

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**A PIRÓLISE COMO TECNOLOGIA PARA
REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA E SEQÜESTRO DE
CARBONO:**

**UM ESTUDO DE CASO DO TRATAMENTO DE
RESÍDUOS DE COURO *WET-BLUE***

Felipe Ribeiro Bittencourt

Belo Horizonte

2007

**A PIRÓLISE COMO TECNOLOGIA PARA REDUÇÃO
DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E
SEQÜESTRO DE CARBONO:**

UM ESTUDO DE CASO DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
DE COURO *WET-BLUE*

Felipe Ribeiro Bittencourt

Felipe Ribeiro Bittencourt

**A PIRÓLISE COMO TECNOLOGIA PARA REDUÇÃO
DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E
SEQÜESTRO DE CARBONO:**

**UM ESTUDO DE CASO DO TRATAMENTO DE RESÍDUOS
DE COURO *WET-BLUE***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: MEIO AMBIENTE

Linha de pesquisa: EFLUENTES ATMOSFÉRICOS

Orientador: Prof. Gilberto Caldeira Bandeira de Melo

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2007

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Dedico essa dissertação aos meus pais e toda minha família, especialmente ao meu irmão Milton que sempre me apoiou nas minhas decisões profissionais e acadêmicas. Esta pesquisa também não seria possível sem o suporte de toda a equipe da MundusCarbo – *Soluções Ambientais e Projetos de Carbono*. Deixo aqui meus agradecimentos e a admiração pelas excepcionais pessoas e profissionais dessa empresa. Agradeço também o apoio e a paciência da empresa Engenho9, na pessoa do Artur Torres Filho. Por fim, agradeço ao meu orientador e amigo, professor Gilberto Caldeira Bandeira de Melo, pela oportunidade de aprofundar-me no tema das Mudanças Climáticas, à bolsista Raissa Pimentel, pelo empenho nos ensaios laboratoriais e a toda equipe do Laboratório de Análises Físicas e Químicas do DESA/UFMG.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial do tratamento de resíduos sólidos por pirólise em termos de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Tais reduções se dão da seguinte maneira: (I) pelo metano evitado, visto que o resíduo biogênico não mais seria enviado a um aterro e, por isso, não seria submetido à decomposição anaeróbia e não geraria metano e (II) pelo seqüestro de carbono, pois o resíduo pirolisado é rico em carbono fixo e estável, ou seja, não é mais suscetível à degradação química ou biológica. Assim, quando armazenado em aterro dedicado, de maneira segura, evita-se que esse carbono seja lançado na atmosfera. Foram desenvolvidas duas metodologias de quantificação dessas reduções e enviadas à Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas para aprovação dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O resíduo usado para a pesquisa foi aparas de couro do tipo *wet-blue* de um curtume da cidade de Ipatinga/MG. Trata-se de um resíduo classificado pela legislação brasileira como perigoso devido à presença de cromo. Foi utilizado um reator pirolítico cuja câmara possui capacidade para 200 litros de resíduos e com sistema de pós-queima dos gases para geração de energia térmica para o próprio sistema. A energia externa foi fornecida pela queima de cavaco de madeira termo processado, combustível este que pode ser considerado carbono neutro. A temperatura utilizada nos ensaios foi de 500°C. Analisaram-se, em laboratório, amostras dos resíduos feitas antes e depois do tratamento em termos de carbono fixo e sólidos voláteis. Houve um aumento de 40,92% de carbono fixo e uma redução de 49,33% de carbono volátil no resíduo pirolisado. Tanto a massa quanto o volume do resíduo tiveram uma sensível redução com o tratamento térmico: cerca de 80% e 85% respectivamente. Contudo, obteve-se o índice de redução de emissões de GEE de 0,996 toneladas de CO₂e por tonelada de resíduo tratado por pirólise. Dessa maneira, chama-se atenção para a possibilidade de obtenção de recursos financeiros através da venda de créditos de carbono (CERs e/ou VERs), que ajudariam a viabilidade econômica para a implementação dessa tecnologia.

ABSTRACT

The objective of this research is to assess the potential of pyrolysis treatment of biogenic solid residues in terms of greenhouse gases (GHG) emissions reductions. These reductions are possible in two ways: (I) by methane avoidance, since the biogenic residues would not be sent to a landfill and it would not decay in anaerobic conditions, so methane would not be emitted and (II) by carbon storage, since the pyrolysed residue is rich in fixed carbon and it is stable. This residue can be considered as Black Carbon (BC), which is not susceptible to chemical or biological degradation. Therefore, when the BC is stored in a dedicated landfill it is avoided that all the carbon present in the BC is released again to the atmosphere. Two methodologies were developed to quantify these reductions and sent to the United Nations Framework Convention on Climate Change for approval, following the Clean Development Mechanism (CDM) rules. The residue analyzed was *wet blue* leather tanning solid wastes from a tanning industry in Ipatinga city, in Minas Gerais/Brazil. It is a residue classified by the Brazilian legislation as “dangerous” since it has chrome. It was built a pyrolytic reactor with a 200 liters cylinder capacity and a flaring system of the produced gases to generate thermal energy for the reactor. But it was also necessary external energy input. For that, it was used thermal processed wood chips as fuel, which can be considered carbon neutral. The average temperature during the pyrolysis treatment was 500°C. Fixed and volatile carbon were analyzed in residues before and after the treatment. There was an increase of 40,92% of fixed carbon and a decrease of 49,33% of volatile carbon in the pyrolysed residues. Both mass and volume of residues were also reduced after the thermal treatment: around 80% and 85% respectively. The GHG reduction emission index found was 0.996 tones of CO₂e per ton of residues treated by pyrolysis. Following this approach, it could be possible to achieve financial resources by selling carbon credits (CERs and/or VERs), which could help the economical feasibility of this technology implementation.

SUMÁRIO

RESUMO	<i>iv</i>
ABSTRACT	<i>vi</i>
SUMÁRIO	<i>viii</i>
LISTA DE FIGURAS	<i>x</i>
LISTA DE TABELAS	<i>xii</i>
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	<i>xiv</i>
1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo Geral	6
2.2. Objetivos Específicos	6
3. REVISÃO DA LITERATURA	8
3.1. Mudanças Climáticas	8
3.2. Pirólise	12
3.2.1. Pirólise por Plasma.....	14
3.2.2. Pirólise de Lixo Urbano.....	15
3.3. A Pirólise e as Mudanças Climáticas	17
3.3.1. Importância do gerenciamento de resíduos.....	18
3.4. Resíduos de Curtumes	21
3.4.1. A fabricação de couro.....	22
3.4.2. Disposição final de resíduos sólidos curtidos ao Cromo.....	24
3.4.2.1. Fabricação de Adubo.....	24
3.4.2.2. Compostagem por reviramento.....	24
3.4.2.3. Vermicompostagem.....	25
3.4.2.4. Disposição no solo.....	25
3.4.2.5. Incineração.....	26
3.4.2.6. Pirólise.....	26
3.5. Pirólise de Resíduos de Curtume	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1. Visão Geral do Trabalho	30
4.2. Ensaio no Forno de Pirólise	31
4.3. Ensaio em Laboratório	35

4.4. Estimativa do Potencial da Pirólise quanto à Redução de Emissões de GEE e Seqüestro de Carbono.....	40
4.4.1. Evitando Produção de Metano pelo decaimento de biomassa através de pirólise controlada.....	40
4.4.1.1. Tecnologia	40
4.4.1.2. Fronteiras de Projeto.....	41
4.4.1.3. Emissões devido à Atividade de Projeto	41
4.4.1.4. Linha-Base.....	45
4.4.1.5. Vazamento (<i>Leakage</i>).....	47
4.4.1.6. Monitoramento	47
4.4.2. Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada	50
4.4.2.1. Tecnologia	50
4.4.2.2. Fronteiras de Projeto.....	51
4.4.2.3. Emissões Relativas à Atividade de Projeto	52
4.4.2.4. Linha-Base.....	57
4.4.2.5. Vazamento (<i>Leakage</i>).....	58
4.4.2.6. Monitoramento / Permanência.....	58
5. RESULTADOS.....	62
5.1. Ensaio no Forno de Pirólise	62
5.2. Ensaios em Laboratório	62
5.3. Estimativa do Potencial da Pirólise quanto à Redução de Emissões de GEE e Seqüestro de Carbono.....	71
5.3.1. Redução de Emissões de GEE.....	71
5.3.2. Seqüestro de Carbono.....	73
5.3.3. Totalização das Reduções de Emissões de GEE e Seqüestro de Carbono	74
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	76
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
8. REFERÊNCIAS.....	88
9. APÊNDICES.....	94
9.1. APÊNDICE I – Metodologia de Metano Evitado.....	96
9.2. APÊNDICE II – Metodologia de Estoque de Carbono.....	104
9.3. APÊNDICE III – PDD enviado à UNFCCC	114
9.4. APÊNDICE IV – Resultados dos Ensaios de Resíduo Cru.....	140
9.5. APÊNDICE V – Resultados dos Ensaios de Resíduo Pirolisado.....	152
10. ANEXOS.....	166
10.1. ANEXO I – Definição de Biomassa Renovável.....	168
10.2. ANEXO II – Metodologia AMS.III.G.....	172
10.3. ANEXO III – Ferramenta Metodológica para Cálculo de Metano em Aterros	178
10.4. ANEXO IV – GWP dos GEEs.....	188
10.5. ANEXO V – Temperaturas nos Ensaios de Pirólise.....	192
10.6. ANEXO VI - Produção de Lixo Urbano.....	198

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 3.1 - Emissões percentuais globais de GEE por fonte. Os GEE foram ponderados pelo seu GWP. Referência: WRI (2000).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.2 - Aquecimento Global no Séc. XX. A linha preta é a temperatura observada ao longo do tempo. As demais são os resultados de modelos. As faixas representam as incertezas. Referência: (MEEHL et al., 2004).....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.3 - Variação da Temperatura da Superfície terrestre: Ano 1000 a 2100. Linhas sólidas são médias globais de multi-modelos de aquecimento da superfície (relativo à 1980-99) para os cenários A2, A1B e B1, mostrados como continuação das simulações do século 20. As faixas representam mais ou menos um desvio padrão. A linha laranja é para o experimento onde as concentrações foram mantidas constantes no valor do ano 2000. As barras cinza à direita mostram as melhores estimativas e os níveis de incerteza. Referência: (IPCC, 2007).....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4.1 - Índice de Redução de Emissões GEE por tonelada tratada de resíduo tratado</i>	<i>30</i>
<i>Figura 4.2 - Localização do Curtume Kaparaó. Na esquerda indicação da cidade de Ipatinga no Estado de Minas Gerais. Na direita, em verde, a indicação do Bairro Limoeiro no mapa do Município de Ipatinga.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 4.3 - Foto aérea das instalações do Curtume Kaparaó, às margens do Ribeirão Ipanema</i>	<i>31</i>
<i>Figuras 4.4 e 4.5 - Extrações das aparas de couro: à esquerda a extração automática e à direita a extração manual.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.6 – Localização da Empresa Engenho 9.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4.7 - Foto do Forno de Pirólise</i>	<i>33</i>
<i>Figura 4.8 - Esquema de funcionamento do forno de pirólise. Uma carga de resíduo cru (RC) é colocado no cilindro pela tampa superior. Em seguida essa carga é submetida à pirólise, usando-se os gases gerados na queima do cavaco como fonte de calor para aquecer o cilindro de pirólise externamente. Uma tubulação conecta o interior do cilindro</i>	

de pirólise com a câmara de combustão de cavacos, e os gases e vapores gerados no cilindro são então queimados na câmara de combustão, que atua como se fosse um “pós-queimador” para esses gases. O cilindro é aquecido por 10 horas na temperatura de 500°C. Depois o sistema de aquecimento é desligado e o cilindro se resfria à temperatura ambiente. Só então a tampa inferior é aberta para retirada do resíduo pirolisado (RP). 34

Figura 4.9 - Equipamentos utilizados: balança de precisão, estufa e mufla, respectivamente. 36

Figura 4.10 - Ensaio de análise imediata do resíduo 38

Figura 5.1 - Histograma carbono fixo do RC, distribuição normal. 66

Figura 5.2 - Normal Probability plot do carbono fixo do RC. 66

Figura 5.3 - Histograma carbono fixo do RP, distribuição normal..... 67

Figura 5.4 - Normal Probability plot do carbono fixo do RP..... 67

Figura 5.5 - Histograma da relação carbono volátil dividido por carbono fixo do RP, distribuição lognormal. 68

Figura 5.6 - Probability-Probability plot da relação carbono volátil dividido por carbono fixo do RP. 68

Figura 5.7 – Gráficos Box & Whisker de Carbono Fixo 69

Figura 5.8 - Gráficos Box & Whisker de Carbono Volátil..... 70

Figura 5.9 - Gráficos Box & Whisker de Carbono Volátil / Carbono Fixo 70

Figura 5.10 - Evolução das reduções, em ton. CO₂e 72

FIGURA 6.1 - Probability plot para resíduos antes e após tratamento para a variável carbono volátil dividido por carbono fixo. 78

Figura 6.2 – Destino do Lixo no Brasil. Referência: IBGE, 2000..... 83

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 5.1 - Resultados do Forno de Pirólise na redução de massa e volume dos resíduos_</i>	62
<i>Tabela 5.2 – Teores de Voláteis, cinzas e carbono fixo (% massa seca) dos ensaios em laboratório para 30 amostras de resíduos cru e 31 amostras de resíduos pirolisados – cada resultado é a média das triplicatas. Dados com outliers.</i>	63
<i>Tabela 5.3 – Resultados de Limites dos Outliers.</i>	63
<i>Tabela 5.4 – Resultado de Identificação dos Outliers e amostras inválidas.</i>	64
<i>Tabela 5.5 - Teores de Voláteis, cinzas e carbono fixo (% massa seca) dos ensaios em laboratório para 30 amostras de resíduos cru e 31 amostras de resíduos pirolisados – cada resultado é a média das triplicatas. Somente dados válidos.</i>	64
<i>Tabela 5.6 - Valores das médias e desvio padrões dos ensaios em laboratório</i>	65
<i>Tabela 5.7 - Valores de p para distribuições normais e lognormais</i>	65
<i>Tabela 5.8 - Valores de p para testes não-paramétricos</i>	69
<i>Tabela 5.9 - Redução de Emissões devido ao Metano Evitado, em ton.</i>	72
<i>Tabela 5.10 - Redução de Emissões devido ao Seqüestro de Carbono, em ton.</i>	73
<i>Tabela 5.11 - Redução de Emissões totais, em ton.</i>	74
<i>Tabela 5.12 - Índice de Redução de Emissões relativo à unidade de massa de resíduo tratado</i>	74

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A1FI	Cenário de aquecimento global da UNFCCC onde acontece um crescimento muito rápido da economia, a população atinge seu pico no meio do século e depois declina. Acontecem reduções de PIB per capita entre regiões e existe uma introdução rápida de tecnologias novas e mais eficientes, porém baseadas em consumo intensivo de combustíveis fósseis. Concentração de 1550 PPM de CO ₂ na atmosfera em 2100.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
AMS III.G	Metodologia de pequena escala aprovada pela UNFCCC do tipo III – Outras Metodologias e ordem G – Recuperação de Metano em Aterros. (<i>Small Scale approved methodology - Landfill methane recovery</i>);
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais (<i>American Society for Testing and Materials</i>);
B1	Cenário de aquecimento global da UNFCCC, onde a população continua a mesma, atingindo um pico em torno de meados do século e diminuindo em seguida. Rápidas mudanças na estrutura econômica através de uma economia baseada em serviços e informação, com reduções de intensidade de consumo de materiais e introdução de tecnologias limpas e recursos eficientes. A ênfase desse modelo está nas soluções de sustentabilidade para a economia, o social e o meio ambiente, incluindo melhoras na equidade social. Concentração de 600 PPM de CO ₂ na atmosfera em 2100.
BAU	Cenário Usual do Negócio (<i>Business as Usual</i>);
BC	Carbono Elementar (<i>Black Carbon</i>);
CCS	Captura e Armazenamento de Carbono (Carbon Capture and Storage);
CCX	<i>Chicago Climate Exchange</i> ;
CER	Certificado de Emissões Reduzidas (<i>Certified Emissions Reductions</i>);

CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais;
CH ₄	Metano;
CO ₂	Dióxido de Carbono;
CO ₂ e	Dióxido de Carbono equivalente;
COP12	Conferência das Partes 12 (<i>Conference of Parties 12</i>) da UNFCCC, realizada em dezembro de 2006 em Nairobi / Quênia;
COP13	Conferência das Partes 13 (<i>Conference of Parties 12</i>) da UNFCCC, a ser realizada em dezembro de 2007 em Bali / Indonésia;
DESA/UFMG	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG;
EB	Comitê Executivo (<i>Executive Board</i>) da UNFCCC;
ECO92	Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o desenvolvimento (CNUMAD), realizada entre 3 e 14 de junho de 1992 no Rio de Janeiro;
EIA	Estudo de Impacto Ambiental;
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais;
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente;
GEE ou GHG	Gases de Efeito Estufa (<i>Greenhouse Gases</i>);
GWP	Potencial de Aquecimento Global de um gás (<i>Global Warming Potential</i>);
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>);
ISO 14.064	Organização Internacional para Padronização: norma técnica referente às mudanças climáticas - Parte 1. (<i>Specification with guidance at the</i>

organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals);

LINHA-BASE	Valor de referência das emissões de GEE no caso de ausência de projeto;
MDL ou CDM	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (<i>Clean Development Mechanism</i>);
ONU	Organização das Nações Unidas;
p	Valor dos resultados dos testes estatísticos;
PDD	Documento de Desenho de Projeto do MDL (<i>Project Design Document</i>);
PE	Emissões de Projeto (<i>Project Emissions</i>);
PIB	Produto Interno Bruto
PPM	Partes por milhão;
RC	Abreviatura utilizada nessa dissertação para Resíduo Cru, ou seja, aparas de couro do tipo <i>wet-blue</i> ;
RC	Abreviatura utilizada nessa dissertação para Resíduo Pirolisado, ou seja, aparas de couro do tipo <i>wet-blue</i> que passaram pelo tratamento de pirólise;
SSCWG	Grupo de Trabalho da UNFCCC para projetos e metodologias de pequena escala. (<i>UNFCCC Small Scale Working Group</i>);
TON	Tonelada;
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas;
VER	Redução de Emissões Verificadas (<i>Verified Emissions Reductions</i>);
α	Nível de incerteza do teste estatístico.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, segundo a Convenção Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*), a luta para a atenuação das mudanças climáticas segue dois caminhos: redução das emissões (diretas ou indiretas) e aumento da retirada de gases de efeito estufa da atmosfera por sumidouros. A captura e armazenamento de carbono (CCS – *Carbon capture and storage*) é uma outra modalidade ainda não implementada, mas que provavelmente se tornará realidade em breve. Geralmente, CCS refere-se ao seqüestro geológico de dióxido de carbono (CO₂). Porém, existem diversas questões ainda controversas em relação ao CCS. Alguns discutem que o CCS não deveria fazer parte do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), visto que ele não acarretaria desenvolvimento sustentável, o que é um pré-requisito para projetos de MDL. Outras dúvidas são ainda a respeito da permanência do CO₂ nos locais de armazenamento e a segurança ambiental dessa estratégia (BODE e JUNG, 2006).

A biomassa representa um meio promissor de seqüestro de carbono. Entretanto, o carbono contido na biomassa não pode ser armazenado por longos períodos de tempo devido ao fato de ser altamente susceptível à degradação química e biológica. Em contraste, materiais carbonizados, ou em forma de carbono elementar (BC – *Black Carbon*), são constituídos por uma diversa mistura de estruturas de carbono, que variam em complexidade desde a grafite até os anéis aromáticos moleculares e são, em maioria, altamente resistentes à decomposição física, química e biológica, porém susceptíveis à combustão. Por essa característica, o BC é conhecido por persistir em solos por centenas a milhões de anos (GRAETZ e SKJEMSTAD, 2003). Sendo assim, o BC pode representar uma boa alternativa à estratégia de CCS.

O BC pode ser o produto da combustão incompleta de vegetação e de materiais de origem fóssil (IPCC, 2006). O BC pode também ser obtido por meio do processo de pirólise controlada, que compreende a decomposição térmica de matéria orgânica na ausência de oxigênio (FOE, 2002).

Se resíduos orgânicos são deixados para serem degradados em aterros sanitários ou destinados à combustão, o seu conteúdo de carbono é conseqüentemente liberado para a atmosfera. Ao contrário, se esses resíduos orgânicos forem tratados por pirólise, uma fração do seu conteúdo de carbono poderia ser permanentemente armazenada. Além disso, a pirólise de resíduos orgânicos que seriam destinados a aterros sanitários estaria também evitando emissões de

metano (CH₄), visto que esses resíduos não estariam mais disponíveis para decomposição anaeróbia.

Em contraste com o armazenamento geológico de CO₂, a permanência de BC derivado de pirólise poderia ser facilmente garantida se armazenado em local dedicado para esse fim. Como o BC é sólido e não é solúvel em água, o risco de perda é altamente minimizado. Entretanto, todo o cuidado no armazenamento deve ser tomado de modo a prevenir a possibilidade de combustão do carbono estocado.

Nesse contexto, a presente dissertação apresenta um estudo de caso do tratamento de resíduos de couro do tipo *wet-blue* por pirólise. Esta tecnologia é analisada em termos de dois aspectos: redução de emissões de gases de efeito estufa, tendo em vista que esse resíduo biogênico não mais seria destinado a um aterro e, portanto, não seria degradado anaerobicamente, emitindo o gás metano (CH₄); e seqüestro de carbono, visto que o resíduo pirolisado pode ser considerado BC e este, quando aterrado, não mais irá para a atmosfera.

