velocidade (m/min)		1.353,78		
Vazão (m³/h)*		139.737,63		
Vazão (nm³/h)**		79.287,57		
Compostos Orgânicos Voláteis		1ª Resina	2ª Resina	3ª Resina
Clorometano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0264	0,1602	0,0996
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0021	0,0127	0,0079
Cloroetano	Concentração (mg/Nm³)**	0,0437	0,0792	0,0858
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0035	0,0063	0,0068
Benzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0040	ND	0,0132
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0003	ND	0,0011
Tolueno	Concentração (mg/Nm³)**	0,5435	0,3129	0,8385
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0431	0,0248	0,0665
Etilbenzeno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0638	0,0247	0,1538
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0051	0,0020	0,0122
Estireno	Concentração (mg/Nm³)**	0,0304	0,0126	0,0731
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0024	0,0010	0,0058
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	5,8		
	O ₂ (%vol.)	14,6		
	CO (%vol.)	0,0		
	N ₂ (%vol.)	79,6		

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

VD: Valor desconsiderado – Resultado VD para diclorometano.

ND: Não detectado – Resultados ND para cloreto de vinila, 1.1 – cicloroeteno, m,p –xilenos, o – xilenos, n-propilbenzeno, 1.3.5 – trimetilbenzeno e 1.2.4 – trimetilbenzeno.

Tabela 23 - Resultados das Amostragens de Óxidos de Nitrogênio.
Chaminé da unidade termelétrica

Ref.		03 de Novembro de 2013								
Temperatura (°C)		165,50			166,71			166,46		
Umidade (%)		8,68			6,45			7,19		
Velocidade (m/min)		1.359,12	1.359,73	1.358,86	1.348,52	1.348,34	1.348,34	1.365,67	1.365,14	1.364,97
Vazão (m³/h)*		140.289,0 8	140.351,9 7	140.262,1 6	139.194,4 9	139.176,4 2	139.176,4 2	140.965,4 0	140.910,7 9	140.892,6 0
Vazão (m³/h) N **		78.180,09	78.215,14	78.165,09	79.257,77	79.247,48	79.247,48	79.672,57	79.641,70	79.631,42
Análise de Orsat	CO ₂ (%vol.)**	6	5,8	6,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,4	6,5
	O ₂ (%vol.)**	14,5	14,6	14,4	14,2	14,4	14,4	14,2	14	13,8
	CO (%vol.)**	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N ₂ (%vol.)**	79,5	79,6	79,5	79,6	79,4	79,4	79,6	79,6	79,7
Dados		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	6ª Coleta	7ª Coleta	8ª Coleta	9ª Coleta
Óxidos de nitrogênio	Concentração (mg/Nm³)**	79,12	83,11	61,88	64,75	84,42	69,54	60,90	66,38	56,92
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)	170,42	181,80	131,25	133,32	179,08	147,52	125,38	132,75	110,68
	Taxa de emissão (kg/h)	6,19	6,50	4,84	5,13	6,69	5,51	4,85	5,29	4,53

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0°C e 1 atm).

Tabela 24 - Resultados das Amostragens de Halogênios.
Chaminé da unidade termelétrica

Referência		03 de Novembro de 2011		
Parâmetros		1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta
Horário		12:08 às 14:18	14:30 às 16:37	16:52 às 19:22
Temperatura (°C)		162,29	164,88	163,54
Umidade (% vol.)		6,51	6,02	5,96
Velocidade (m/min)		1.285,91	1.339,85	1.324,96
Vazão (m³/h)*		132.731,68	138.299,78	136.763,04
Vazão (nm³/h)**		76.285,67	79.417,44	78.833,90
HCl	Concentração (mg/Nm³)**	8,3596	7,8615	7,9833
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	16,2549	15,7230	15,9665
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,6377	0,6243	0,6294
Cl ₂	Concentração (mg/Nm³)**	1,6309	1,3592	1,3803
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	3,1713	2,7184	2,7605
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,1244	0,1079	0,1088
HF	Concentração (mg/Nm³)**	0,1352	0,1456	0,1479
	Concentração a 7 % de O ₂ (mg/Nm³)**	0,2629	0,2913	0,2958
	Taxa de Emissão (kg/h)	0,0103	0,0116	0,0117
Análise dos Gases de Combustão	CO ₂ (%vol.)	6,6	6,4	6,4
	O ₂ (%vol.)	13,8	14	14
	CO (%vol.)	0,0	0,0	0
	N ₂ (%vol.)	79,6	79,6	79,6
Isocinética (%)		100,68	100,32	99,52

(*) Nas condições da chaminé.