O Capítulo 2 apresenta os objetivos deste trabalho. A revisão do estado da arte da literatura nessa conjuntura está presente no Capítulo 3. É abordado inicialmente o tema Mudanças Climáticas. Explicações são feitas a respeito do Efeito Estufa e da influência das emissões antropogênicas no aquecimento global. As principais causas e conseqüências do aquecimento global são citadas. As principais ações em nível mundial a respeito das mudanças climáticas são descritas, passando pela ECO92, a criação da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (UNFCCC, na sigla em inglês), a assinatura do Protocolo de Quioto e a criação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As discussões em termos de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) também são aqui expostas.

O item seguinte da revisão da literatura aborda a tecnologia da Pirólise. Um histórico desde o início das pesquisas na década de 20 até as pesquisas atuais é apresentado.

O capítulo prossegue com a relação entre a Pirólise e as Mudanças Climáticas. Os poucos estudos a respeito referem-se à pirólise de resíduos sólidos municipais e ao metano evitado. Nada, porém, é dito na literatura a respeito do resíduo pirolisado e sua capacidade de evitar que grandes quantidades de carbono fossem novamente lançadas na atmosfera.

O item seguinte trata sobre o resíduo utilizado nesta pesquisa, ou seja, os resíduos de curtumes. Apresenta-se o mercado de couro no Brasil e no mundo e suas produções desses resíduos. A preocupação a respeito da destinação final dos mesmos é abordada,

principalmente devido à presença de cromo. Alguns exemplos de riscos de contaminação são apresentados, bem como soluções empregadas para minimizá-los. A legislação atual, que considera estes resíduos como sendo de Classe I – perigosos, é discutida.

O último item deste capítulo traz as experiências de Pirólise de Resíduos de Curtume. Aqui é descrito o que acontece com o resíduo no reator pirolítico e porque, no final do tratamento, o resíduo é rico em carbono. Por fim, é chamada também a atenção para as melhores maneiras de disposição final do resíduo pirolisado.

O terceiro capítulo aborda o tema Materiais e Métodos. Inicialmente, é descrito uma visão geral do que foi realizado na pesquisa, passando por todas as etapas. Logo após, cada uma dessas etapas são descritas, a saber: (i) ensaio em forno experimental; (ii) ensaios em laboratório e (iii) desenvolvimento de metodologias MDL, tais metodologias de MDL são necessárias para dar legitimidade, em nível mundial, aos projetos de redução de emissões dentro da UNFCCC.

A primeira delas é intitulada “*Evitando Produção de Metano pelo decaimento de biomassa através de pirólise controlada*”, e já foi aprovada pela UNFCCC. Toda a metodologia é, então, descrita, bem como todas as fórmulas e variáveis necessárias.

A segunda metodologia é intitulada “*Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada*”, reprovada pela UNFCCC. A argumentação apresentada foi que a de que esta metodologia proporciona a remoção de GEE da atmosfera e, segundo as regras estabelecidas pelo Acordo de Marrakesh, isso não seria elegível para projetos de MDL. No entanto, ela poderá entrar em outro mercado de carbono, com exceção do regulado pelo Protocolo de Quioto. Um exemplo seria o mercado voluntário ou o *Chicago Climate Exchange (CCX)*. Toda a metodologia é, então, também descrita.

O Capítulo 5 apresenta os resultados, incluindo resultados dos Ensaio no Forno de Pirólise (rendimentos gravimétricos e eficiência de redução de massa, assim como rendimento volumétrico e eficiência de redução de volume) e os resultados dos ensaios de laboratório. Nestes, os *outliers* são identificados e retirados dos dados amostrais. Os resultados em termos de média e desvio padrões de carbono volátil e carbono fixo, assim como da relação carbono volátil dividido por carbono fixo são apresentados. As distribuições dos dados são definidas e

justificadas. Assim, são escolhidos testes não paramétricos para as análises comparativas entre as variáveis antes e pós-tratamento.

Por fim, são apresentados os resultados das estimativas de redução de emissões e seqüestro de carbono referentes às duas metodologias empregadas. Tais resultados são apresentados para cada metodologia e, posteriormente, o resultado da soma de ambas as metodologias. São indicados resultados de redução para um possível projeto de MDL de duração igual a 10 anos e também um índice de redução de emissões de GEE por tonelada de resíduo tratado por pirólise.

O Capítulo 6 traz as discussões a respeito dos resultados. Abordam-se os resultados do Ensaio no Forno de Pirólise e seus altos índices de redução de massa e volume. Os possíveis erros que levaram à existência de *outliers* também são comentados. A questão da temperatura do forno pirolítico e sua influência nos resultados são discutidas. A diferença estatística encontrada entre as variáveis e a normalização de resultados é também abordada. Os resultados das metodologias são analisados e discutidas as razões da não aprovação da metodologia “*Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada*”. Associações dos resultados com a revisão da literatura realizada são feitas. Assim, é estimado o potencial brasileiro e mundial de redução de emissões caso todos os resíduos produzidos fossem tratados com a tecnologia proposta. É, por fim, discutido o potencial de captação de recursos financeiros via créditos de carbono em projetos utilizando pirólise como tratamento de resíduos.

O Capítulo final apresenta as conclusões do trabalho em termos do potencial da tecnologia para tratamento de resíduos biogênicos visando à redução de emissões de GEE para a atmosfera e o seqüestro de carbono. São também aqui indicadas recomendações para futuras pesquisas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do estudo é avaliar o potencial de redução de emissões de gases efeito estufa e de seqüestro de carbono da tecnologia de pirólise no tratamento de resíduos de couro do tipo *wet-blue*.

2.2. Objetivos Específicos

Os principais objetivos específicos são:

- Quantificar a variação de carbono volátil, carbono fixo e cinzas do resíduo após o tratamento;
- Quantificar a diminuição de massa e volume do resíduo após o tratamento.
- Propor novas metodologias para a UNFCCC de modo que seja possível a utilização dessa tecnologia no MDL;

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Mudanças Climáticas

O efeito estufa é o processo que torna a temperatura da Terra superior ao que seria na ausência de gases de efeito estufa. Sem ele a temperatura média da Terra deixaria de ser +15°C e seria em torno de -18°C, tornando a vida como conhecemos hoje ameaçada. Diversos gases favorecem o efeito estufa, porém os principais GEE são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O) (IPCC, 2006).

O aumento da concentração dos GEE na atmosfera fez com que a temperatura média nos registros meteorológicos subisse 0,6 °C no último século. Além disso, os 10 anos mais quentes do século XX ocorreram nos últimos 15 anos. Estudos indicam que a temperatura global continuará crescendo, causando ainda mais distúrbios climáticos. A única maneira de contornar essa situação é através da estabilização da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera (DEFRA, 2005).

Atualmente, se discute muito sobre o agravamento do efeito estufa e o conseqüente aquecimento global. Existe um consenso em torno da influência negativa das atividades antropogênicas a esse respeito. O estado da arte em termos de conhecimento em torno das mudanças climáticas indica ser muito alto o nível de confiança (chance de 9 entre 10 de ser verdade) que a média global líquida dos efeitos das atividades humanas desde 1750 é de aquecimento para a atmosfera (IPCC, 2007). Existem, porém, correntes contrárias, que defendem que o aquecimento global é fruto da ação do tempo geológico e parte da dinâmica natural da Terra. De modo conservador, o mais sensato é, segundo Eerola (2003), tomar atitudes que possam reduzir a possibilidade de efeitos antropogênicos ao clima, no lugar de simplesmente continuar emitindo gases de efeito estufa sem restrições e esperar para ver o que acontece.

O uso de combustíveis fósseis pelos meios produtivos, sistemas de transporte e na geração de energia é principalmente emissor de CO₂, enquanto que as demais atividades como a agricultura e a mudança do uso da terra contribuem com CO₂ (desmatamento), CH₄ e N₂O. (MARTINS e VICENTE, 2005; EEROLA, 2003; KALNAY e CAI, 2003). A figura 3.1 mostra a divisão das emissões de GEE por fontes.

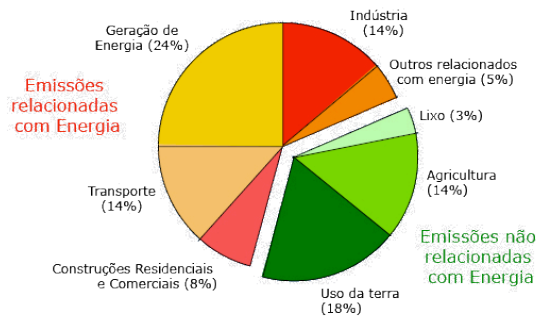


Figura 3.1 - Emissões percentuais globais de GEE por fonte. Os GEE foram ponderados pelo seu GWP. Referência: WRI (2000)

Entre as conseqüências efetivas ou potenciais do aquecimento global destacam-se o aumento do nível do mar, a intensificação de tempestades, a desertificação de áreas, a perda de colheitas e a extinção de espécies, além de grandes perdas econômicas e sociais (KELLOGG e SCHWARE, 1981; LE HOUEROU, 1996). O crítico em termos de conseqüência das mudanças climáticas é que uma pequena mudança global significa que pode ser traduzida em grandes mudanças em termos de médias/extremos locais (HOUGHTON, 2003).

As concentrações de GEE na atmosfera aumentaram drasticamente neste último século, acarretando também um aumento de temperatura em torno de 0,6°C (MEEHL *et al.*, 2004). Na figura abaixo é possível verificar tal fato e compreender os receios mundiais quanto ao desenvolvimento dessa tendência.

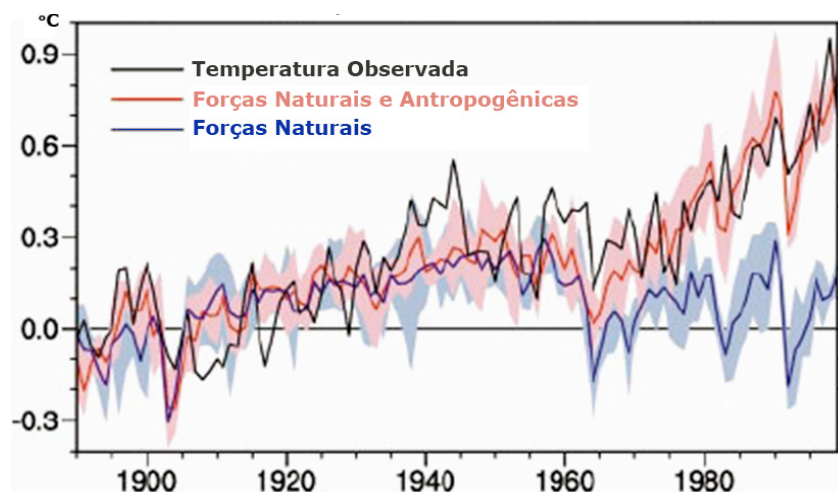


Figura 3.2 - Aquecimento Global no Séc. XX. A linha preta é a temperatura observada ao longo do tempo. As demais são os resultados de modelos. As faixas representam as incertezas. Referência: (MEEHL *et al.*, 2004)

Os cenários previstos para o aquecimento global são todos pessimistas. A melhor estimativa para o cenário inferior é de 1,8°C de aumento de temperatura (variando de 1,1°C a 2,9°C) e

para o cenário superior é de 4,0°C (variando de 2,4°C a 6,4°C). Mesmo se houvesse a manutenção dos níveis de emissões de 1990 (linha laranja da Figura 3.3), ainda assim haveria aumento da temperatura terrestre em 2100 (IPCC, 2007). A figura a seguir mostra justamente os resultados dos principais modelos em uma escala de tempo variando do ano 1000 a 2100. Percebe-se claramente a grave situação que o mundo está hoje, visto o aumento cientificamente medido de temperatura nas últimas décadas e a preocupante projeção para o aquecimento global futuro.

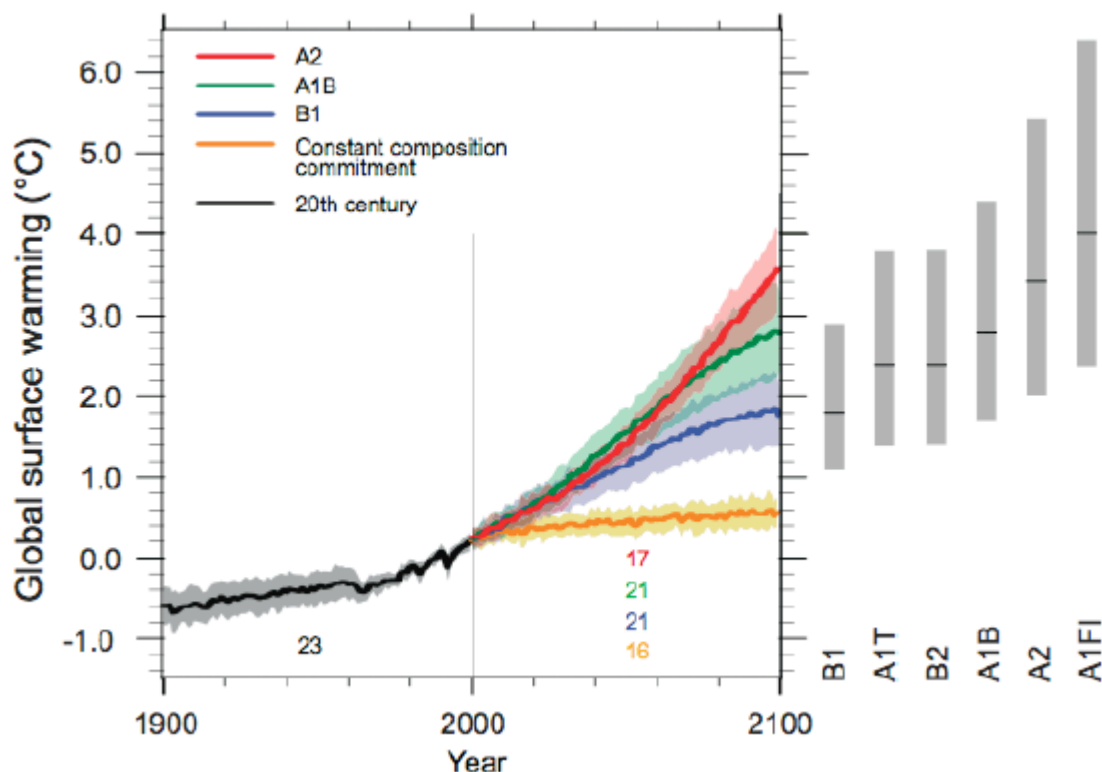


Figura 3.3 - Variação da Temperatura da Superfície terrestre: Ano 1000 a 2100. Linhas sólidas são médias globais de multi-modelos de aquecimento da superfície (relativo à 1980-99) para os cenários A2, A1B e B1, mostrados como continuação das simulações do século 20. As faixas representam mais ou menos um desvio padrão. A linha laranja é para o experimento onde as concentrações foram mantidas constantes no valor do ano 2000. As barras cinza à direita mostram as melhores estimativas e os níveis de incerteza. Referência: (IPCC, 2007)

Dentro dessa realidade, em julho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro, mais de 150 Estados assinaram a UNFCCC. Foi, então, reconhecida a mudança climática como “uma preocupação comum da humanidade” e iniciou-se a jornada “para proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras”. (ONU, 1992)

Em 1997, 165 Estados assinaram o Protocolo de Quioto, que prevê a redução das emissões de GEE em pelo menos 5,2% dos níveis de 1990 para o período compreendido entre 2008 e 2012. Os países foram divididos em duas listas: o Anexo I (países desenvolvidos e em transição que possuem metas de redução) e o não-Anexo I (países em desenvolvimento sem metas de redução) (UNFCCC, 1997). Para que o Protocolo entrasse em vigor era necessário um número mínimo de signatários que somados garantissem uma porcentagem de emissões de GEE pré-estabelecida o que só aconteceu em 16 de fevereiro de 2005.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado pelo Protocolo para possibilitar a implementação de projetos de redução de emissões em países não-Anexo I, de modo que os Certificados de Redução de Emissões (CERs – *Certified Emission Reductions*) pudessem ser comercializados com os países do Anexo I e contabilizados para atingir suas metas. Com o MDL espera-se também a geração de investimentos nos países em desenvolvimento, bem como transferência de tecnologia e desenvolvimento sustentável (UNFCCC, 2001 e TUCKER, 2001).

A edição especial do IPCC sobre CCS de 2005, define Captura e Armazenamento de Carbono como a separação de CO₂ das fontes industriais e relacionadas com produção de energia, seu transporte e armazenamento por longo período de tempo, de modo a isolá-lo da atmosfera. Sendo assim, o CCS é uma nova opção de ação para a estabilização de GEE na atmosfera. Diversas discussões sobre a viabilidade de projetos de CCS e se existe ou não desenvolvimento sustentável associado a esses projetos tomaram lugar nas reuniões do Comitê Executivo do MDL (EB) e conferências por todo o mundo. Em dezembro de 2006, na cidade de Nairobi, o relatório da Conferência das Partes (COP12) concluiu que se deve dar importância ao tema e que metodologias para projetos de CCS deverão ser analisadas. Entretanto, devido ainda à grande incerteza, principalmente relativa aos projetos de armazenamento geológico, essas metodologias só poderão ser aprovadas depois de decisões a serem tomadas na COP13, em dezembro de 2007 (UNFCCC, 2006).

3.2. Pirólise

O processo de pirólise pode ser resumido no tratamento térmico por meio de decomposição química de um material orgânico, na ausência ou pouca concentração de oxigênio. Há geração de gases, de um resíduo sólido e, dependendo do tipo de pirólise, geração de um efluente líquido. Os gases possuem um alto poder calorífico, sendo assim podem ser queimados para aquecer o reator pirolítico. Do mesmo modo, o efluente líquido pode ser separado em fração aquosa (licor pirolenhoso) e fração orgânica (alcatrão), que pode ser utilizado como combustível. O resíduo sólido possui principalmente carbono fixo e cinzas e também é combustível (ANDRADE *et al.*, 2004).

A pirólise é uma técnica bem conhecida há séculos. O carvão vegetal é conhecido e usado desde tempos imemoriais. O desenvolvimento industrial da pirólise para tratamentos de resíduos é mais recente. Baseado nos estudos de Max Plank sobre a termodinâmica, C. Caratheodory definiu em 1904 o importante conceito de “Parede Adiabática” relacionado à transferência de calor através de substâncias isolantes. O entendimento dessa teoria proporcionou o desenvolvimento de sistemas térmicos mais eficientes como caldeiras, reatores etc. Assim, na Alemanha, em 1926, F. Winkler iniciou as primeiras experiências práticas com reatores pirolíticos para obtenção de gases combustíveis. As pesquisas difundiram-se pelo mundo, valendo ressaltar os estudos realizados sobre carbonização em 1929 pelo *US Bureau of Mines*, sobre pirólise de lixo urbano de E. R. Kaisers & S. B. Friedman, em 1967, e de W. S. Sanner, em 1970 (NALINI, 2001).

A pirólise de biomassa ganha cada vez mais notabilidade devido às vantagens econômicas que possui em relação a outros processos de tratamento térmico, uma vez que os produtos da pirólise possuem alto poder calorífico sendo, portanto, caracterizados como combustíveis. Como estes combustíveis são obtidos de biomassa, eles são considerados mais limpos que os combustíveis fósseis, utilizados tradicionalmente. (BRIDGWATER, 1999)

Apesar de a pirólise de biomassa ter atingido um bom status comercial, principalmente para produção de carvão vegetal, ainda há alguns aspectos do processo que são altamente empíricos e, portanto, requerem estudos aprofundados de maneira a melhorar a confiabilidade, desempenho, consistência e características dos produtos e a escala em que são produzidos.

Por meio da pirólise, a matéria orgânica pode ser convertida em diversos subprodutos que podem ser divididos em três grupos:

- Gases combustíveis com teores variáveis de hidrogênio, metano e monóxido de carbono, dentre outros.
- Combustíveis líquidos condensáveis e cujos teores de enxofre são baixos, formados por hidrocarbonetos, álcoois e ácidos, principalmente.
- Resíduos sólidos, compostos por carbono denominado *Black Carbon* e ainda pela fração inorgânica de resíduos (vidros, metais e outros materiais não reativos).

Somente um bom entendimento do processo permite a maximização de qualquer um desses produtos. O desafio é aperfeiçoar o processo, maximizando a quantidade dos produtos desejados, assim como a qualidade dos mesmos, sem se descuidar dos custos e dos possíveis impactos ambientais.

Segundo Baggio *et al.* (2007), para maximizar as taxas de líquidos produzidos na pirólise são necessárias altas temperaturas e interação rápida entre o resíduo e a fonte de calor. Já a maximização das taxas de formação de resíduos sólidos e gases sintéticos ocorre a partir de uma pequena taxa de aquecimento e interação demorada entre o resíduo e a fonte de calor (pirólise lenta). Existem vários tipos de reatores para o processo, sendo os mais comuns os de leito descendente.

O reator é carregado pela parte superior onde os resíduos penetram na zona de secagem e perdem água, tendo seu poder de queima aumentado. A passagem dos gases oriundos da zona pirolítica proporciona a secagem do resíduo. Após essa etapa, os resíduos entram na zona de pirólise propriamente dita, onde são submetidos a três processos: volatilização, oxidação e, eventualmente, fusão. O aumento da temperatura gera a liberação dos gases que são, em seguida, coletados, podendo ser utilizados industrialmente. Alguns sistemas utilizam o calor dos gases para produzir vapor através de trocadores de calor e caldeiras.

Outros processos aproveitam os gases diretamente, queimando-os para fazer movimentar turbinas e máquinas térmicas que produzem potência. Na zona pirolítica são controladas a temperatura e o oxigênio. O resultado deste controle possibilita a extração de gases combustíveis, substâncias alcoólicas, óleos combustíveis, alcatrão e carbono quase puro (*char*). Na fase final do processo, os materiais sólidos juntamente com a escória (vidro, terra, pedras, metais etc.) são resfriados e removidos pela parte inferior do sistema. É possível,

ainda, submeter o rejeito da pirólise a um processo de segregação, obtendo-se, principalmente vidros e metais, quando resíduos urbanos são usados na alimentação.

Embora do ponto de vista energético e ecológico os sistemas de pirólise apresentem acentuadas vantagens sobre os demais sistemas de tratamento de resíduos, alguns inconvenientes têm limitado o emprego da pirólise em larga escala.

Mallan e Finney (1972) citam três parâmetros críticos que limitam o processo: teor de sólidos voláteis presentes no resíduo, poder calorífico superior e umidade. A variação estatística destes fatores para resíduos heterogêneos (por exemplo, o lixo urbano) dificulta o controle do processo, reduzindo significativamente a sua eficiência.

3.2.1. Pirólise por Plasma

Um processo inovador que está sendo cada vez mais aplicado é a pirólise por plasma. O aquecimento de um gás até temperaturas elevadas transforma expressivamente as propriedades do mesmo tal que, a 2000 °C, as moléculas do gás começam a dissociar-se em átomos e, a 3000 °C, esses átomos perdem elétrons e transformam-se em íons. A este gás ionizado dá-se o nome de plasma.

O plasma é uma forma peculiar de material gasoso que conduz eletricidade. Neste estado, o gás pode alcançar temperaturas extraordinariamente altas, variando de 5000 a 50000 °C.

Há dois tipos de tratamento de resíduos por plasma. Em um deles, a tocha de plasma incide diretamente sobre os resíduos. Desta forma, é produzido, eletricamente, um campo de energia de intensidade elevada que, imposto sobre os resíduos, faz com que as ligações moleculares se quebrem. No outro tratamento, os resíduos sólidos são introduzidos, inicialmente, em uma câmara aquecida a altas temperaturas a fim de que ocorra a gaseificação da parte orgânica e fusão da parte inorgânica. Então, os gases e os vapores formados são transportados até uma segunda câmara onde são decompostos através da ação de um reator de plasma. Em ambos os processos verifica-se que a exposição ao plasma provoca a decomposição dos resíduos em compostos mais simples.

O máximo de esforço deve ser feito para que não haja perda de calor, pois o fracionamento de substâncias sólidas só ocorre a elevadas temperaturas. O fracionamento das substâncias sólidas ocorre gradualmente à medida que estas passam pelas diversas zonas de calor que formam o reator pirolítico. Os resíduos perdem, inicialmente, a umidade através da secagem

e, conforme entram na zona pirolítica, vão sendo decompostos em substâncias distintas: gases, líquidos e sólidos (CCI, 2007).

Na zona pirolítica a temperatura atinge valores elevados de acordo com o sistema empregado. Em geral, ela atinge valores de 300 a 1600 °C. A variação da temperatura e o monitoramento do ar necessário à combustão parcial do resíduo são de fundamental importância no processo, pois determinam seu desempenho, assim como a consistência e as características dos produtos, e a escala em que são produzidos (BRIDGWATER, 1999).

3.2.2. Pirólise de Lixo Urbano

As pesquisas de Baggio *et al.* (2007) com pirólise de resíduos sólidos municipais trazem uma nova visão em termos de aproveitamento energético do lixo urbano e de eficiência energética, com baixos níveis de emissões. Tanto os resíduos sólidos e líquidos pós-tratamento quanto o gás gerado no processo são utilizados como combustíveis em um ciclo combinado para geração de energia elétrica. Foi atingida uma eficiência de geração de 28 a 30%, muito maior que os obtidos por plantas de incineração de lixo. Muitos estudos continuam sendo realizados, mas a grande maioria em pequena escala, fato que dificulta o desenvolvimento dessa tecnologia como solução ambiental difundida.

Novos tratamentos de lixo desenvolvem um importante papel na redução da quantidade de resíduos biodegradáveis que são enviados a aterros. Cada tecnologia contribui de maneiras distintas. Tratamentos térmicos avançados, como a pirólise, são alternativos aos outros métodos de tratamento e disposição final, como aterros e incineração.

Segundo a organização FOE (2002), a pirólise de lixo urbano é um tratamento térmico realizado em temperaturas medias (300°C a 800°C) no qual a matéria é degradada sob a ação de calor na ausência de oxigênio e o processo é descrito em quatro estágios:

- Pré-tratamento do resíduo que envolve, normalmente, esterilização e separação dos artigos recicláveis, especialmente vidro e metal, cujos poderes caloríficos são muito baixos ou nulos;
- Aquecimento do resíduo remanescente, especialmente orgânico, para produção de gases, óleos e carvão / cinzas;
- Limpeza do gás proveniente para remoção de particulados, hidrocarbonetos e materiais solúveis;

- Uso do gás para gerar energia elétrica e, em alguns casos, energia térmica.

Durante a pirólise são produzidos gases e líquidos combustíveis, que podem ser utilizados na geração de energia, reduzindo, conseqüentemente, a utilização de combustíveis fósseis. Um produto sólido também é produzido, podendo receber aplicações na construção civil, reduzindo a necessidade de extração de mais matéria prima. Ademais, esse produto também pode ser disposto em aterros e, por ter um volume muito menor que o resíduo original, gera uma economia dos espaços físicos dos aterros. Outro fator relevante é o de que as emissões de GEE dos resíduos pirolisados em aterros são consideradas ínfimas. (DEFRA, 2005)

Segundo a JCS (2007), empresa de consultoria ambiental do Reino Unido, a pirólise oferece uma maior possibilidade para a recuperação de produtos do lixo que a incineração. Quando o lixo é queimado em um incinerador moderno, o produto majoritário é energia enquanto que os gases, óleos e sólidos produzidos na pirólise não só podem ser usados como combustíveis, como também como matéria-prima em diversas indústrias. Outra vantagem que a pirólise apresenta em relação aos outros métodos de gerenciamento de resíduos é o de poder tratar resíduos mistos e também inúmeros tipos de resíduos, como lixo doméstico, comercial, além do proveniente da agricultura. Métodos de gerenciamento como compostagem e reciclagem não são capazes de tratar resíduos mistos. Tradicionalmente, este tipo de resíduo só pode ser destinado a aterros ou incinerado. Portanto, a pirólise constitui uma alternativa mais viável, pois, além de reduzir a toxicidade do lixo, produz combustíveis verdes.

Ademais, as plantas de tratamento por pirólise são mais flexíveis que os incineradores, pois são constituídas por pequenas unidades que podem ser adicionadas ou retiradas de acordo com o volume do resíduo tratado (FOE, 2002).

3.3. A Pirólise e as Mudanças Climáticas

Ainda muito pouco foi estudado sobre a relação da Pirólise com as Mudanças Climáticas. Segundo Smith (2005), a pirólise é uma alternativa para que o lixo biodegradável não seja disposto em aterro sanitário, contribuindo assim para a atenuação das mudanças climáticas, já que tal resíduo não geraria mais metano. Outra vantagem seria a possibilidade da utilização do gás, óleo e carvão provenientes do processo de pirólise para geração de energia em substituição ao consumo de combustíveis fósseis. Além disso, o carvão poderia ser disposto em aterro, mas não geraria mais GEE. Os gases podem ainda ser condensados para uso direto como combustível ou refinados para produzir uma variedade de produtos químicos de alto valor agregado (EUA, 2005).

Klein (2005) chama a atenção para o potencial do tratamento térmico do lixo municipal para geração de créditos de carbono, visto que ele possui, em média, cerca de 70% de material biogênico. A pirólise e/ou outro tratamento térmico, como a combustão, poderia então tratar parte do lixo municipal, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e para o cumprimento das metas de Quioto.

Alguns países já utilizam principalmente a combustão como tratamento, como a Finlândia, provavelmente a líder mundial em co-combustão de lixo. Atualmente a Finlândia trata cerca de 300.000 toneladas de lixo por ano por combustão, produzindo, inclusive, energia. (WILÉN *et al.*, 2004)

Percebe-se que a pirólise é sempre associada a um potencial de mitigação das mudanças climáticas devido à sua capacidade de produção de energia renovável, ou seja, carbono-neutra, e ao fato de evitar a emissão de metano durante a decomposição anaeróbia de resíduo biogênico. Porém, nada é dito sobre o resíduo sólido do processo de pirólise e sua capacidade de evitar que grandes quantidades de carbono fossem novamente lançadas na atmosfera. O BC é estável, ou seja, caso seja disposto no solo, não seria degradado e não formaria metano ou dióxido de carbono. Sendo assim, o carbono ficaria inertizado por centenas a milhares de anos (GRAETZ e SKJEMSTAD, 2003). O único risco seria caso o local de armazenamento pegasse fogo, pois assim o carbono seria emitido para a atmosfera na forma de CO₂.

A pirólise servindo como inertização do carbono pode ser usada para reduzir emissões antropogênicas de três formas:

1. Quando um resíduo de origem biogênica está sendo disposto em um aterro e sofrendo digestão anaeróbia, o metano está sendo gerado na ausência do projeto (linha-base). Se o resíduo passar a ser pirolisado, o metano não mais será gerado. Sabe-se que o metano é um GEE com potencial de aquecimento global (GWP) 21 vezes maior do que o gás carbônico (CO₂). A pirólise atua evitando a formação do metano;
2. A pirólise converte o carbono do resíduo biogênico em uma forma estável (BC) que pode ser estocada geologicamente de forma segura e permanente. Trata-se de uma forma de “fossilização” artificial da matéria orgânica. O gás carbônico retirado da atmosfera para o crescimento da biomassa seria então seqüestrado para um sumidouro permanente: os aterros de resíduos pirolisados.
3. Se um resíduo de origem não-biogênica (por exemplo, plástico e borrachas de origem petroquímica) está sendo incinerado na ausência do projeto (linha-base), o carbono nele contido está sendo emitido para a atmosfera na forma de CO₂. Se a pirólise for adotado em lugar da incineração, o carbono desse resíduo ficaria no resíduo final pirolisado e poderá ser estocado geologicamente. Neste caso, a pirólise atua evitando a formação de CO₂ a partir de um resíduo não-biogênico.

Adicionalmente, se a energia gerada nos gases e líquidos obtidos na pirólise for aproveitada, evitando o uso de energia de origem fóssil, então uma redução adicional de emissões de GEE é alcançada.

3.3.1. Importância do gerenciamento de resíduos

Como os principais estudos referentes à relação entre a pirólise de resíduos e as mudanças climáticas são em torno do lixo urbano, é importante entender como o gerenciamento desses resíduos sólidos municipais podem mitigar as mudanças climáticas.

Os gases de efeito estufa que mais contribuem para o aquecimento global são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Todos eles são produzidos durante o gerenciamento e disposição de resíduos. O impacto dos resíduos sólidos sobre o aquecimento global está mais intimamente relacionado ao metano, pois ele é 21 vezes mais danoso que o do gás carbônico para o efeito estufa.

Segundo os estudos realizados pelo DEFRA (2005), o lixo doméstico contém matéria orgânica de degradação rápida tais como restos vegetais e também de degradação lenta como

a madeira. O depósito de lixo gera dióxido de carbono e metano, dois gases do efeito estufa. Quando se gerencia o tratamento dos resíduos, gerencia-se também a maneira pela qual o carbono presente nos resíduos será devolvido ao meio ambiente. Logo, o tipo de tratamento desses resíduos influencia diretamente nas emissões dos GEE. E é por esse motivo que o gerenciamento de lixo está sendo cada vez mais inserido na agenda política mundial. As preocupações mais freqüentes estão relacionadas ao aumento da quantidade de lixo produzido, às alterações ambientais provocadas por ele e à sustentabilidade dos métodos de gerenciamento empregados.

Gases de efeito estufa podem ser produzidos em todas as etapas do ciclo de vida dos materiais, a partir da extração de matéria-prima até o transporte, produção, uso, tratamento final ou disposição ambiental do material. A partir do ciclo de vida do material, é possível analisar como cada etapa do ciclo influencia nas mudanças climáticas.

A diminuição de resíduos gerados e, principalmente, a prevenção dos mesmos tem maior grau de importância nesta hierarquia, pois apresenta um impacto direto nos primeiros estágios. Quando se evita o lixo desnecessário, a demanda por matéria-prima é reduzida o que, por sua vez, reduz as emissões de dióxido de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis. O efeito dessa economia é cumulativo para todo o ciclo, o que evita a emissão de razoáveis quantidades de gases, desde a extração até o descarte do material.

O reaproveitamento dos produtos é quase tão efetivo quanto a redução, pois previne a volta do carbono ao ambiente, prolongando ao máximo o período no qual o carbono permanece nos materiais. Além disso, o reaproveitamento também reduz a demanda por matéria prima e, portanto, reduz os impactos climáticos associados à extração e ao transporte dos materiais.

A reciclagem reduz a necessidade por novos materiais e preserva os recursos naturais, evitando novas emissões de GEE. Contudo, este processo exige um gasto de energia extra para converter materiais em produtos distintos. Essa energia é oriunda, usualmente, da queima de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, da liberação de GEE na atmosfera.

Um dos tipos de reciclagem é a fabricação de adubos orgânicos, denominada compostagem. Um dos aspectos negativos desse tratamento é que há uma fase anaeróbica neste processo. Vale lembrar que, quando o resíduo é degradado na presença de oxigênio, o gás liberado é o dióxido de carbono. Já a decomposição anaeróbica libera metano, que é 21 vezes mais danoso

que o gás carbônico para o efeito estufa. No entanto, o gás metano produzido, se coletado durante o processo, pode ser utilizado como combustível.

Outra maneira de mitigar as mudanças climáticas é gerenciar o tratamento final ao qual os resíduos são destinados. Entre as alternativas conhecidas, estão a incineração e o reaproveitamento de energia. A incineração sem reaproveitamento de energia tem como objetivos principais a redução de volume e toxicidade do lixo. O material incinerado é convertido em cinzas e gases.

Quando o objetivo é o reaproveitamento de energia, esses processos de disposição final convertem energia inerente aos materiais em energia útil, reduzindo as necessidades por combustíveis fósseis e, portanto, diminuindo as emissões de dióxido de carbono e outros poluentes.

Geralmente, a opção menos favorável para o meio ambiente é depositar o lixo em aterros sanitários, pois a maioria dos aterros existentes no mundo não foram projetados para recolher os GEE (metano) produzidos nos aterros devido à decomposição de lixo na ausência de oxigênio.

Além disso, o confinamento dos resíduos em aterros limita os potenciais para reaproveitamento, reciclagem e recuperação de recursos valiosos. Isso aumenta a demanda por novos recursos naturais e gera ainda mais emissões.

3.4. Resíduos de Curtumes

Segundo Santos *et al.* (2002), existiam ao menos 450 curtumes no Brasil no ano 2000. De acordo com os estudos de Pacheco (2005) e da EC - Comissão Européia (2003), o Brasil produziu 36 milhões de peles de couro em 2004 e entre 32.400 e 40.500 toneladas de resíduos sólido do tipo rebarbas e tiras de couro curtido. Já a produção mundial de couro foi responsável por 680.000 toneladas de resíduos sólidos (DHAYALAN *et al.*, 2007).

Existe grande preocupação ambiental em torno da indústria do couro, principalmente por causa da utilização de cromo durante o processo de curtimento do couro. O resíduo dessa indústria pode contaminar ecossistemas aquáticos, o solo e até mesmo os próprios trabalhadores. (JORDÃO *et al.*, 1999; COSTA *et al.*, 2001; CORDEIRO *et al.*, 1998).

O processo de curtimento utilizado por cerca de 90% das indústrias de processamento de couros é o curtimento mineral com sais de cromo, gerando-se resíduos que contem este metal que são, portanto, resíduos perigosos. (BASEGIO, 1997).

O processo de transformação de pele animal em couro é caracterizado pelo alto consumo de água e geração de grandes quantidades de efluentes líquidos e resíduos sólidos. Como nos países em desenvolvimento, as tecnologias utilizadas não estão no “estado da arte”, essas indústrias de couro causam sérios impactos ambientais negativos (KONRAD *et al.*, 2002).

Como exemplo, Walsh e O’Halloran (1998) estudaram a contaminação por cromo de mexilhões que eram expostos a um efluente de um curtume e mostrou ser ela significativa. Uma possível solução para esse tipo problema poderia ser a recirculação dos efluentes na indústria, que deveriam ser tratados de modo aeróbio ou anaeróbio a priori, dependendo de sua carga orgânica (RIVELA *et al.*, 2004).

Vários reagentes químicos podem ser utilizados no curtimento do couro. Eles podem influenciar as características físicas e estruturais do couro *wet-blue* (BOSCH *et al.*, 1999). Pesquisas demonstram que apenas 15% dos reagentes químicos utilizados na fabricação do couro ficam retidos no produto final. Assim, o grande desafio nas próximas décadas é reduzir ao máximo o desperdício de recursos desse processo (UNIDO, 2000). Uma das possibilidades de se alcançar esse objetivo é converter o máximo possível dos resíduos em subprodutos úteis e, talvez com valor agregado de venda. Pode-se também minimizar a saída dos produtos, especialmente os resíduos não utilizáveis, tentando aproveitá-los no próprio processo industrial. Existem ainda, métodos de fabricação de couro sem o curtimento com cromo.

Estima-se, contudo, que nos próximos 20 anos metade da produção mundial de couro ainda será feita utilizando curtimento com cromo (FRENDRUP, 2000).

Uma possível solução para os resíduos do couro é a incineração. Na incineração a baixas temperaturas, estes resíduos produziram cinzas que conteriam até 25% de cromo solúvel hexavalente e virtualmente nenhum óxido de cromo trivalente insolúvel (BRADFORD, 1979).

Outros estudos, como os da Universidade Federal de Pelotas/RS, são relacionados à aplicação no solo de lodo de curtumes. Em um deles, Passianto *et al.* (2002) mostra que a atividade microbiana no solo não foi afetada pela presença do cromo do resíduo aplicado e que houve um aumento da biomassa microbiana. Já Costa *et al.* (2001) sugere que a disposição desses resíduos no solo apresenta baixa eficiência na correção da acidez do solo ao longo do tempo e que a salinidade e os teores de cálcio podem aumentar. Além disso, o aumento dos teores de cromo podem causar efeitos negativos na produção de matéria seca da soja.

Devido a este potencial poluidor, o licenciamento ambiental das atividades de curtume passou a ser dependente da apresentação do EIA (Estudo de Impactos Ambientais) a partir do Decreto 99.274 de 1990 (BARBIERI, 2004). A partir de 2006, o órgão responsável pelo licenciamento ambiental do Estado de Minas Gerais (FEAM) passou a seguir a NBR 10.004 de 2004 (ABNT, 2004), que estabelece que os resíduos sólidos da indústria do couro são classificados como resíduos CLASSE I – perigosos. Sendo assim, sua disposição final deverá ser em aterros industriais licenciados para este tipo de resíduo. Tal fato acarreta custos adicionais à atividade curtumeira e, por isso, ainda não vem sendo totalmente implementada. Porém, os órgãos ambientais estão cobrando cada vez mais das indústrias para que elas sigam a legislação pertinente.

3.4.1. A fabricação de couro

De acordo com Moreira e Teixeira (2003), na fabricação do couro e artefatos derivados são produzidos diversos tipos de resíduos, constituídos, em grande maioria, por substância dérmica que pode ser utilizada na preparação de outros produtos. Considerando-se a forma original da pele, os processos de sua transformação em couro e a apresentação final do produto, estima-se que 40% da matéria-prima posta em operação são jogados fora no processo de curtimento do couro, seja junto com as águas residuais seja sob a forma de resíduos sólidos. Já nas indústrias transformadoras, como fábricas de calçados, cerca de 20% da superfície do couro é novamente descartada após os cortes. Sendo assim, é possível estimar

que, no produto final, os calçados, no caso, encontram-se apenas 27% de uma pele de novilho. Dessa forma, os outros 73% ficam perdidos sob a forma de resíduos.

As aplicações que podem ter estes resíduos dependem da sua natureza e são, portanto, diferentes. Naturalmente, o custo dos processos de recuperação estará intimamente relacionado ao montante dos resíduos, ao valor dos produtos recuperados e ao grau tecnológico do processo desenvolvido.

Os resíduos de pele podem ser agrupados em duas categorias: resíduos não curtidos e resíduos curtidos. Os resíduos primeiros são aqueles produzidos a partir da pele bruta até a etapa do curtimento em que são retirados os pêlos e a carne do animal. Os resíduos curtidos provêm das operações de rebaixe, lixamento, recorte da pele em estágio final e também das operações de corte em fábrica de artigos de couro.

Também segundo Moreira e Teixeira (2003), para cada unidade de pele curtida ao cromo são produzidos cerca de 4 kg de serragem de rebaixadeira, com 50% de umidade e 3,5% de metal cromo, o que representa um elevado volume de resíduos gerados. Logo, esse tipo de resíduo representa um dos maiores problemas para a indústria do couro.

O tipo de serragem que sai da máquina de rebaixar não pode ser considerado como um material homogêneo, pois apresenta variações quanto à granulometria de acordo com curtume de que provem e também do tipo de curtimento utilizado.

A serragem é um resíduo volumoso em forma de farelos que está imbuído de sais curtentes, sendo alguns altamente tóxicos como o cromo. Devido a estas características, a serragem requer atenção especial de modo que possam ser obtidos os maiores aproveitamentos e rendimentos possíveis.

A maioria das utilizações presume o descurtimento prévio da serragem, com o objetivo de eliminar as substâncias curtentes nela contidas. O descurtimento dos resíduos é a desmineralização dos mesmos em resinas trocadoras de íons. Ele possibilita a fabricação de colas, gelatinas e produtos auxiliares para a indústria do couro.