(**) Nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) - base seca (0° C e 1 atm).

(***) Base seca.

APÊNDICE C – TABELA COM OS PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS

DENOMINAÇÃO	CARACTERÍSTICAS	FONTES PRINCIPAIS
SO₂ Dióxido de enxofre (anidrido sulfuroso)	Poluente mais característico dos aglomerados industriais. É proveniente essencialmente da combustão dos fluidos-óleos e do carvão, quando queimados, estes combustíveis liberam o enxofre contido que se combina com o oxigênio do ar na forma de SO ₂ .	Atividades industriais; Queima de óleos combustíveis; Veículos automotores.
NO_x Óxidos de nitrogênio	Gás emitido principalmente por motores de veículos automobilísticos; nas instalações de combustão e nas fábricas de ácido nítrico.	Atividades industriais; Veículos automotores.
Poeiras Fumaças negras	Partículas sólidas em suspensão no ar provenientes da combustão ou de certos processos industriais (cimentos, adubos, etc.) Na zona urbana a circulação de automóveis representa um emissor importante de poeiras. Já os veículos diesel respondem pela emissão de <u>fumaça negra</u> .	Atividades industriais; Veículos automotores.
HC Hidrocarbonetos	A combustão incompleta dos carburetos dos motores dos veículos é a origem de emissões de vapores de hidrocarbonetos. A estocagem de petróleo também representa uma fonte de emissão de hidrocarbonetos.	Postos de combustível; Veículos automotores.
CO Monóxido de carbono	É proveniente essencialmente do funcionamento de veículos motores à explosão.	Veículos automotores.
HCL Ácido clorídrico	Resulta da combustão por parte das usinas de incineração de materiais plásticos contidos no resíduo domiciliar (PVC).	Incineração do lixo.
Pb Chumbo	Metal tóxico emitido principalmente pela circulação de automóveis: o chumbo entra em ação na composição de um aditivo para a gasolina.	Veículos automotores.
F Flúor	Emitido essencialmente pela indústria de alumínio, mas também durante a fabricação de adubos, vidro e da combustão de carvão.	Atividades industriais.
PAH Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos	Constituem uma família de compostos caracterizada por possuírem 2 ou mais anéis aromáticos condensados. Estas substâncias, bem como os seus derivados nitrados e oxigenados, têm ampla distribuição.	Constituintes de misturas complexas em todos os compartimentos ambientais.

Fonte: <www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3672-controle-de-poluente-atmosfericos>. Acessado em: 05.04.2014.

A atmosfera é uma massa de gases onde permanentemente ocorrem reações químicas. Ela absorve uma variedade de sólidos, gases e líquidos provenientes de fontes naturais e industriais, que podem se dispersar, reagir entre si ou em contato com outras substâncias.

A quantidade e qualidade dos poluentes emitidos por fontes fixas industriais dependem de vários fatores relacionados à fabricação, matérias-primas, combustíveis, eficiência do processo, produto fabricado e do grau de

medidas de controle de emissões. Estes fatores influenciam diretamente no tipo e concentração do poluente expelido (GALVÃO FILHO, 1989).