Além disso, é possível produzir couro reconstituído a partir de resíduos curtidos ao vegetal ou ao cromo, destinados a calçados ou artigos de couro. Ademais, vale citar também o uso na fabricação de embalagens para cargas marítimas e carga para concreto.

Os materiais obtidos com a serragem possuem as propriedades mecânicas das fibras sintéticas e as higiênicas das fibras de couro, fazendo que sejam ideais para a elaboração de componentes do cabedal e do calçado tais como: palmilhas, forros; e ainda artigos de couro e móveis. Outra vantagem dos resíduos curtidos é seu baixo custo, grande resistência a bactérias e baixo teor de umidade. Estas características favorecem, naturalmente, o transporte e armazenamento.

3.4.2. Disposição final de resíduos sólidos curtidos ao Cromo

A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria de processamento de couros requer a introdução de "tecnologias limpas no couro" e sistemas de tratamento para os efluentes e resíduos sólidos que respeitem os padrões de emissão. Os resíduos sólidos de couro curtido ao cromo requerem especial atenção devido ao seu volume e às exigências dos órgãos ambientais para a disposição direta em aterros.

3.4.2.1. Fabricação de Adubo

Trata-se de uma utilização destinada, especialmente, aos resíduos de couro curtido tais como serragem de rebaixadeira, aparas e pó da lixadeira. Os retalhos curtidos, após lavagem e trituração, são utilizados para fabricar uma espécie de farinha fertilizante. O couro curtido ao mineral poderia ter o mesmo destino desde que fosse realizado, previamente, o descortimento do mesmo.

Kolomazník *et al.* (2000) realizaram experiências de tratamento enzimático de serragem de couro ao cromo. O benefício da reação enzimática com aminas de baixo peso molecular é a produção de hidrolisados de proteína de boa qualidade. Estes hidrolisados podem, então, ser utilizados na agricultura como fertilizante organo-nitrogenado. Em comparação realizada em culturas de alface, o fertilizante proveniente dos curtumes proporcionou às culturas uma maior área de aproveitamento e maior valor nutricional do que aquelas originadas a partir do fertilizante comercial.

3.4.2.2. Compostagem por reviramento

A compostagem por reviramento consiste na decomposição da serragem sob condições favoráveis à fermentação até a indução de um estado de humidificação total ou parcial, conforme definição de compostagem.

Logo, o composto é o resultado de um processo controlado de decomposição biológica, transformando-se em um produto mais estável, melhor utilizável como fertilizante orgânico e em melhores condições sanitárias.

Brito *et al.* (2001) realizou o processo de co-disposição de resíduos sólidos de indústrias de curtumes com resíduos sólidos orgânicos e avaliou a eficiência de atenuação e transformação por meio do balanço das massas totais de carbono orgânico, nitrogênio e cromo. A co-disposição entre resíduos sólidos orgânicos e resíduos sólidos da indústria de curtume mostrou-se eficiente na bioestabilização da matéria orgânica. Em um processo de co-disposição utilizando 95% de resíduos sólidos orgânicos e 5% de resíduos sólidos da máquina de rebaixar e lixar couros (resíduos curtidos) foi produzido um composto com valores médios de 60,2% de atenuação de cromo total.

3.4.2.3. Vermicompostagem

A vermicompostagem é um tipo de compostagem em que a matéria orgânica é digerida por minhocas, resultando na sua degradação, e no arejamento e drenagem do material em fase de maturação.

Durante a vermicompostagem, a matéria orgânica é, inicialmente, compostada, com redução de microrganismos prejudiciais à saúde e retorno condição de temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, para não se aquecer demasiadamente e não se compactar, pois os materiais de granulometria fina possuem essa tendência. Então, faz-se a inoculação das minhocas, por um período que varia em torno de 75 dias. Como resultado final, obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento de macro e micro-nutrientes e a formação de um húmus mais estável.

Os resultados encontrados em estudos demonstraram a capacidade bioacumuladora de metais pesados e outros elementos tóxicos pelas minhocas, em alguns casos em percentuais extremamente altos. Esse trabalho demonstra a viabilidade da vermicompostagem para o tratamento de resíduos sólidos provenientes de curtimentos minerais, desde que seja realizada em condições que possibilitem a ação das minhocas.

3.4.2.4. Disposição no solo

Apesar de não ser a técnica mais recomendável de gerenciamento ambiental, a disposição de resíduos sólidos no solo, ora pelo descarte aleatório, ora através de aterros sanitários, é a prática mais utilizada para a destinação final. A solução para confinar a serragem do

rebaixamento em aterros de resíduos industriais é uma solução prática razoável porque concentra os resíduos num local especial, o que possibilita um controle efetivo até que surjam novas alternativas. Contudo, há gastos extras com o transporte e manutenção do aterro visto que esse tipo de resíduo deve ser aterrado em locais específicos conforme legislação vigente e, ademais, esse tipo de gerenciamento impede a transformação dos resíduos em produtos úteis.

3.4.2.5. Incineração

A incineração pode ser considerada uma etapa derradeira de tratamento dos resíduos. É um método baseado na decomposição térmica através de oxidação, com o objetivo de reduzir o volume de um resíduo, sua toxicidade ou, até mesmo, eliminá-lo, convertendo-o em gases ou resíduos incombustíveis. Devido aos problemas ambientais ocasionados pela deposição inadequada no solo de materiais tóxicos não degradáveis, a aplicação do processo à queima de resíduos perigosos é uma importante alternativa para a preservação do ambiente.

As unidades de incineração variam desde instalações pequenas, projetadas e dimensionadas para um resíduo específico até grandes instalações de propósitos múltiplos, para incinerar resíduos de diferentes fontes. No caso de materiais tóxicos e perigosos, estas instalações requerem equipamentos adicionais de controle das emissões do processo de incineração para evitar a poluição do ar (CETESB, 1993).

Na incineração de resíduos de curtumes podem ocorrer dois inconvenientes ambientais: (I) formação de Cr VI por oxidação e (II) formação de dioxinas e furanos, visto que cloro e ferro estão presentes (ESTEVES, 2007).

3.4.2.6. Pirólise

Os métodos pirolíticos diferem dos de incineração pelas condições da atmosfera do sistema. A pirólise é realizada em atmosfera carente de oxigênio enquanto que a incineração é realizada sob atmosfera rica em oxigênio. Os subprodutos da pirólise dos resíduos de couro são: gás combustível com água, metano, monóxido de carbono e dióxido de carbono, uma mistura líquida de água, alcatrão, óleo, substâncias orgânicas, cinza e carvão contendo cromo.

Esteves (2007) estudou a viabilidade técnica e ambiental da pirólise de resíduos de serragem de curtumes e mostrou o grande valor ambiental e econômico do tratamento térmico, pois o mesmo pode reduzir o resíduo em até 80% da sua massa inicial. Conseqüentemente, diminui a necessidade da criação de novos aterros, a utilização dos existentes, e também os gastos com

acondicionamento e transporte dos resíduos. Além disso, análises do carvão obtido após a pirólise possibilitaram a classificação do mesmo como Resíduo Classe II A – Não inerte, de acordo com a NBR 10004:2004 da ABNT, representando, assim, uma grande vantagem econômica, já que os custos de armazenamento dos resíduos Classe II são mais baixos que os do resíduo Classe I.

3.5. Pirólise de Resíduos de Curtume

A pirólise de resíduos de couro gera um resíduo sólido rico em carbono gerado durante a decomposição térmica do couro e reações de polimerização e policondensação que ocorrem no reator pirolítico. Além disso, praticamente todos os compostos inorgânicos originalmente presentes no resíduo de couro ficarão retidos no resíduo sólido pirolisado (YILMAZ *et al.*, 2007).

Caballeo *et al.* (1998) chama atenção para a disposição do resíduo de couro pirolisado. Segundo ele, esse resíduo poderia ser seguramente disposto em aterro, visto que os metais pesados presentes são relativamente resistentes à lixiviação natural.

Outros autores como Heidemann (1993) estudaram a pirólise de couro a altas temperaturas. Suas principais conclusões foram a respeito de como a presença de certos aminoácidos podem reduzir a eficiência da pirólise enquanto a presença de outros indicam a excelente conversão deles para gases.

De modo geral, a pirólise como tratamento de resíduos é muito pouco estudada e, analisando especificamente a pirólise de resíduos de curtume, percebe-se que são raríssimas as pesquisas nessas áreas, existindo apenas alguns artigos que citam essa possibilidade de tratamento e algumas pesquisas em escala laboratorial.

As maiores vantagens desse tipo de tratamento são:

1. A pirólise em comparação com a incineração evita a conversão de Cromo III em Cromo IV, visto que a pirólise é redutora e a incineração oxidante;
2. A pirólise evita a formação de dioxinas e furanos (que se formam em ambiente oxidante, na presença de Cloro e metais como o Ferro). Os resíduos de couro contêm Cloro dos sais usados na conservação da pele e nos banhos. O Ferro está presente nos resquícios de sangue.
3. A pirólise mantém o Cromo na fase sólida (BC) e o resíduo pirolisado contendo Cromo deixa de ser biodegradável. Isso evita a mobilização do Cromo pela atividade biológica, quando o resíduo é colocado em aterro. Ou seja, o resíduo pirolisado é menos nocivo ao ambiente do que o resíduo de couro não pirolisado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Visão Geral do Trabalho

Com apoio financeiro da FAPEMIG e logística da empresa parceira Engenho 9 Engenharia Ambiental LTDA, foi montado um forno experimental de pirólise em Ribeirão das Neves/MG. O forno opera em bateladas e conta com um dispositivo de pós-queima, em que os gases produzidos durante o processo retornam ao sistema fornecendo calor, de modo que, a partir de certo momento, o sistema tende a ser auto-sustentável em termos energéticos.

O resíduo tratado foi o gerado na fabricação do couro *wet-blue*, um resíduo orgânico rico em cromo, formado em curtumes durante a curtição de couro. A procedência desse resíduo é Curtume Kaparaó Indústria e Comércio Ltda, em Ipatinga/MG.

Após a obtenção das amostras dos resíduos cru e pirolisado, estes foram quantificados em termos de quantidade de carbono volátil e fixo, no Laboratório de Análises Físicas e Químicas do DESA/UFMG e, então, analisados estatisticamente. Deste modo foi calculado o seqüestro de carbono do processo em termos de CO₂ equivalente e também o potencial de geração de metano pelo resíduo, caso este continuasse a ser disposto em aterro sanitário, o qual é também calculado na forma de CO₂ equivalente. Por fim, se tem o seguinte índice:

$$I_{\text{redução}} = \frac{\begin{array}{|c|} \hline \text{Devido ao Seqüestro e} \\ \text{Estoque permanente de} \\ \text{carbono} \\ \hline \text{ton. CO}_2\text{e} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Devido ao fato de se evitar} \\ \text{produção de metano} \\ \hline \text{ton. CO}_2\text{e} \\ \hline \end{array}}{\text{ton. de Resíduo Tratado por Pirólise}}$$

Figura 4.1 - Índice de Redução de Emissões GEE por tonelada tratada de resíduo tratado

Para que seja possível a utilização de tal tecnologia para geração de créditos de carbono, fato que facilitaria em termos financeiros a implantação dos sistemas de pirólise, é necessária a existência de metodologias pré-aprovadas na UNFCCC. Propõem-se aqui, então, a formulação dessas metodologias e o envio ao respectivo órgão da ONU para analisá-las e aprová-las.

4.2. Ensaio no Forno de Pirólise

O resíduo escolhido para o ensaio foi aparas de couro do tipo *wetblue*, proveniente do Curtume Kaparaó. A razão social dessa empresa é Kaparaó Indústria e Comércio Ltda e ela está localizada na Avenida José Anatólio Barbosa, 1916, no bairro Limoeiro, na cidade de Ipatinga, Minas Gerais.

Abaixo se pode localizar a cidade de Ipatinga no estado de Minas Gerais, o bairro Limoeiro na cidade de Ipatinga e uma foto área das instalações do Curtume Kaparaó.



Figura 4.2 - Localização do Curtume Kaparaó. Na esquerda indicação da cidade de Ipatinga no Estado de Minas Gerais. Na direita, em verde, a indicação do Bairro Limoeiro no mapa do Município de Ipatinga



Figura 4.3 - Foto aérea das instalações do Curtume Kaparaó, às margens do Ribeirão Ipanema

Na produção de couro nessa indústria, existem dois lugares onde esse resíduo é gerado: na extração mecanizada de aparas de couro das peles e na extração manual das aparas. As fotos abaixo ilustram essas atividades.



Figuras 4.4 e 4.5 - Extrações das aparas de couro: à esquerda a extração automática e à direita a extração manual.

Esse material foi transportado para a cidade de Ribeirão das Neves, onde dois ensaios de pirólise foram realizados. A distância entre Ipatinga e Ribeirão das Neves é de 247 km. O universo considerado foi todo o resíduo pirolisado nos dois ensaios, considerando esse um resíduo representativo de uma típica indústria de couro.

Para o ensaio desse resíduo foi utilizado um forno de pirólise, em escala piloto. Esse forno foi construído no pátio da Empresa Engenho 9, em Ribeirão das Neves, especificamente para pesquisa e possui a capacidade de tratamento de 200 litros de resíduo. Seu combustível é o cavaco de madeira, proveniente do tratamento térmico de resíduos de poda da cidade de Belo Horizonte. Sendo assim, seu combustível é renovável e todo carbono liberado na queima do cavaco é considerado “carbono neutro”, visto que tem origem em biomassa renovável.



Figura 4.6 – Localização da Empresa Engenho 9



Figura 4.7 - Foto do Forno de Pirólise

No local do forno pirolítico piloto, foram tiradas amostras aleatórias, por sorteio, das aparas de couro em seu estado cru, doravante identificadas por Resíduos Cru (RC), e enviadas para ensaios em laboratório.

A metodologia empregada foi preencher o cilindro com 34,70 quilos de RC, fechar o reator e aquecer o forno até pelo menos 500°C, por 10 horas consecutivas. Acredita-se, devido à pré-ensaios, que essa temperatura e esse tempo sejam mais que necessários para pirolisar todo o material dentro do cilindro pirolítico, pelo fato que nesses pré-ensaios os resultados foram bem satisfatórios (ESTEVES, 2007). Os gases provenientes do cilindro pirolítico eram conectados por tubulação à câmara de combustão do cavaco usado para aquecer o forno, e assim usados como combustível para o forno pirolítico. Sendo assim, houve um momento em que não era mais introduzido cavaco como combustível, pois o processo se tornava auto-suficiente em termos energéticos. Após o tratamento, foram tiradas novamente amostras aleatórias, por sorteio, dos resíduos do processo, doravante identificados como Resíduos Pirolisados (RP), e também enviados para ensaios em laboratório. Segue, na próxima página, esquema de funcionamento do forno de pirólise utilizado.

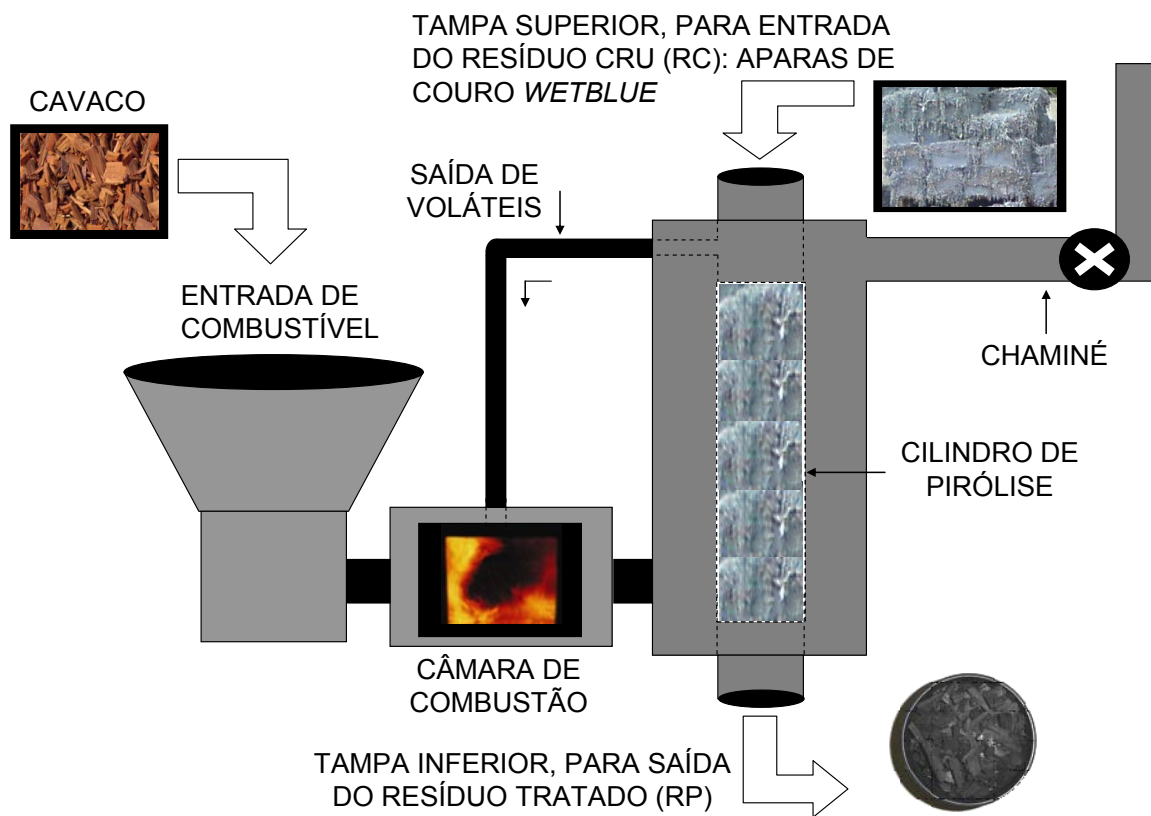


Figura 4.8 - Esquema de funcionamento do forno de pirólise. Uma carga de resíduo cru (RC) é colocado no cilindro pela tampa superior. Em seguida essa carga é submetida à pirólise, usando-se os gases gerados na queima do cavaco como fonte de calor para aquecer o cilindro de pirólise externamente. Uma tubulação conecta o interior do cilindro de pirólise com a câmara de combustão de cavacos, e os gases e vapores gerados no cilindro são então queimados na câmara de combustão, que atua como se fosse um “pós-queimador” para esses gases. O cilindro é aquecido por 10 horas na temperatura de 500°C. Depois o sistema de aquecimento é desligado e o cilindro se resfria à temperatura ambiente. Só então a tampa inferior é aberta para retirada do resíduo pirolisado (RP).

4.3. Ensaios em Laboratório

Nos laboratórios do DESA/UFMG foram realizados ensaios das amostras de RC e RP para obtenção do carbono fixo e volátil presente, além de umidade e cinzas.

O número de amostras significativas foi estimado em 28 pares, com réplicas (totalizando 168 ensaios), seguindo NASCIMENTO *et al.* (1996) e a partir de pré-ensaios, devido à falta de bibliografia específica sobre os parâmetros dos resíduos de couro pirolisados. O número real de amostras ensaiadas foi de 183 (30 de RC e 31 de RP, com réplicas), porém após análise de *outliers* esse número caiu para os já mencionados 168 ensaios válidos.

Os parâmetros utilizados foram:

$$n_1 = n_2 = \left(\frac{z_{\alpha/2} + z_{\beta}}{H} \right)^2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$$

Eq. 4.1

Onde:

$n_1 = n_2 = 27,86 = 28$ amostras;

$Z_{\alpha/2} = 1,96$; $\alpha = 5\%$ (erro tipo I, associado ao erro de rejeitar a hipótese H_0 , no caso o valor de n , quando ela é verdadeira);

$Z_{\beta} = 1,28$; $\beta = 10\%$ (erro tipo II, associado ao erro de não rejeitar H_0 , quando H_0 é falso);

$H = 5\%$ (metade do intervalo de confiança);

$\sigma_1 = 6,10\%$ (desvio-padrão resíduo Cru);

$\sigma_2 = 5,40\%$ (desvio-padrão resíduo Pirolisado);

A metodologia escolhida para os ensaios de carbono fixo nos RC e RP foi a de “análise química imediata do carvão vegetal” do CETEC (1982), baseada na ASTM D-1762-64 – “*Chemical Analysis of Wood Charcoal*”, devido ao fato dela ser uma metodologia amplamente utilizada para a obtenção dos valores de carbono fixo em carvão. Vale ressaltar que não houve mudanças significativas em termos metodológicos na versão mais recente da ASTM D-1762, a saber, ASTM D-1762-84 (2001) - “*Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal*”.

A análise química imediata do resíduo consiste na determinação das suas características em termos de: umidade, matérias voláteis, carbono fixo e cinzas, não cobrindo este método determinações de componentes metálicos.

Para esse ensaio são necessários cadinhos, dessecador, balança de precisão, estufa e mufla com capacidade de pelo menos 950° C.



Figura 4.9 - Equipamentos utilizados: balança de precisão, estufa e mufla, respectivamente.

Nesse método, a amostra é moída até passar completamente em uma peneira de 20 malhas, porém devido a dificuldade de se lidar com o resíduo cru, este foi moído de modo manual até um limite dito aceitável para a pesquisa, mas não peneirado. Ela é então quarteada para se obter três amostras de 1g.

A umidade é determinada secando a amostra a 105° C em uma estufa por 2 horas. Porém, devido ao fato de não se tratar de carvão proveniente de madeira, mas sim de aparas de couro, este resíduo permaneceu na estufa até se obter uma massa constante, o que aconteceu após cerca de 6 horas na estufa. Colocaram-se, então, os cadinhos em um dessecador para esfriar durante 1 hora e foram então pesados. Assim, a umidade é determinada pela perda de peso segundo a fórmula:

$$Umidade(\%) = \frac{Peso_da_amostra_seca_ao_ar - Peso_da_amostra_seca_em_estufa}{Peso_da_amostra_seca_ao_ar} \times 100 \quad \text{Eq. 4.2}$$

O valor da porcentagem de matérias voláteis é determinado como o valor da perda de peso a 950° C dividido pelo peso do resíduo seco em estufa a 105° C. Os cadinhos, agora com tampa, foram pré-aquecidos a 950° C da seguinte forma: abria-se a porta da mufla, e deixavam-se os

cadinhos por 2 minutos na extremidade externa da tampa e depois por 3 minutos na borda da mufla. Após esse procedimento se introduzia os cadinhos para o interior da mufla, por 6 minutos com a porta fechada. Esfriavam-se as amostra em dessecador por 1 hora e pesava-se para calcular o teor de matérias voláteis. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$\text{Matérias_Voláteis}(\%) = \frac{A - B}{A} \times 100$$

Eq. 4.3

Onde:

A = peso do resíduo seco em estufa a 105° C;

B = peso do resíduo após tratamento à 950° C.

Para medir o teor de carbono volátil e não de matérias voláteis existem duas opções:

- a) Medir a composição média dos gases gerados durante a pirólise do resíduo no cadinho fechado, para saber qual a proporção de carbono nos materiais voláteis desprendidos, ou mais facilmente:
- b) Medir a composição elementar (teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio e enxofre) no resíduo cru e no resíduo pirolisado, para saber qual o teor de carbono que é volátil e qual é fixo.

Neste trabalho, por simplificação e sendo conservativo, assumi-se que toda a massa perdida durante a pirólise da amostra é somente carbono. Na verdade, quando se aquece a amostra com a tampa fechada, ela entra em pirólise e perde massa na forma de “compostos voláteis” ou “sólidos voláteis”, aqui chamados de matérias voláteis. Elas são, na verdade, hidrocarbonetos e substâncias orgânicas diversas: $C_xH_yO_zN_r$. O carbono é apenas parte dessa massa. Já no resíduo pirolisado, essas matérias voláteis são basicamente carbono. Ao adotar-se a equivalência “matérias voláteis” igual a “carbono volátil” segue-se um processo conservativo para efeito da metodologia, porém esse valor não representa a quantidade exata de carbono volátil, mas sim seu valor sobreestimado.

Após a etapa anterior, os cadinhos, agora sem tampa, eram então introduzidos novamente na mufla, a 750° C, por 6 horas. Esfriavam-se em dessecador por 1 hora e finalmente os cadinhos eram pesados para se obter o teor de cinzas através da seguinte fórmula:

$$Cinzas(\%) = \frac{C}{A} \times 100$$

Eq. 4.4

Onde:

C = peso do resíduo final (cinzas).

Finalmente, o teor de carbono fixo foi obtido por diferença.

$$Carbono_Fixo(\%) = 100 - Matérias_Voláteis(\%) - Cinzas(\%)$$

Eq. 4.5



Figura 4.10 - Ensaio de análise imediata do resíduo

Inicialmente, os dados foram analisados em termos de *outliers*, sendo desconsiderados dados com valores:

$$Outliers < \text{Quartil Inferior} - 1,5 * (\text{Quartil Superior} - \text{Quartil Inferior}) \quad \text{Eq. 4.6}$$

$$Outliers > \text{Quartil Superior} + 1,5 * (\text{Quartil Superior} - \text{Quartil Inferior}) \quad \text{Eq. 4.7}$$

Os resultados foram então analisados em termos de qual melhor distribuição estatística eram seguidas, mais especificamente, se os resultados eram normais ou lognormais. Essa informação é necessária para escolher quais os melhores métodos estatísticos de comparação de variáveis para verificar se realmente existem diferenças estatísticas entre os resultados do RC e RP.

Pela média e desvio padrão do resultado de carbono fixo no RP, pode-se estimar a capacidade de seqüestro de carbono do processo de pirólise.

4.4. Estimativa do Potencial da Pirólise quanto à Redução de Emissões de GEE e Seqüestro de Carbono.

Para dar legitimidade, em nível mundial, aos projetos de redução de emissões dentro do MDL é necessário que tais projetos sigam metodologias aprovadas pela UNFCCC. Sendo assim, ao analisar o potencial da pirólise enquanto processo mitigador das mudanças climáticas é preciso que essa análise seja feita a partir de uma metodologia que possa ser reproduzida. Foi proposto, então, o desenvolvimento de duas metodologias genéricas que, quando combinadas, condensam o potencial de redução de emissões e seqüestro de carbono do processo de pirólise de biomassa. Essas metodologias foram enviadas para aprovação pela UNFCCC para que projetos sejam desenvolvidos utilizando a tecnologia de pirólise. As metodologias foram assim denominadas: (I) Evitando Produção de Metano pelo decaimento de biomassa através de pirólise controlada e (II) Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada.

4.4.1. Evitando Produção de Metano pelo decaimento de biomassa através de pirólise controlada

Essa metodologia já foi aprovada pela UNFCCC e sua versão final em inglês encontra-se no apêndice I. Abaixo, o texto tal como desenvolvido e aplicado neste trabalho.

4.4.1.1. Tecnologia

1. A metodologia compreende medidas para se evitar emissões de metano de matéria orgânica biogênica que seria, na ausência do projeto, degradada em condições anaeróbicas em um aterro sanitário ou lixão sem captura e queima de biogás.
2. Essa metodologia é aplicável a atividades de projeto em que é possível assumir que os resíduos pirolisados não serão mais susceptíveis a degradação anaeróbia. Os resíduos pirolisados somente serão considerados biologicamente inertes se a relação carbono volátil dividido por carbono fixo for igual ou menor que 50%.
3. Medidas de controle devem incluir captura e queima de GEE produzidos durante a pirólise para se ter certeza que não ocorrem mudanças nas emissões de GEE como consequência da atividade de projeto ou, caso contrário, essas emissões deverão ser contabilizadas.

4. Essa metodologia somente é aplicável caso o projeto tenha um total de redução de emissões de GEE igual ou menor a 60 kt CO₂ equivalente anuais. Esta cláusula é necessário pois a metodologia é para projetos de MDL de pequena escala.

5. As características do local de disposição final do resíduo nas condições de linha-base devem ser conhecidas de maneira a permitir a estimativa de suas emissões de metano.

6. Se o resíduo fosse destinado a um aterro sanitário na ausência de projeto, é também possível contabilizar a redução de consumo de combustíveis fósseis no aterro devido a reduções de massa e volume alcançadas através do processo de pirólise e a conseqüente redução de GEE. Para isso, uma metodologia de eficiência energética deve ser usada.

4.4.1.2. Fronteiras de Projeto

7. As fronteiras de projeto são os locais físicos e geográficos:

- a) Onde seria o local de disposição final do resíduo sólido e a conseqüente emissão de metano na ausência da atividade de projeto proposta;
- b) Onde o tratamento do resíduo sólido por pirólise controlada ocorre;
- c) E nos itinerários entre eles, onde o transporte dos resíduos sólidos e dos resíduos pirolisados acontece.

4.4.1.3. Emissões devido à Atividade de Projeto

8. Emissões devido à atividade de projeto consistem em:

- a) Emissões de CO₂ pelo processo de pirólise de resíduos que contêm carbono, porém que não são biogênicos, tais como plásticos, borracha e outros derivados de petróleo. Aqui deve-se também incluir as emissões desses resíduos quando da queima dos gases e vapores produzidos durante a pirólise.
- b) Emissões de CO₂ devido ao consumo auxiliar de combustíveis fósseis pela planta de pirólise;
- c) Emissões de CO₂ adicionais devido ao incremento das distâncias entre os pontos de coleta de resíduos até a planta de pirólise, em relação ao local de disposição final da linha-base. Também devem ser incluídas as emissões

devidas ao transporte dos resíduos pós-pirólise, da planta de pirólise até o local de disposição final.

- d) Emissões de CO₂ relativas ao consumo de combustível fóssil e/ou eletricidade pela atividade do projeto, incluindo equipamento de controle de poluição atmosférica requerido por lei.

$$PE_y = PE_{y,pyro} + PE_{y,fuel} + PE_{y,transp} + PE_{y,power}$$

Eq. 4.8

Onde:

PE_y = Emissões devido à atividade de projeto no ano y (tCO₂e);

$PE_{y,pyro}$ = Emissões relativas à pirólise de carbono não-biogêneo no ano y (tCO₂e). Como os resíduos tratados foram aparas de couro do tipo *wet-blue*, todo carbono dele é biogênico. Sendo assim, não houve pirólise de carbono não-biogêneo e essa variável foi considerada igual a zero;

$PE_{y,fuel}$ = Emissões devidas ao consumo auxiliar de combustíveis fósseis pela planta de pirólise no ano y (tCO₂e). Não houve consumo de combustíveis fósseis durante os ensaios. O combustível auxiliar utilizado foi biomassa renovável, especificamente cavaco de madeira termo-processado. Essa madeira era um resíduo que teria como destino o aterro municipal de Belo Horizonte. Sendo assim, o cavaco pode ser considerado carbono neutro. A variável $PE_{y,fuel}$ foi, por isso, considerada igual a zero;

$PE_{y,transp}$ = Emissões devido ao consumo de combustíveis fósseis relativas ao incremento das distâncias de transporte no ano y (tCO₂e). No caso específico do Curtume Kaparaó, as distâncias de transporte dos resíduos diminuiram, ou seja, não houve incremento. Isso é devido ao fato de que, na condição de linha-base, os resíduos do Curtume Kaparaó são levados para um aterro industrial localizado na cidade de Paulínia, no Estado de São Paulo. Essa variável foi então, de modo conservador, considerada igual a zero;

$PE_{y,power}$ = Emissões relativas ao consumo de eletricidade ou diesel no ano y (tCO₂e). O consumo de eletricidade ou diesel nos ensaios é muito baixo, visto que apenas poucos dispositivos que os utilizam, como o soprador do biodragão ou a rosca-sem-fim. Por isso, essa variável foi desprezada e considerada igual a zero.

9. As quantidades anuais e composição do resíduo a ser pirolisado pela atividade de projeto devem ser reportadas no documento de desenho de projeto, incluindo quantidades de resíduos biogênicos ($Q_{y,biogenic}$) e não-biogênicos ($Q_{y,non-biogenic}$). Adicionalmente, as projeções de consumo de combustível auxiliar para o processo de pirólise ($Q_{y,fuel}$) também deverão ser providenciados no PDD.

$$PE_{y,fuel} = Q_{y,fuel} \cdot E_{fuel}$$

Eq. 4.9

Onde:

$Q_{y,fuel}$ = Quantidade de combustível usado no ano y (em toneladas);

E_{fuel} = Fator de emissão de CO₂ para o combustível fóssil auxiliar utilizado no processo de pirólise (tCO₂e/tonelada de combustível). Utilizar valores locais. Caso valores locais sejam de difícil acesso, valores *default* do IPCC podem ser utilizados.

Caso a fonte de combustível auxiliar seja biomassa renovável, $PE_{y,fuel}$ pode ser negligenciado. Entretanto, deverá ser demonstrado que o combustível utilizado está coerente com a definição de biomassa renovável acordada pelo comitê executivo (EB) da UNFCCC (ver anexo I: “Annex 18 - *Definition of Renewable Biomass*”, referente às decisões da 23ª reunião do EB). Nos ensaios, conforme já dito, o combustível auxiliar utilizado foi cavaco de madeira termo-processado. Ele é considerado biomassa renovável pelo fato de estar de acordo com a condição 4 (resíduos de biomassa) da definição de biomassa renovável do comitê executivo da UNFCCC.

$$PE_{y,pyro} = Q_{y,non-biogenic} \cdot E_{non-biogenic}$$

Eq. 4.10

Onde:

$Q_{y,non-biogenic}$ = Quantidade de resíduo não-biogênico pirolisado no ano y (em toneladas). Como dito anteriormente, não houve pirólise de resíduos não-biogênico nos ensaios;

$E_{non-biogenic}$ = Fator de emissão de CO₂ para fração do resíduo não-biogênico pirolisado (tCO₂e/tonelada de resíduo não-biogênico).

Alternativamente,

$$PE_{y,pyro} = \frac{Q_{y,non-biogenic}}{Q_{y,total}} \cdot Q_{y,CO_2,pyro}$$

Eq. 4.11

Onde:

$Q_{y,non-biogenic}$ = Quantidade de resíduo não-biogênico pirolisado no ano y (em toneladas);

$Q_{y,total}$ = Quantidade total de resíduo pirolisado no ano y (em toneladas);

$Q_{y,CO_2,pyro}$ = Emissão de CO₂ do processo de pirólise no ano y, incluindo a pirólise ou queima de gases e vapores originados do resíduo (tCO₂e).

10. Emissões de caminhões devido à atividade de projeto, relativas ao incremento das distâncias de transporte, são estimadas da seguinte maneira:

$$PE_{y,transp} = \left(\frac{Q_y}{CT_w} \cdot DAF_w + \frac{Q_{y,pyro-residue}}{CT_{pyro-residue}} \cdot DAF_{pyro-residue} \right) \cdot EF_{CO_2}$$

Eq. 4.12

Onde:

Q_y = Quantidade de resíduo cru no ano y (em toneladas);

CT_w = Média da capacidade do caminhão usado para o transporte do resíduo cru (tonelada/caminhão);

DAF_w = Média do incremento de distância para o transporte do resíduo cru (km/caminhão);

$Q_{y,pyro-residue}$ = Quantidade de resíduo pirolisado no ano y (em toneladas);

$CT_{pyro-residue}$ = Média da capacidade do caminhão usado para o transporte do resíduo pirolisado (tonelada/caminhão);

$DAF_{pyro-residue}$ = distância média de transporte do resíduo pirolisado (km/caminhão);

EF_{CO_2} = Fator de emissão de CO_2 para o combustível utilizado no transporte (tCO_2/km , valores locais ou valores default do IPCC).

4.4.1.4. Linha-Base

11. O cenário de linha-base é a situação em que, na ausência da atividade de projeto, material biogênico e outras matérias orgânicas seriam deixados para decaimento/decomposição em condições claramente anaeróbicas e metano seria emitido para a atmosfera.

12. As emissões do cenário de linha-base em qualquer ano y são calculadas baseadas na quantidade e composição dos resíduos pirolisados desde o começo da atividade de projeto (ano “ $x=1$ ”) até o ano y em questão, usando modelo de decaimento de primeira ordem presente na metodologia AMS III.G – “*Landfill methane recovery*”, aprovada pela UNFCCC e presente no anexo II e na ferramenta metodológica disponibilizada também pela UNFCCC “*Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site*”, que se encontra no anexo III.

$$BE_y = (BE_{y,CH_4,SWDS} - MD_{y,reg}) \cdot GWP_{CH_4}$$

Eq. 4.13

Onde,

BE_y = Emissões da linha-base no ano y (tCO_2e);

$BE_{y,CH_4,SWDS}$ = Emissões de metano evitadas durante o ano y por impedir envio de resíduos para local de disposição de resíduos sólidos, desde o começo da atividade do projeto até o final do ano y (tCO_2e). Calculado pelo método da AMS III.G. Todas as escolhas metodológicas, em particular, a escolha do fator de conversão de metano (MCF), devem ser justificadas.

$MD_{y,reg}$ = Metano que seria destruído ou removido no ano y por regulações legais ou de segurança. No caso específico do projeto, o resíduo tinha como destino um aterro que não possui equipamento ou metodologia para remoção ou queima de metano, de modo regular. Sendo assim, o valor dessa variável foi considerado igual a zero.

GWP_{CH_4} = Potencial de aquecimento global do metano (valor igual a 21, segundo decisão de COP/MOP). Uma tabela de valores de GWP pode ser visualizada no anexo IV. Esta tabela foi extraída da ISO 14.064 - *Annex C – Greenhouse gas global warming*

potentials, referente à sua parte I: *Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*.

A fórmula indicada no “*Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site*” para cálculo do metano evitado bem como as justificativas dos valores adotados para as variáveis encontram-se a seguir.

$$BE_{y,CH_4,SWDS} = \phi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})$$

Eq. 4.14

Onde,

$BE_{y,CH_4,SWDS}$ = Emissões de metano evitadas durante o ano y por impedir envio de resíduos para local de disposição de resíduos sólidos, desde o começo da atividade do projeto até o final do ano y (tCO₂e).

ϕ = Fator de correção do modelo para contabilizar as incertezas. Adotado valor default de 0,9, sugerido pela própria metodologia. Onk *et al.* (1994) utilizou diversos modelos de geração de gases em aterros baseados em 17 projetos de medição de gases de aterro existentes. A média de erro relativo dos modelos foi de 18%. Dadas as incertezas associados ao modelo e de modo a estimar as reduções de emissão de maneira conservativa, um desconto de 10% é aplicado aos resultados do modelo.

f = Fração de metano capturado no local de disposição de resíduos sólidos e queimado ou utilizado de outra maneira. Adotado valor igual a zero, visto que não existe captura de gás no aterro em questão.

OX = Fator de oxidação (refletindo a quantidade de metano do local de disposição do resíduo que é oxidado no solo ou em outro material de cobertura). Adotado valor igual a zero, segundo instruções da metodologia AMS III.G que diz para assumir que não existe oxidação nas camadas de cobertura.

F = Fração de metano no gás gerado no local de disposição de resíduos sólidos. Utilizado o valor default recomendado pelo IPCC 2006 de 50% devido ao fato que parte do carbono orgânico degradável é convertido em gás carbônico e outros constituintes do biogás quando em condições anaeróbias nos locais de disposição dos resíduos sólidos.

DOC_f = Porcentagem de carbono orgânico degradável do resíduo aterrado que pode ser biologicamente decomposta. Utilizado o valor sugerido pelo IPCC 2006 de 50%, segundo estudos de Oonk e Boom (1995) e Bogner e Matthews (2003).

MCF = Fator de correção do metano. Utilizado o valor de referência do IPCC 2006 de 100% para locais de disposição de resíduos sólidos, onde os resíduos são gerenciados de maneira anaeróbia em aterros profundos. Este local tem controle do resíduo aterrado, áreas específicas para a deposição dos mesmos e cobertura com material inerte, compactação mecânica e nivelamento dos resíduos.

$W_{j,x}$ = Quantidade de resíduo orgânico do tipo j que deixou de ser enviado para o local de disposição de resíduos sólidos no ano x (em toneladas). No projeto em questão, tratamos somente um tipo de resíduo, as aparas de couro *wet-blue*. Sendo assim, o valor dessa variável é de 1.200 toneladas por ano que reflete a quantidade total desse resíduo produzido pelo Curtume Kaparaó, em um ano.

DOC_j = Fração de carbono orgânico degradável presente no resíduo tipo j. Adotado o valor de 15%, de acordo com considerações do IPCC 2006 (Volume 5, tabelas 2.4 e 2.5) demonstradas no “*Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site*” da UNFCCC, presente no anexo III.

k_j = Expoente de decaimento do resíduo no modelo de decaimento de primeira ordem. Adotado 0,17 de acordo com considerações do IPCC 2006 (Volume 5, tabelas 3.3) demonstradas no “*Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site*” da UNFCCC, presente no anexo III.

4.4.1.5. Vazamento (*Leakage*)

13. Se os equipamentos da tecnologia de pirólise controlada fossem transferidos de outra local/atividade ou se o equipamento existente fosse transferido para outro local/atividade, os efeitos de vazamento no local da outra atividade deverão ser considerados. No projeto em si não haveria transferência de equipamento, visto que ele seria e permaneceria instalado para tratar os resíduos do Curtume Kaparaó. Sendo assim, emissões devido a vazamento foram desconsideradas.

4.4.1.6. Monitoramento

Essa metodologia foi desenvolvida para um projeto de carbono de vários anos. Sendo assim, seria necessário um monitoramento e este se daria da forma relatada a seguir. Porém, para a dissertação, não houve necessidade de desenvolver esse item de monitoramento, já que a planta de pirólise foi construída em escala experimental.

14. As reduções de emissões alcançadas pela atividade de projeto são medidas pela diferença entre as emissões da linha-base e a soma das emissões do projeto e de vazamento.

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Leakage_y)$$

Eq. 4.15

Onde,

ER_y = Redução de emissões no ano y (tCO_{2e}). No caso deste estudo, como já mencionado, tanto PE_y como Leakage possuem valores igual a zero. Sendo assim, a redução de emissões é igual às emissões da linha-base.

15. A porcentagem de carbono volátil, carbono fixo, cinzas e umidade no resíduo pirolisado devem ser determinadas a partir de um número representativo de amostras. O tamanho e a frequência da amostragem devem ser estatisticamente significativos, com incerteza máxima de 20% e confiabilidade de 95%. Como um parâmetro mínimo, as amostras deverão ser feitas quatro vezes ao ano. Determinações da composição devem ser feitas de acordo com o “*Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal*” – ASTM D1762-84 (2001). Os resíduos pirolisados só são considerados biologicamente inertes se a relação carbono volátil dividido pelo carbono fixo for igual ou menor que 50%.

16. A quantidade de resíduo pirolisado em cada ano (Q_y) deve ser medida e relatada. A composição dos resíduos (fração em massa de cada tipo de resíduos) deve ser determinada através de amostragem representativa e relatada para permitir estimar a emissões de metano da linha-base *ex-post*.

17. A quantidade de combustível auxiliar usado (Q_{y,fuel}) deve ser medida e relatada, a não ser que seja demonstrado que o combustível é renovável.

18. A quantidade de resíduo pirolisado não-biogênico (Q_{y,non-biogenic}) deve ser determinada através de amostragem representativa e sua média de conteúdo de carbono deve ser obtida

usando valores tirados do IPCC 2006 para determinar as emissões devido à atividade de projeto atribuídas ao processo de pirólise.