APÊNDICE D – EMPRESAS FABRICANTES DE DORMENTES POLÍMEROS

Empresa	Página na internet	Localização	Vida útil	Composição da matéria-prima e marca registrada
ABV	www.abv1991.ru	Moscou - Rússia	(n.d)	Polímero e concreto - EKTON®
Axion International	www.axionintl.com	Basking Ridge, New Jersey - EUA	Pelo menos 50 anos	PS, PEAD, acrílico, policarbonato e fibra de vidro. 100% reciclados - ECOTRAX®
Cogumelo - Policog	www.cogumelo.com.br	Rio de Janeiro, RJ - Brasil	(n.d)	PEAD e fibra de vidro.
Dynamic Composites	www.dynamiccci.com/product.htm	Columbia, Indiana - USA	(n.d)	Mistura de concreto e de aço revestido com "capa" de plástico e borracha de pneu pós consumo. Usa tecnologia desenvolvida pela PRIMIX Corporation.
Ecology Plastic	www.ecologyplastic.com.br	Campinas, SP - Brasil	(n.d)	PEAD e fibra de vidro.
EPS Plastic Lumber	www.epsplasticlumber.com	Elgin, Illinois - USA	50 anos de garantia	100% de plástico reciclado
Fraunhofer ICT, NGR Recycling Machines and PAV recyclete (fonte: Fraunhofer, 2008)	---	Pfintzal, Alemanha	Pelo menos 50 anos	Resíduos plásticos pós-consumo, fibra de vidro e agentes auxiliares. Ainda em desenvolvimento do produto.
IntegrICO Composities	www.integrico.com	Temple, Texas - USA	Pelo menos 30 anos	Uma viga de madeira (carvalho) retangular coberta por uma mistura de resíduo de polietileno com carbonato de cálcio e talco mineral.
International Track Systems (ITS)	www.itsrailroadrubber.com	New Castle, Pensilvania - USA	50 anos	Mistura PEAD virgem ou reciclado com PS, PU, borracha e outros aditivos.
Lankhorst Mouldings	www.lankhorst-mouldings.nl	Holanda	(n.d)	Pelo menos 40 anos. Aço reforçado com plástico 100% reciclado. Marca KLP®.
PolySum Technologies, LLC	www.polysum.com	Forth Worth, Texas - USA	(n.d)	Marcas Tuff-Tie® e Hi-Load®.
Polywood, Inc.	www.polywood.com	Edison, New Jersey - USA	(n.d)	Plástico reciclado de pós consumo e pós-industrial. Mistura PEAD (65%) e PS (35%).
Precon	www.precon.com.br	Pedro Leopoldo, MG - Brasil	(n.d)	Ainda em desenvolvimento do produto.
Primix Corporation	www.railway-technology.com/contractors/rail/prmix2/	New Paris, Indiana - USA	(n.d)	Mistura de concreto e de aço e revestido com uma "capa" de plástico e borracha de pneu de pós-consumo. Plástico, borracha e aços reciclados.
Performance Rail Tie (PRT) e ForcePro	www.plasticitie.com www.forcepro.net	Paris, Texas - USA	Mais de 40 anos	Resíduo de PEBD misturado com nylon ou outro PE. Uma barra de ferro é colocada na parte superior e outra na parte inferior para reforçar a estrutura. Marcas CavityTie™ e PowerFeed™.
RDSO Project: Permali Wallace e Allen Reinforced Plastics (fonte: CHATTREE <i>et. al.</i> , 2007)	---	Bhopal e Hyderabad - Índia	40 a 50 anos	Resina de poliéster, retardador de fogo, acelerador, endurecedor e estabilizador de radiação ultravioleta.
Recycle Technology International (RTI)	www.rti-railroad-tie.com	Labelle, Florida - USA	Mais de 50 anos	Plástico reciclado, oriundo principalmente da atividade agrícola, e fibra mineral. Proteção contra radiação ultravioleta. Marca PermaTie™.
Reluma e Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (Fonte: SCHEIBE, 2008)	---	Großrückerswa lde - Alemanha	(n.d)	PEAD (35%) e PP (65%), reciclados. Marca Relumat 2000®.
Sekisui - Sumika Bayer Urethane	www.compositesworld.com/products/polyurethanelumber.aspx www.jecomposites.com/composites-news/1108/Ontheright.html	Kukuchi, Amagasaki, Hyogo - Japão	Pelo menos 50 anos	Espuma de poliuretano reforçada com longas fibras de vidro (materiais virgens). Marca Eslon Neo Lumber FFU.
Tietek Composite Crossties	www.tietek.com	Houston (até 2003) e Marshall, Texas - EUA (desde 2004).	Mais de 40 anos	85% de material reciclado. Mistura de PEAD de garrafas e sacolas plásticas (55%) com borracha de pneu de carro (12,5%), reforçada com fibra de vidro (12,5%) e combinada com várias fibras minerais (cálcio, carbonato, mica etc.) (20%). Marca TieTek™.
Tufflex Plastics (PTY)	www.tufflex.co.za	Germiston – África do Sul	(n.d)	Mistura de plásticos reciclados: PP, PEAD e PEBD.
U.S. Plastic Lumber (USPL) (Fonte: CIC, 2003)	---	Boca Raton, Florida - USA	Pelo menos 50 anos	PEAD e fibra de vidro. Maior fabricante norte-americano de produtos feitos de PEAD reciclado. Marca DuraTie.
Voestalpine (VAE) (Fonte: BAYER, 2008)	---	Viena, Áustria	Pelo menos 50 anos	Espuma de poliuretano reforçada com longas fibras de vidro (materiais virgens). Marca Eslon Neo Lumber FFU.
Wisewood	www.wisewood.com.br	Itatiba, São Paulo - Brasil	50 anos	PEAD pós-consumo, fibra de vidro e cargas adicionais.

Fonte: SALLES, Ana Claudia Nioac, 2009.