19. A capacidade média dos caminhões para os resíduos cru (CT_w) e pirolisado ($CT_{\text{pyro-residue}}$) e as distâncias de transporte relevantes devem ser relatadas para permitir o cálculo das emissões devido à atividade de projeto atribuídas ao transporte.

20. O consumo de energia pela planta de pirólise e/ou a geração de energia pela atividade de projeto devem ser monitorados e relatados.

21. Deve ser demonstrado anualmente, através das práticas comumente empregadas nos locais de disposição de resíduos sólidos próximos à atividade de projeto, que na ausência da atividade de projeto, a quantidade de resíduo pirolisado seria destinada a um local de disposição de resíduo sólido sem recuperação de metano e sofreria decomposição anaeróbia.

4.4.2. Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada

Essa metodologia foi enviada para a UNFCCC para análise e aprovação. O *Small Scale Working Group* (SSCWG), órgão da ONU responsável por essa análise, seguindo recomendações do Comitê Executivo (EB), negou a aprovação da metodologia. A argumentação apresentada foi que a presente metodologia proporciona a remoção de GEE da atmosfera e, segundo as regras estabelecidas pelo Acordo de Marrakesh de 2001, só são permitidos dois tipos de projetos de carbono de MDL que fazem tal remoção no primeiro período de compromisso do Protocolo de Quioto (entre 2008 e 2012), a saber: reflorestamento e florestamento. Sendo assim, essa metodologia não poderá ser aplicada para o MDL até o final de 2012, porém como ela realmente seqüestra carbono, poderá entrar no próximo período de compromisso ou em outro mercado de carbono sem ser o regulado pelo Protocolo de Quioto, por exemplo, o mercado voluntário ou o *Chicago Climate Exchange* (CCX). A versão final dessa metodologia em inglês encontra-se no apêndice II. Em seguida, apresenta-se a metodologia tal como desenvolvida e aplicada neste trabalho.

4.4.2.1. Tecnologia

1. Essa metodologia compreende medidas que interrompem o ciclo biogeoquímico do carbono de resíduos sólidos biogênicos através de estoque permanente do conteúdo de carbono estabilizado de resíduos pirolisados. Esses resíduos sólidos biogênicos seriam, na ausência do projeto, deixados para decaimento/degradação em um local de disposição de resíduos sólidos. De maneira similar, essa metodologia também abrange emissões de CO₂ evitadas, as quais seriam geradas pelo cenário de linha-base de incineração de resíduos não-biogênicos. Como consequência da atividade de projeto, o conteúdo de carbono do resíduo sólido torna-se biologicamente inerte e, por isso, pode ser armazenado em um aterro ou em um local de disposição sem que exista a possibilidade de que este carbono seja emitido para a atmosfera.

2. Essa metodologia somente se aplica para atividades de projeto onde é possível ter certeza que os resíduos pirolisados não mais serão susceptíveis à decomposição biológica. Os resíduos pirolisados somente são considerados biologicamente inertes se a relação carbono volátil dividido por carbono fixo for igual ou menor que 50%.

3. Deve ser garantido que os resíduos pirolisados sejam dispostos em um local apropriado para armazenamento, assegurando a integridade física e química dos resíduos estocados.

Medidas para garantir e monitorar a permanência do carbono estocado devem ser também tomadas.

4. Medidas de controle devem incluir recuperação e combustão de outros GEE além do CO₂ produzidos durante o processo de pirólise para se garantir que nenhuma mudança relevante em termos de emissões de GEE aconteça em consequência da atividade do projeto, caso contrário essas emissões precisam ser contabilizadas.

5. Caso os vapores combustíveis e gases gerados na planta de pirólise forem usados para aquecimento ou geração de eletricidade, o projeto poderá utilizar outras metodologias adicionais para contabilizar esses ganhos.

6. Caso a atividade de projeto leve a evitar emissões de metano do decaimento de matéria biogênica, o projeto também poderá utilizar outra metodologia adicional para contabilizar esse ganho.

7. Se o resíduo cru fosse enviado a um aterro na ausência da atividade de projeto, uma metodologia de eficiência energética poderá ser usada para contabilizar o ganho relativo à diminuição de consumo de combustíveis fósseis durante o aterramento, devido a reduções tanto de massa e volume alcançadas através do processo de pirólise.

8. Essa metodologia só é aplicável caso as reduções de emissões resultantes forem menores ou iguais a 60 kt CO₂ equivalente anualmente. A metodologia só é válida para projetos de pequena escala.

4.4.2.2. Fronteiras de Projeto

9. As fronteiras de projeto são definidas pelos locais físicos e geográficos:

- a) Onde o resíduo cru seria disposto e/ou onde esses seriam incinerados no cenário de linha-base;
- b) Onde o tratamento do resíduo sólido através de pirólise controlada ocorre;
- c) Onde o resíduo pirolisado é armazenado;
- d) E o itinerário entre eles, onde o transporte dos resíduos cru e pirolisados ocorrem.

4.4.2.3. Emissões Relativas à Atividade de Projeto

10. As emissões relativas à atividade de projeto consistem em:

- a) Uma parcela negativa referente à quantidade de carbono fixo presente nos resíduos pirolisados produzidos pela atividade de projeto, originados de resíduos biogênicos que seriam ou aterrados ou incinerados no cenário de linha-base. Essa emissão negativa é contabilizada como sendo os resíduos estáveis permanentemente aterrados no local de disposição final, medidos em CO₂e;
- b) Emissões diretas de CO₂ geradas no processo de pirólise de resíduos não-biogênicos que contêm carbono, como plástico, borracha, derivados fósseis, etc. Emissões de CO₂ pela combustão ou queima de gases e vapores, originados durante o processo de pirólise de resíduos não-biogênicos que contêm carbono, e que não seriam enviados à incineração na ausência do projeto devem ser consideradas. No caso específico desse trabalho, esta variável foi considerada igual a zero, visto que os resíduos pirolisados eram aparas de couro do tipo *wet-blue* e, por isso, com conteúdo de carbono totalmente biogênico;
- c) Emissões de CO₂ pelo consumo de combustíveis fósseis auxiliares pela planta de pirólise. Como no projeto em questão não houve consumo de combustível fóssil, mas sim cavaco de madeira termo-processado, um resíduo de biomassa, essa variável também foi considerada com valor igual a zero;
- d) Emissões de CO₂ relativas ao consumo de combustíveis fósseis pelo processo de aterramento requerido para a disposição correta do resíduo pirolisado, caso o resíduo cru não fosse aterrado e sim incinerado na ausência de projeto. No projeto específico do Curtume Kaparaó, o resíduo cru era enviado a um aterro industrial onde combustíveis fósseis já eram utilizados no maquinário para o aterramento. Como a massa e o volume do resíduo pirolisado são menores que do resíduo cru, de maneira conservadora atribuiu-se o valor zero para essa variável;
- e) Emissões de CO₂ devidas ao incremento das distâncias entre os pontos de coleta até a planta de pirólise e em relação ao local de disposição final do cenário de linha-base, além também do transporte dos resíduos pirolisados da planta de pirólise para o local de disposição desses. Como no projeto específico não houve incremento dessas distâncias, mas sim redução, essa variável foi considerada como o valor igual a zero;

- f) Emissões de CO₂ relativas ao consumo de energia pela planta de pirólise, incluindo os equipamentos de controle da qualidade do ar requeridos por lei. No caso de consumo de energia elétrica proveniente da rede pública, o fator de emissão da rede (kg.CO₂e/KWh) deve ser utilizado ou deve ser assumido que geradores a diesel teriam fornecido a mesma quantidade de energia elétrica.

$$PE_y = -CS_y + PE_{y,pyro} + PE_{y,fuel} + PE_{y,land} + PE_{y,transp} + PE_{y,power}$$

Eq. 4.16

Onde:

PE_y = Emissões da atividade de projeto no ano y (tCO₂e);

- CS_y = Carbono permanentemente capturado (estabilizado) e estocado em resíduos finais após o processo de pirólise e enviado para aterro. Medido como o conteúdo fixo de carbono (é uma parcela negativa, medida em tCO₂e). Esse resíduo final sendo originado a partir de resíduos biogênicos processados pela atividade de projeto no ano y;

$PE_{y,pyro}$ = Emissões de CO₂ da pirólise de resíduos não-biogênicos que possuem carbono no ano y (tCO₂e). Considerado no projeto em questão como tendo valor zero, visto tratar-se de pirólise de resíduo totalmente biogênico;

$PE_{y,fuel}$ = Emissões de CO₂ do consumo de combustível auxiliar pela planta de pirólise no ano y (tCO₂e). Considerado no projeto como tendo valor igual a zero, devido à utilização somente de combustível de resíduo de biomassa, ou seja, combustível renovável;

$PE_{y,land}$ = Emissões de CO₂ relativas ao consumo de combustíveis fósseis auxiliares para o aterramento dos resíduos pirolisados no ano y (tCO₂e). Variável considerada tendo valor igual a zero, devido a não utilização de combustíveis adicionais para o aterramento quando comparado ao cenário de linha-base;

$PE_{y,transp}$ = Emissões de CO₂ relativo ao consumo de combustíveis fósseis pelo incremento das distância de transporte dos resíduos pela atividade de projeto no ano y (tCO₂e). Valor da variável também considerado igual a zero pelo fato de não haver incremento das distâncias, mas sim redução das mesmas;

$PE_{y,power}$ = emissões de CO₂ devido ao consumo de eletricidade ou diesel pela planta de pirólise no ano y (tCO₂e). No projeto específico, essa variável foi considerada desprezível e, por isso, igual a zero.

Quantidades anuais e composição dos resíduos a serem pirolisados pela atividade de projeto devem ser documentadas no PDD antecipadamente, incluindo as quantidades de resíduos biogênicos e não-biogênicos ($Q_{y,biogenic}$ e $Q_{y,non-biogenic}$). A quantidade anual esperada e medida de carbono biogênico permanentemente estocado pela atividade de projeto será estimada *ex-ante* e medida *ex-post*.

$$-CS_y = Q_{y,biogenic} \cdot GE_{pyro} \cdot FIX_{pyro} \cdot \frac{44}{12}$$

Eq. 4.17

Onde:

$Q_{y,biogenic}$ = Quantidade de resíduo biogênico pirolisado no ano y (toneladas). Variável considerada no projeto com o valor de 1.200 toneladas, como se todo o resíduo anual de aparas de couro do Curtume Kaparaó fosse tratado por pirólise;

GE_{pyro} = Rendimento gravimétrico do processo de pirólise (fator). Valor obtido através de ensaios no forno experimental de pirólise instalado na empresa Engenho9;

FIX_{pyro} = fração de carbono fixo no resíduo pirolisado (fator). Valor obtido através de ensaios no Laboratório de Análises Físicas e Químicas do DESA/UFMG;

44/12 = Fator para converter a massa de carbono em gás carbônico (CO₂e).

12. Emissões da atividade de projeto relativas ao processo de aterramento, requerido para a disposição correta do resíduo pirolisado, caso o resíduo cru não fosse aterrado e sim incinerado na ausência de projeto seriam estimadas por:

$$PE_{y,land} = V_y \cdot BV_{y,non-landfill} \cdot E_{landfill}$$

Eq. 4.18

Onde:

V_y = Volume total de resíduo sólido tratado por pirólise no ano y (m³);

$BV_{y,non-landfill}$ = Fração de resíduo sólido na linha-base que não seria enviado para disposição em aterro no ano y , sem a atividade de projeto;

$E_{landfill}$ = fator de emissão para atividades de aterramento ($kg.CO_2/m^3$ de resíduo aterrado).

13. Adicionalmente, projeções de consumo de combustíveis auxiliares pelo processo de pirólise (Q_{fuel}) devem ser documentadas no PDD.

$$PE_{y,fuel} = Q_{y,fuel} \cdot E_{fuel}$$

Eq. 4.19

Onde:

$Q_{y,fuel}$ = Quantidade de combustível usado no ano y (toneladas);

E_{fuel} = Fator de emissão de CO_2 para o combustível fóssil auxiliar utilizado no processo de pirólise ($tCO_2e/tonelada$ de combustível). Utilizar valores locais. Caso valores locais sejam de difícil acesso, valores *default* do IPCC podem ser utilizados.

Caso a fonte de combustível auxiliar seja biomassa renovável, $PE_{y,fuel}$ pode ser negligenciado. Entretanto, deverá ser demonstrado que o combustível utilizado está coerente com a definição de biomassa renovável acordada pelo comitê executivo (EB) da UNFCCC (ver anexo I “Annex 18 - *Definition of Renewable Biomass*”, referente às decisões da 23ª reunião do EB). Nos ensaios realizados, conforme já dito, o combustível auxiliar utilizado foi cavaco de madeira termo-processado. Ele é considerado biomassa renovável pelo fato de estar de acordo com a 4ª condição (resíduos de biomassa) da definição de biomassa renovável do comitê executivo da UNFCCC.

$$PE_{y,pyro} = Q_{y,non-biogenic} \cdot E_{non-biogenic}$$

Eq. 4.20

Onde:

$Q_{y,non-biogenic}$ = Quantidade de resíduo não-biogênico pirolisado no ano y (em toneladas). Como dito anteriormente, não há pirólise de resíduos não-biogênico no projeto proposto;

$E_{non-biogenic}$ = Fator de emissão de CO_2 para fração do resíduo não-biogênico pirolisado ($tCO_2e/tonelada$ de resíduo não-biogênico).

Alternativamente,

$$PE_{y,pyro} = \frac{Q_{y,non-biogenic}}{Q_{y,total}} \cdot Q_{y,CO_2,pyro}$$

Eq. 4.21

Onde:

$Q_{y,non-biogenic}$ = Quantidade de resíduo não-biogênico pirolisado no ano y (em toneladas);

$Q_{y,total}$ = Quantidade total de resíduo pirolisado no ano y (em toneladas);

$Q_{y,CO_2,pyro}$ = Emissão de CO₂ do processo de pirólise no ano y, incluindo a pirólise ou queima de gases e vapores originados do resíduo (tCO₂e).

14. Emissões da atividade de projeto por caminhões devido ao incremento das distâncias de transporte devem ser estimadas como a seguir:

$$PE_{y,transp} = \left(\frac{Q_y}{CT_w} \cdot DAF_w + \frac{Q_{y,pyro-residue}}{CT_{pyro-residue}} \cdot DAF_{pyro-residue} \right) \cdot EF_{CO_2}$$

Eq. 4.22

Onde:

Q_y = Quantidade de resíduo cru no ano y (em toneladas);

CT_w = Média da capacidade do caminhão usado para o transporte do resíduo cru (tonelada/caminhão);

DAF_w = Média do incremento de distância para o transporte do resíduo cru (km/caminhão);

$Q_{y,pyro-residue}$ = Quantidade de resíduo pirolisado gerado no ano y (em toneladas);

$CT_{pyro-residue}$ = Média da capacidade do caminhão usado para o transporte do resíduo pirolisado (tonelada/caminhão);

$DAF_{pyro-residue}$ = distância média de transporte do resíduo pirolisado (km/caminhão);

EF_{CO_2} = Fator de emissão de CO_2 para o combustível utilizado no transporte (tCO_2/km , valores locais ou valores default do IPCC).

4.4.2.4. Linha-Base

15. O cenário da linha-base é a situação na qual, na ausência da atividade de projeto, o resíduo sólido biogênico é incinerado ou decomposto anaerobicamente dentro da fronteira do projeto e, por isso, CO_2 é emitido para a atmosfera. Um cenário complementar é a situação em que o resíduo decai anaerobicamente e o metano gerado é capturado e queimado, originando então CO_2 o qual é lançado na atmosfera. O cenário da linha-base no último caso é por isso neutro em termos climáticos (emissão zero). Se o cenário da linha-base inclui emissões de metano não-recuperado, oriundo do decaimento anaeróbico de resíduos biogênicos, é possível utilizar outra metodologia apropriada para contabilizar esse ganho.

16. A incineração de resíduos não-biogênicos que contém carbono pode também ser incluída no cenário de linha-base. Nesse caso, todo o conteúdo de carbono não-biogênico é lançado para a atmosfera como CO_2 e, portanto, precisa ser considerado como emissões da linha-base. As emissões de CO_2 relacionadas ao consumo de combustíveis fósseis para atividades de aterramento devem também ser consideradas como emissões da linha-base. Sendo assim, as emissões da linha-base são calculadas da seguinte maneira:

$$BE_y = Q_{y,non-biogenic} \cdot CC_{non-biogenic} \cdot I_y \cdot \frac{44}{12}$$

Eq. 4.23

Onde:

BE_y = Emissões da linha-base no ano y (tCO_2e);

$Q_{y,non-biogenic}$ = Quantidade de resíduo não-biogênico pirolisado no ano y (em toneladas). Essa variável foi considerada como tendo valor igual a zero pelo fato de todo o resíduo pirolisado ser biogênico;

$CC_{non-biogenic}$ = Conteúdo de carbono do resíduo não-biogênico que seria incinerado no cenário da linha-base (valores default do IPCC 2006 devem ser usados);

I_y = fração do resíduo sólido que seria incinerado no ano y ;

44/12 = fator de conversão de carbono em gás carbônico (CO₂e).

4.4.2.5. Vazamento (*Leakage*)

17. Se os equipamentos da tecnologia de pirólise controlada forem transferidos de outro local/atividade ou se o equipamento existente for transferido para outro local/atividade, os efeitos de vazamento no local da outra atividade devem ser considerados. No projeto em si não haveria transferência de equipamento, visto que ele seria e permaneceria instalado para o tratamento dos resíduos do Curtume Kaparaó. Sendo assim, emissões devido a vazamento foram desconsideradas.

4.4.2.6. Monitoramento / Permanência

18. A redução de emissões alcançadas pela atividade de projeto deve ser medida conforme cálculo da diferença entre as emissões da linha-base e a soma das emissões do projeto e vazamento.

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Leakage_y)$$

Eq. 4.24

Onde:

ER_y = Redução de emissões no ano y (tCO₂e).

Essa metodologia foi desenvolvida para um projeto de carbono de vários anos. Sendo assim, seria necessário um monitoramento e este se daria da forma relatada a seguir. Porém, para a dissertação, não houve necessidade de desenvolver esse item de monitoramento, visto que a planta de pirólise foi usada em escala experimental.

19. A quantidade de resíduo pirolisado em cada ano (Q_y) deve ser medida e documentada. A composição do resíduo (fração em massa de cada tipo de lixo) deve ser determinada. O tamanho e a frequência da amostragem devem ser estatisticamente significativos com o máximo de incerteza de 20% e nível de confiança de 95%. Como quantidade mínima, amostragens devem ser realizadas quatro vezes ao ano. A composição dos resíduos deve ser definida seguindo duas categorias: biogênico e não-biogênico (derivados de fósseis) para determinar as emissões da atividade de projeto atribuídas ao processo de pirólise. Alternativamente, podem ser obtidas informações para contabilizar as reduções de emissões

do projeto devido ao CO₂ evitado, no caso quando resíduos não-biogênicos seriam incinerados na ausência da atividade de projeto.

20. Como os resíduos pirolisados devem ser estocados permanentemente, medidas de controle devem ser tomadas para garantir a permanência desses resíduos em estado inerte no local de armazenamento:

- a) As porcentagens de carbono volátil, carbono fixo, cinzas e umidade no resíduo pirolisado devem ser determinadas a partir de um número representativo de amostras. O tamanho e a frequência da amostragem devem ser estatisticamente significativos, com incerteza máxima de 20% e confiabilidade de 95%. Como um parâmetro mínimo, as amostras deverão ser feitas quatro vezes ao ano. Determinações da composição devem ser feitas de acordo com o “*Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal*” – ASTM D1762-84 (2001). Os resíduos pirolisados só são considerados biologicamente inertes se a relação carbono volátil dividido pelo carbono fixo for igual ou menor que 50%. O local de armazenamento deve ser exclusivamente dedicado para receber os resíduos gerados pela atividade do projeto e deve ser legalizado pelas autoridades locais e nacionais como zona de armazenamento permanente de carbono;
- b) Atenção especial deve ser prestada quanto à prevenção de incêndios. O procedimento de armazenamento deve ser realizado de tal maneira a prevenir a possibilidade de combustão do estoque de carbono, por exemplo, cobrindo cada camada de resíduo pirolisado com uma camada de material inerte capaz de prevenir o contato com ar e, assim, prevenir a combustão das camadas de resíduos pirolisados situadas abaixo;
- c) Os resíduos pirolisados devem ficar fisicamente retidos no local de armazenagem e ter uma cobertura final e uso final compatíveis com a armazenagem permanente de carbono.

21. A quantidade de combustível auxiliar usado ($Q_{y,\text{fuel}}$) deve ser medida e documentada, a não ser que seja demonstrado que o combustível utilizado é renovável.

22. O rendimento gravimétrico da pirólise e a fração de carbono fixo no resíduo pirolisado devem ser medidos mensalmente ou até alcançar 95% de confiança (20% máximo de incerteza).

23. O volume dos resíduos antes e depois do processo de pirólise deve ser medido e documentado. Isso irá prover informações sobre redução de emissões relacionadas à disposição de menor volume de resíduos em aterros. Alternativamente, isso pode também prover informações para a contabilização das emissões diretas do projeto relacionadas às atividades de aterramento de resíduos que não seria disposto dessa maneira no cenário da linha-base.

24. A capacidade média dos caminhões de resíduo cru (CT_w) e de resíduo pirolisado ($CT_{pyro-residue}$) e as distâncias de transporte relevantes devem ser documentadas para possibilitar o cálculo das emissões da atividade de projeto atribuídas ao transporte.

25. O consumo de energia pela planta de pirólise e/ou a geração de energia pela atividade de projeto devem ser monitorados e documentados.

26. É preciso demonstrar anualmente, através de avaliações de práticas comuns dos locais de disposição de resíduos sólidos da proximidade, que a quantidade de resíduo pirolisado pela atividade de projeto seria disposta em um desses locais e sofreria decaimento por todo o tempo de projeto e/ou o resíduo pirolisado pela atividade de projeto seria incinerado. A permanência dos resíduos pirolisados no local de armazenamento deve também ser demonstrada através de medições bienais.

5. RESULTADOS

5.1. Ensaio no Forno de Pirólise

Para os dois ensaios realizados no forno de pirólise, o RC foi pesado e colocado no cilindro de pirólise, onde foi medido seu volume. Após o tratamento, o RP foi novamente pesado e medido. Em ambos os ensaios, foram inseridos no cilindro 34,70 kg de RC. A redução de massa e volume foi considerável, ficando acima de 80% em ambos. Os resultados estão presentes na tabela abaixo.

Tabela 5.1 - Resultados do Forno de Pirólise na redução de massa e volume dos resíduos

	Ensaio 01	Ensaio 02	Unidade
Entrada: Resíduo Cru (RC)	34,70	34,70	Kg
Saída: Resíduo Pirolisado (RP)	6,90	6,55	Kg
Rendimento Gravimétrico	19,9%	18,9%	%
Eficiência de Redução de Massa	80,1%	81,1%	%
Entrada: Resíduo Cru (RC)	0,192	0,192	m ³
Saída: Resíduo Pirolisado (RP)	0,030	0,028	m ³
Rendimento Volumétrico	15,6%	14,6%	%
Eficiência de Redução de Volume	84,4%	85,4%	%

5.2. Ensaio em Laboratório

Apresenta-se a tabela 5.2 com os resultados das médias das triplicatas dos ensaios em laboratório em termos de carbono fixo, carbono volátil e cinzas dos RC e RP, respectivamente. Os valores estão em porcentagem da massa seca. Os resultados de todas as amostras encontram-se nos anexos IV (resíduos cru) e V (resíduos pirolisados).

Inicialmente, procurou-se identificar os *outliers*. Eles são caracterizados, por definição, como atípicas observações infrequentes, ou seja, dados que parecem não seguir as características da distribuição do restante dos dados. Na maioria das vezes, eles são reflexos de falhas nos ensaios ou nas medições ou outras anomalias. Tipicamente, acredita-se que os *outliers* representam um erro randômico que se gostaria que fosse controlado. Como os *outliers* são capazes de mudar consideravelmente a curva da distribuição, eles são removidos dos dados antes das análises estatísticas para evitar que a legitimidade das análises seja comprometida. De acordo com as fórmulas 4.6 e 4.7 a seguir, foram identificados os limites inferiores e superiores para os *outliers*. Estes limites estão indicados na tabela 5.3.

$$\text{Outliers} < \text{Quartil Inferior} - 1,5 * (\text{Quartil Superior} - \text{Quartil Inferior}) \quad \text{Eq. 4.6}$$

$$\text{Outliers} > \text{Quartil Superior} + 1,5 * (\text{Quartil Superior} - \text{Quartil Inferior}) \quad \text{Eq. 4.7}$$

Tabela 5.2 – Teores de Voláteis, cinzas e carbono fixo (% massa seca) dos ensaios em laboratório para 30 amostras de resíduos cru e 31 amostras de resíduos pirolisados – cada resultado é a média das triplicatas. Dados com *outliers*.

Resíduo Cru (massa seca)					Resíduo Pirolisado (massa seca)				
Amostra	Voláteis (I)	Cinzas	Carbono Fixo (II)	(I) / (II)	Amostra	Voláteis (I)	Cinzas	Carbono Fixo (II)	(I) / (II)
Amostra 1	78,15%	4,69%	17,17%	455,20%	Amostra 1	38,22%	10,92%	50,86%	75,13%
Amostra 2	76,29%	4,41%	18,99%	401,80%	Amostra 2	37,44%	10,92%	51,55%	72,61%
Amostra 3	76,57%	4,87%	18,89%	405,43%	Amostra 3	29,12%	11,57%	58,08%	50,14%
Amostra 4	80,11%	4,90%	16,05%	499,14%	Amostra 4	27,60%	10,89%	59,72%	46,22%
Amostra 5	69,21%	4,77%	18,74%	369,25%	Amostra 5	26,69%	12,55%	59,42%	44,92%
Amostra 6	75,86%	4,75%	19,19%	395,26%	Amostra 6	26,59%	12,77%	59,25%	44,88%
Amostra 7	76,03%	4,81%	19,23%	395,35%	Amostra 7	26,71%	11,72%	61,62%	43,35%
Amostra 8	76,47%	4,45%	19,36%	394,96%	Amostra 8	23,54%	11,61%	64,78%	36,35%
Amostra 9	75,71%	4,66%	20,15%	375,76%	Amostra 9	29,90%	11,17%	58,13%	51,44%
Amostra 10	75,56%	4,77%	20,01%	377,61%	Amostra 10	29,54%	11,18%	56,71%	52,09%
Amostra 11	74,71%	4,60%	20,62%	362,33%	Amostra 11	28,83%	10,97%	57,25%	50,35%
Amostra 12	75,50%	4,68%	19,71%	383,01%	Amostra 12	27,17%	11,78%	59,51%	45,65%
Amostra 13	76,86%	4,75%	18,36%	418,61%	Amostra 13	28,74%	11,62%	57,28%	50,17%
Amostra 14	76,58%	4,83%	17,90%	427,79%	Amostra 14	26,52%	11,70%	57,99%	45,74%
Amostra 15	77,35%	4,64%	17,82%	434,03%	Amostra 15	28,61%	11,76%	58,44%	48,96%
Amostra 16	75,25%	4,80%	19,24%	391,21%	Amostra 16	29,58%	12,03%	57,64%	51,31%
Amostra 17	76,47%	4,60%	18,69%	409,09%	Amostra 17	26,90%	12,94%	59,53%	45,18%
Amostra 18	77,18%	4,64%	17,77%	434,31%	Amostra 18	27,05%	12,59%	60,26%	44,89%
Amostra 19	76,02%	4,68%	18,91%	402,10%	Amostra 19	25,54%	13,04%	60,22%	42,41%
Amostra 20	78,53%	4,60%	16,75%	468,72%	Amostra 20	24,47%	12,63%	60,92%	40,16%
Amostra 21	79,39%	5,22%	15,08%	526,36%	Amostra 21	26,70%	11,97%	58,49%	45,66%
Amostra 22	79,78%	5,27%	14,83%	537,83%	Amostra 22	28,29%	11,41%	58,97%	47,97%
Amostra 23	79,62%	5,32%	15,20%	523,73%	Amostra 23	29,30%	11,24%	58,22%	50,32%
Amostra 24	79,94%	5,11%	14,17%	564,11%	Amostra 24	28,48%	11,23%	59,29%	48,03%
Amostra 25	80,81%	5,14%	13,12%	615,87%	Amostra 25	27,62%	11,31%	60,01%	46,02%
Amostra 26	76,46%	5,00%	18,19%	420,37%	Amostra 26	29,23%	11,29%	58,49%	49,98%
Amostra 27	76,46%	4,51%	19,03%	401,72%	Amostra 27	26,89%	13,32%	59,97%	44,83%
Amostra 28	75,91%	4,84%	18,93%	401,05%	Amostra 28	26,20%	13,52%	60,76%	43,12%
Amostra 29	76,67%	4,87%	18,67%	410,68%	Amostra 29	28,03%	13,12%	59,18%	47,37%
Amostra 30	76,21%	5,07%	18,73%	406,88%	Amostra 30	27,37%	13,66%	59,02%	46,38%
					Amostra 31	26,75%	13,55%	58,99%	45,35%

Tabela 5.3 – Resultados de Limites dos *Outliers*

Limites para <i>Outliers</i>		LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
RC	Volátil	< 72,56%	> 81,50%
RC	Fixo	< 14,13%	> 22,23%
RP	Volátil	< 23,08%	> 32,74%
RP	Fixo	< 55,23%	> 62,82%

Assim, foram identificados dois *outliers* nos resultados dos RC e três nos dos RP. Esses *outliers* estão indicados na próxima tabela. As amostras 1 e 2 do RP destoaram do restante dos dados devido a um erro de procedimento durante os ensaios: as tampas não foram colocadas nos cadinhos, antes dos ensaios de carbono voláteis. Sendo assim, foram excluídas por serem amostras inválidas.

Tabela 5.4 – Resultado de Identificação dos *Outliers* e amostras inválidas.

Resíduo	Amostra	Carbono Voláteis	Limite		Carbono Fixo	Limite	
			Inferior	Superior		Inferior	Superior
RC	Amostra 5	69,21%	OUTLIER	OK!	18,74%	OK!	OK!
RC	Amostra 25	80,81%	OK!	OK!	13,12%	OUTLIER	OK!
RP	Amostra 1	38,22%	OK!	INVÁLIDA	50,86%	INVÁLIDA	OK!
RP	Amostra 2	37,44%	OK!	INVÁLIDA	51,55%	INVÁLIDA	OK!
RP	Amostra 8	23,54%	OK!	OK!	64,78%	OK!	OUTLIER

Essas amostras foram, então, retiradas das planilhas de dados, as quais ficaram com 28 amostras cada. Vale salientar que cada amostra é uma média de 3 ensaios, visto que foram sempre feitas tréplicas. Os resultados sem os *outliers* são apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 5.5 - Teores de Voláteis, cinzas e carbono fixo (% massa seca) dos ensaios em laboratório para 30 amostras de resíduos cru e 31 amostras de resíduos pirolisados – cada resultado é a média das triplicatas. Somente dados válidos.

Resíduo Cru (massa seca)					Resíduo Pirolisado (massa seca)				
Amostra	Voláteis (I)	Cinzas	Carbono Fixo (II)	(I) / (II)	Amostra	Voláteis (I)	Cinzas	Carbono Fixo (II)	(I) / (II)
Amostra 1	78,15%	4,69%	17,17%	455,20%	Amostra 3	29,12%	11,57%	58,08%	50,14%
Amostra 2	76,29%	4,41%	18,99%	401,80%	Amostra 4	27,60%	10,89%	59,72%	46,22%
Amostra 3	76,57%	4,87%	18,89%	405,43%	Amostra 5	26,69%	12,55%	59,42%	44,92%
Amostra 4	80,11%	4,90%	16,05%	499,14%	Amostra 6	26,59%	12,77%	59,25%	44,88%
Amostra 6	75,86%	4,75%	19,19%	395,26%	Amostra 7	26,71%	11,72%	61,62%	43,35%
Amostra 7	76,03%	4,81%	19,23%	395,35%	Amostra 9	29,90%	11,17%	58,13%	51,44%
Amostra 8	76,47%	4,45%	19,36%	394,96%	Amostra 10	29,54%	11,18%	56,71%	52,09%
Amostra 9	75,71%	4,66%	20,15%	375,76%	Amostra 11	28,83%	10,97%	57,25%	50,35%
Amostra 10	75,56%	4,77%	20,01%	377,61%	Amostra 12	27,17%	11,78%	59,51%	45,65%
Amostra 11	74,71%	4,60%	20,62%	362,33%	Amostra 13	28,74%	11,62%	57,28%	50,17%
Amostra 12	75,50%	4,68%	19,71%	383,01%	Amostra 14	26,52%	11,70%	57,99%	45,74%
Amostra 13	76,86%	4,75%	18,36%	418,61%	Amostra 15	28,61%	11,76%	58,44%	48,96%
Amostra 14	76,58%	4,83%	17,90%	427,79%	Amostra 16	29,58%	12,03%	57,64%	51,31%
Amostra 15	77,35%	4,64%	17,82%	434,03%	Amostra 17	26,90%	12,94%	59,53%	45,18%
Amostra 16	75,25%	4,80%	19,24%	391,21%	Amostra 18	27,05%	12,59%	60,26%	44,89%
Amostra 17	76,47%	4,60%	18,69%	409,09%	Amostra 19	25,54%	13,04%	60,22%	42,41%
Amostra 18	77,18%	4,64%	17,77%	434,31%	Amostra 20	24,47%	12,63%	60,92%	40,16%
Amostra 19	76,02%	4,68%	18,91%	402,10%	Amostra 21	26,70%	11,97%	58,49%	45,66%
Amostra 20	78,53%	4,60%	16,75%	468,72%	Amostra 22	28,29%	11,41%	58,97%	47,97%
Amostra 21	79,39%	5,22%	15,08%	526,36%	Amostra 23	29,30%	11,24%	58,22%	50,32%
Amostra 22	79,78%	5,27%	14,83%	537,83%	Amostra 24	28,48%	11,23%	59,29%	48,03%
Amostra 23	79,62%	5,32%	15,20%	523,73%	Amostra 25	27,62%	11,31%	60,01%	46,02%
Amostra 24	79,94%	5,11%	14,17%	564,11%	Amostra 26	29,23%	11,29%	58,49%	49,98%
Amostra 26	76,46%	5,00%	18,19%	420,37%	Amostra 27	26,89%	13,32%	59,97%	44,83%
Amostra 27	76,46%	4,51%	19,03%	401,72%	Amostra 28	26,20%	13,52%	60,76%	43,12%
Amostra 28	75,91%	4,84%	18,93%	401,05%	Amostra 29	28,03%	13,12%	59,18%	47,37%
Amostra 29	76,67%	4,87%	18,67%	410,68%	Amostra 30	27,37%	13,66%	59,02%	46,38%
Amostra 30	76,21%	5,07%	18,73%	406,88%	Amostra 31	26,75%	13,55%	58,99%	45,35%

A tabela 5.6 a seguir mostra os resultados das médias e desvios padrões obtidos dos ensaios em laboratório em termos de carbono volátil, carbono fixo e a relação entre carbono volátil dividido por carbono fixo. É importante verificar que o resultado desse último, de média igual a 46,9%, variando de 43,9% a 49,9%, possui valor menor que 50%, limite estabelecido para que o resíduo não seja plausível de decomposição biológica.

Tabela 5.6 - Valores das médias e desvio padrões dos ensaios em laboratório

Tipo de Resíduo	Carbono Voláteis (I)			Carbono Fixo (II)			Relação: (I) / (II)		
	Teor Médio (% massa seca)	Desvio Padrão	Desvio Padrão (%)	Teor Médio (% massa seca)	Desvio Padrão	Desvio Padrão (%)	Teor Médio (% massa seca)	Desvio Padrão	Desvio Padrão (%)
Resíduo Cru (RC)	77,0	1,54	2,00	18,1	1,70	9,35	429,45	53,62	12,49
Resíduo Pirolisado (RP)	27,7	1,35	4,86	59,0	1,17	1,99	46,89	3,03	6,47

Procurou-se identificar estatisticamente se os resultados seguiam a distribuição normal ou lognormal. Abaixo, segue a tabela dessa análise com os diversos valores de p , com um nível de significância $\alpha = 5\%$. Os testes estatísticos sempre analisam a igualdade, ou seja, se a distribuição analisada segue uma distribuição normal, por exemplo. Assim, valores de p menores que o nível de significância adotado, no caso $p < 0,05$, refletem que a distribuição analisada não segue uma distribuição normal ou lognormal. Por outro lado, valores de p maiores que α indicam que a distribuição analisada pode seguir uma distribuição normal ou lognormal. Quanto mais perto de 1, ou seja 100%, mais perto da distribuição normal ou lognormal está a distribuição analisada.

Tabela 5.7 - Valores de p para distribuições normais e lognormais

Distribuição	Resíduo Cru (RC)			Resíduo Pirolisado (RP)		
	Voláteis (I)	Fixo (II)	(I) / (II)	Voláteis (I)	Fixo (II)	(I) / (II)
Normal	$p = 0,00670$	$p = 0,15665$	$p = 0,01060$	$p = 0,07315$	$p = 0,83688$	$p = 0,21315$
Lognormal	$p = 0,00764$	$p = 0,09715$	$p = 0,03450$	$p = 0,08287$	$p = 0,80428$	$p = 0,24079$

Os resultados em termos de carbono fixo em ambos RC e RP seguem a distribuição normal, principalmente o RP. Já a relação carbono voláteis dividido por carbono fixo do RP segue a distribuição lognormal. Porém, como os outros resultados são não-normais, testes não-paramétricos são necessários para comparação dessas variáveis.

As figuras 5.1 a 5.6, a seguir, ilustram essas variáveis que seguiram distribuições normais através de gráficos de histograma e *normal probability plot* e a variável que seguiu distribuição lognormal através de gráficos de histograma e *probability-probability plot*. Percebe-se, visualmente, que o resultado de carbono fixo do RP segue de modo bem aproximado a distribuição normal.

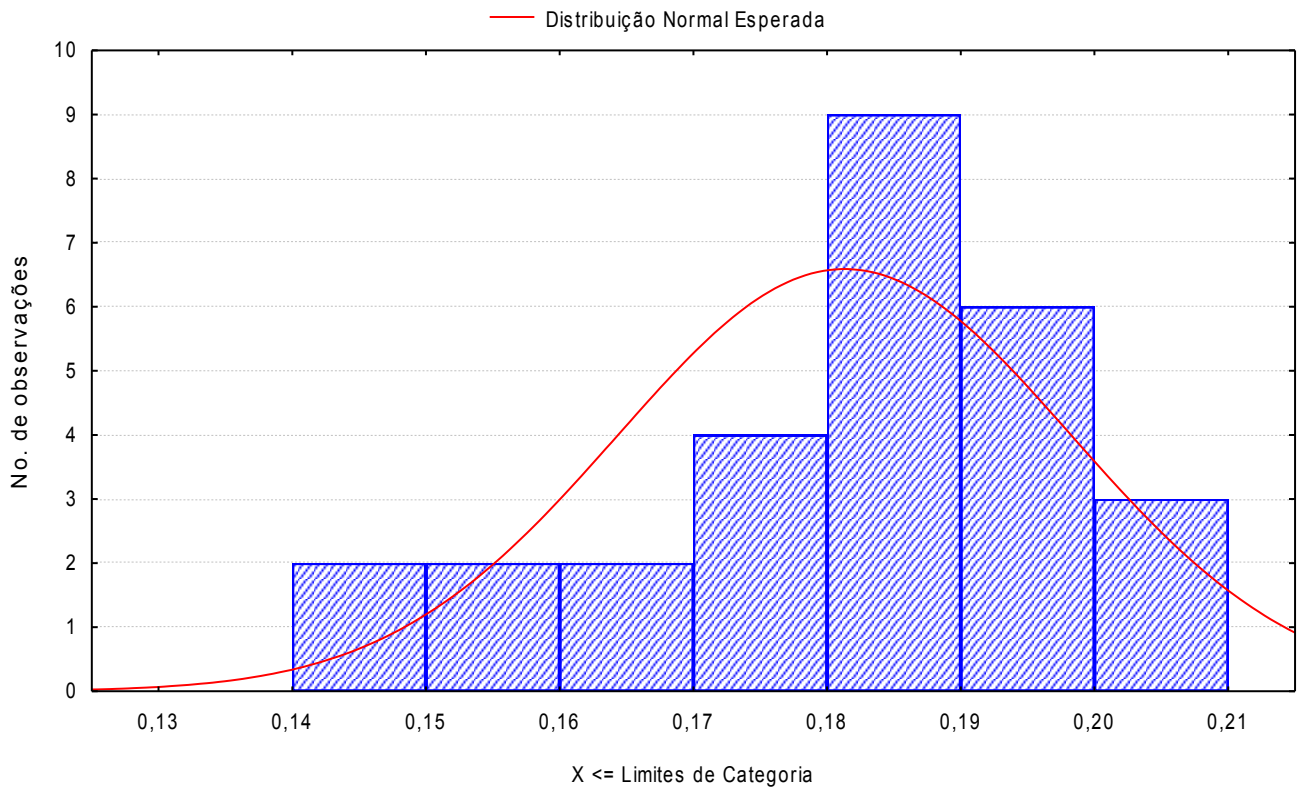


Figura 5.1 - Histograma carbono fixo do RC, distribuição normal.

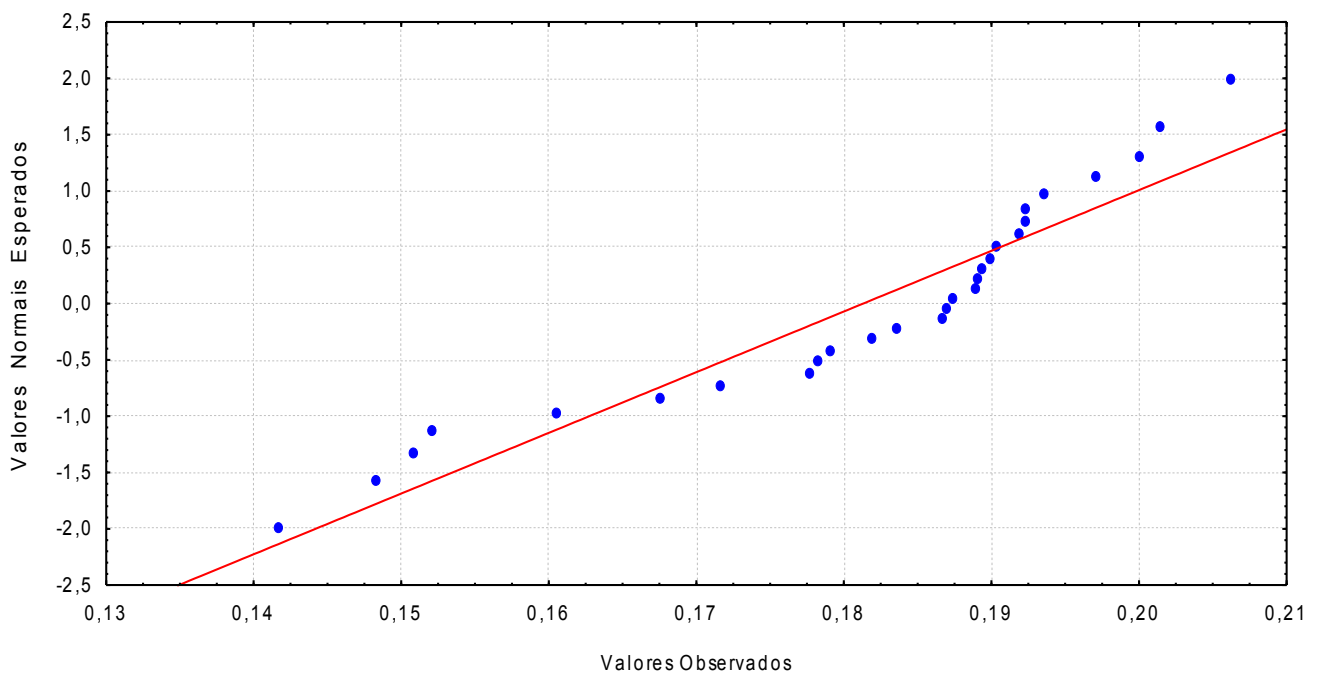


Figura 5.2 - Normal Probability plot do carbono fixo do RC.

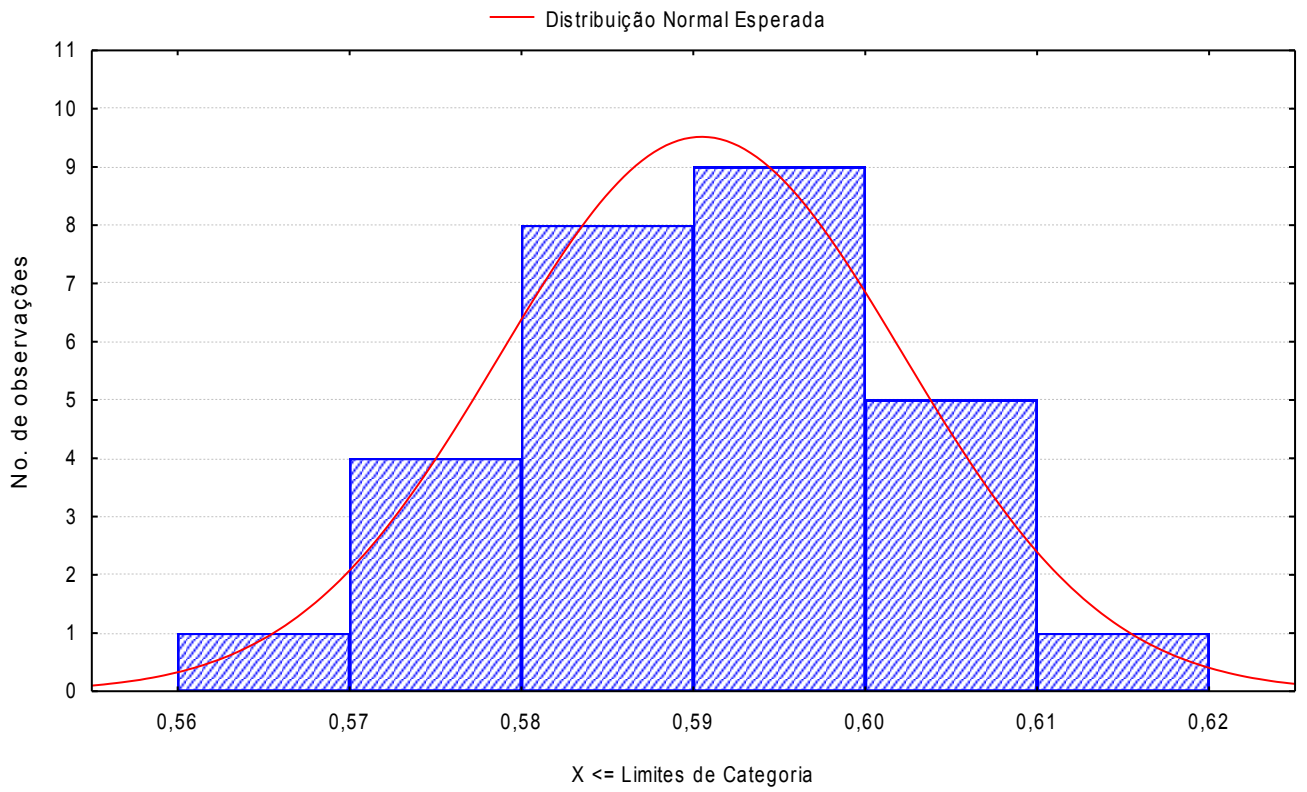


Figura 5.3 - Histograma carbono fixo do RP, distribuição normal.

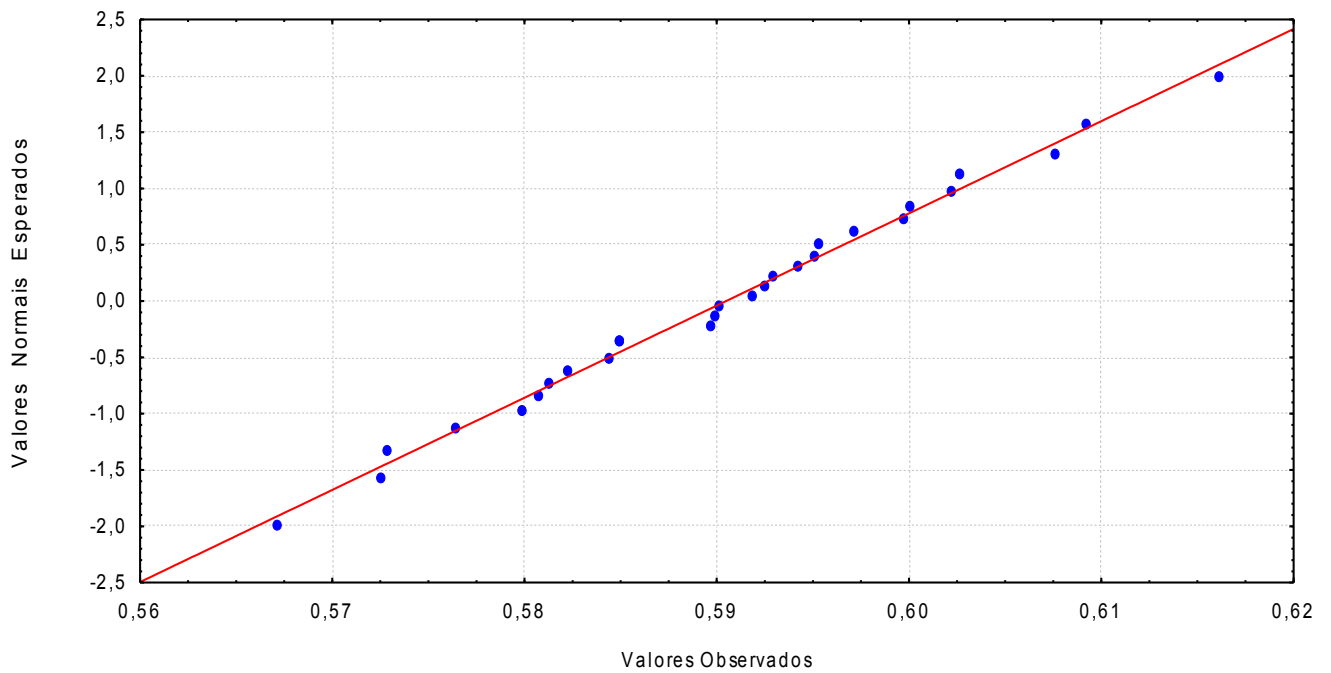


Figura 5.4 - Normal Probability plot do carbono fixo do RP.

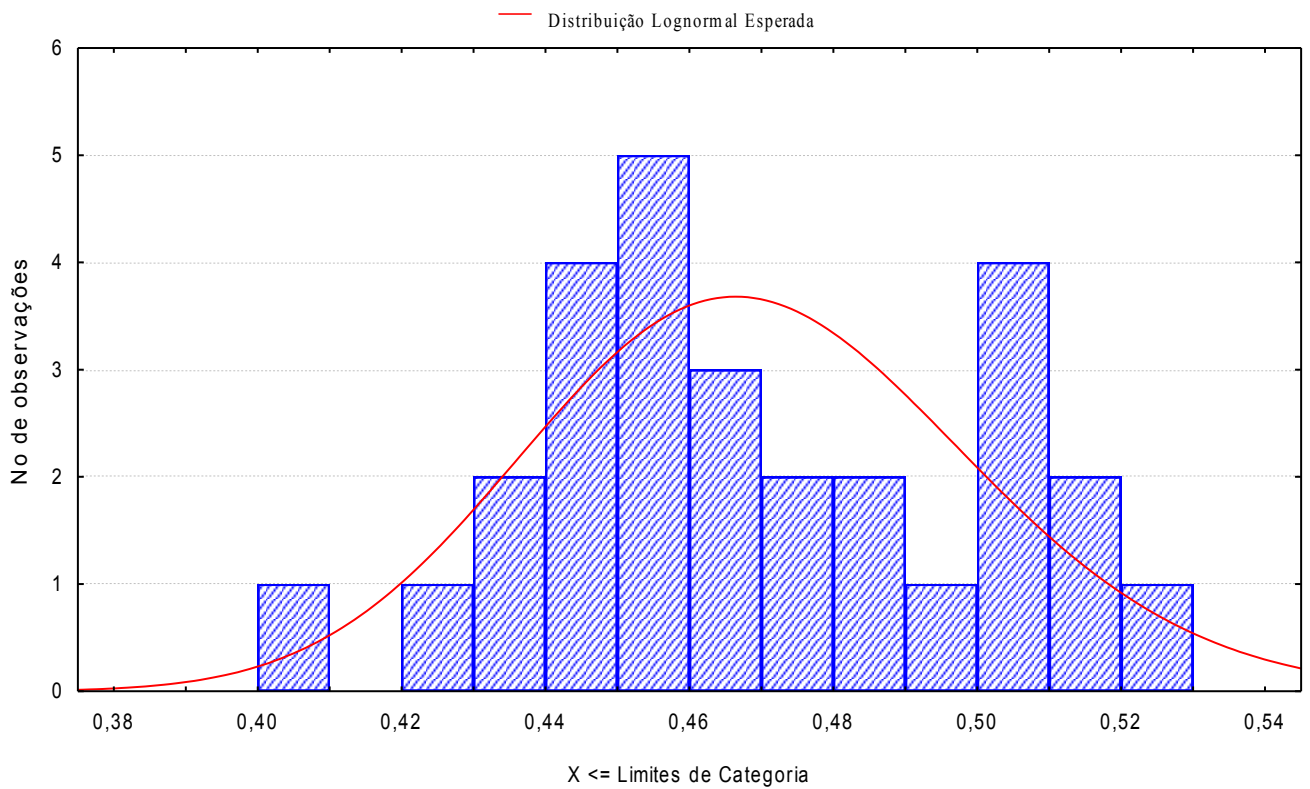


Figura 5.5 - Histograma da relação carbono volátil dividido por carbono fixo do RP, distribuição lognormal.

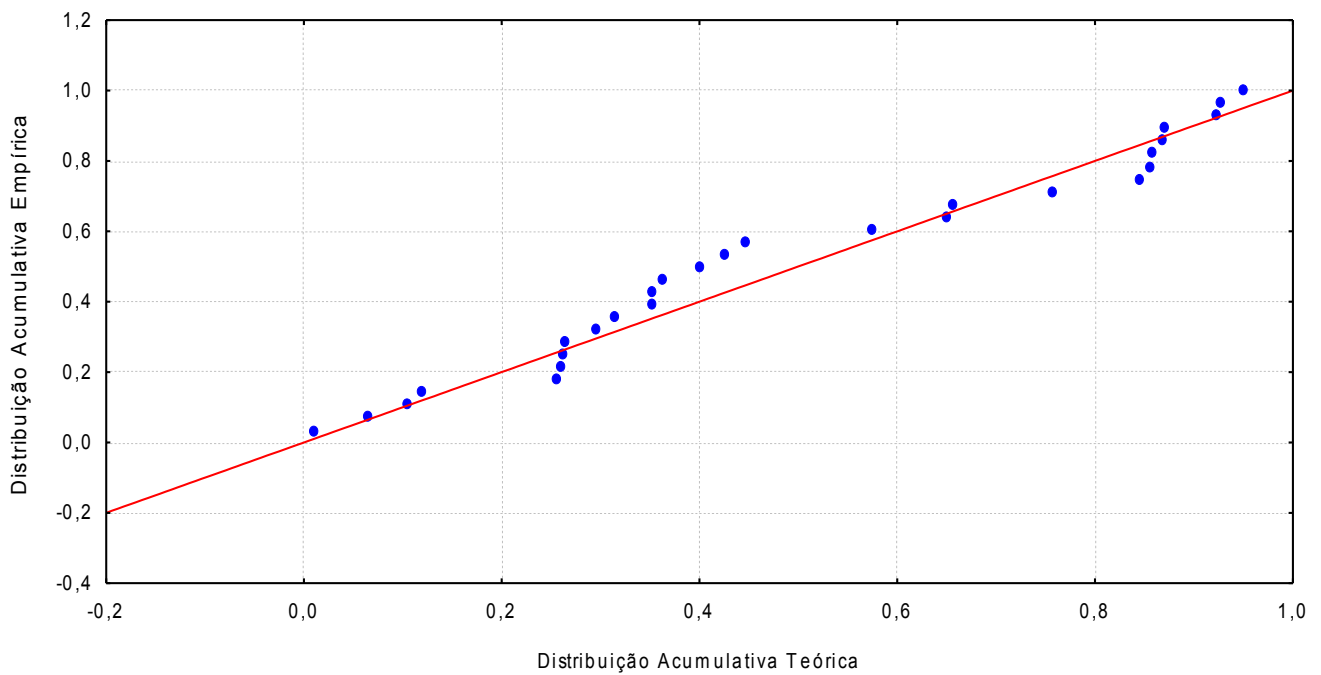


Figura 5.6 - Probability-Probability plot da relação carbono volátil dividido por carbono fixo do RP.

As figuras seguintes mostram gráficos *Box & Whisker* comparativos dos resultados de RC e RP, em termos de carbono fixo, carbono volátil e a relação carbono volátil dividido por carbono fixo. Percebe-se visualmente grande diferença entre eles. Compararam-se então, as variáveis segundo os testes não-paramétricos *Wald-Wolfowitz*, *Kolmogorov-Smirnov* e *Mann-Whitney* com nível de significância $\alpha = 1\%$. Os resultados encontram-se na tabela 5.8. Todos os testes foram significativos, visto que os valores de p foram menores que α , indicando diferenças estatísticas entre todas as variáveis.

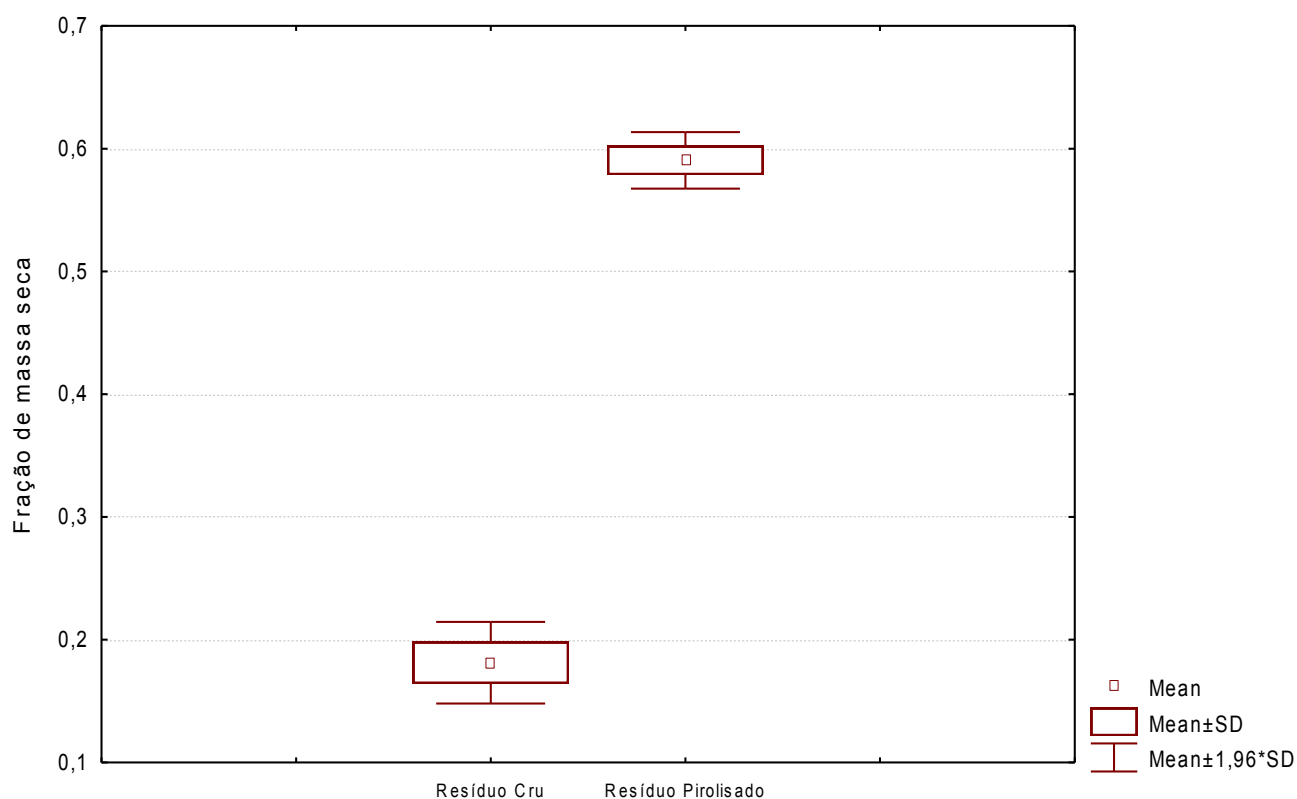


Figura 5.7 – Gráficos *Box & Whisker* de Carbono Fixo

Tabela 5.8 - Valores de p para testes não-paramétricos

Teste Não-Paramétrico	Comparação entre os resultados RC x RP		
	Carbono Fixo (I)	Carbono Voláteis (II)	(I) / (II)
Wald-Wolfowitz Runs Test	3,282859E-13	3,282859E-13	3,282859E-13
Kolmogorov-Smirnov Test	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
Mann-Whitney U Test	1,332388E-10	1,332388E-10	1,332388E-10

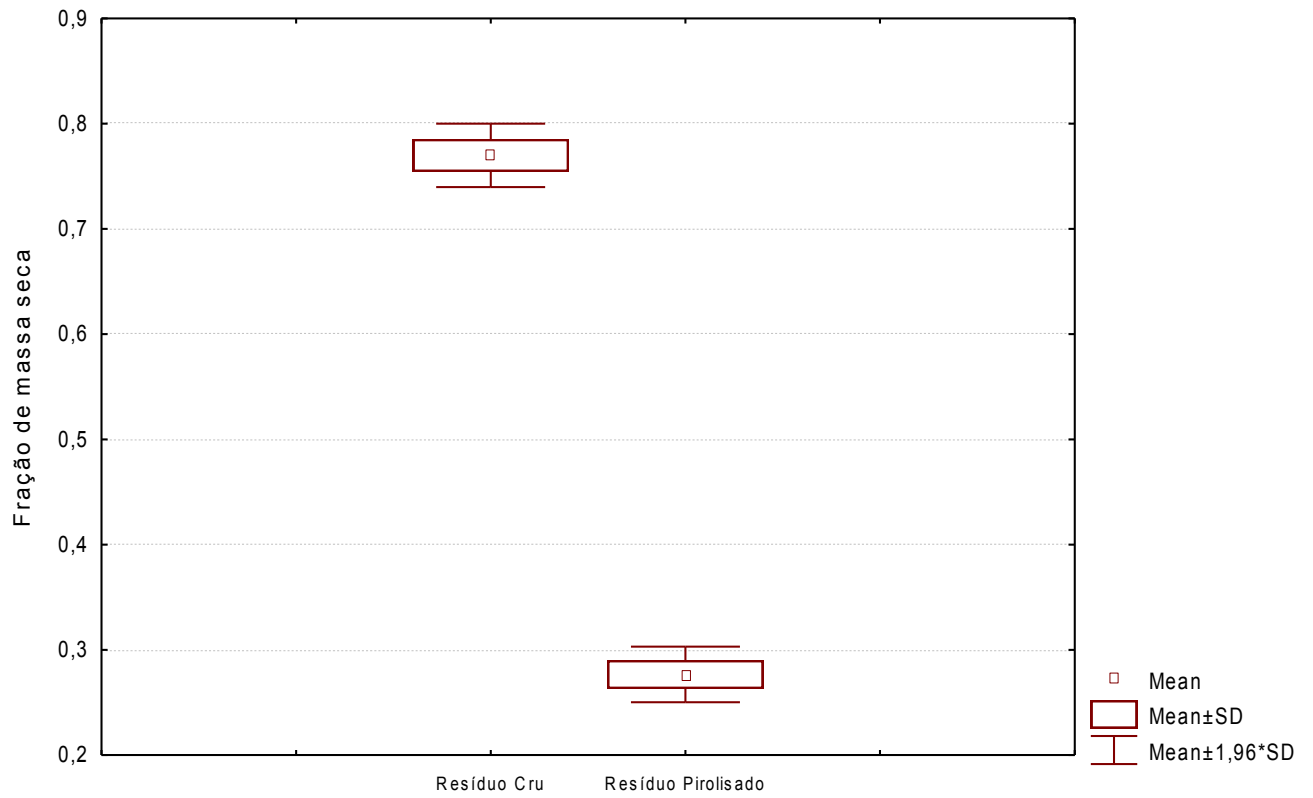


Figura 5.8 - Gráficos *Box & Whisker* de Carbono Volátil

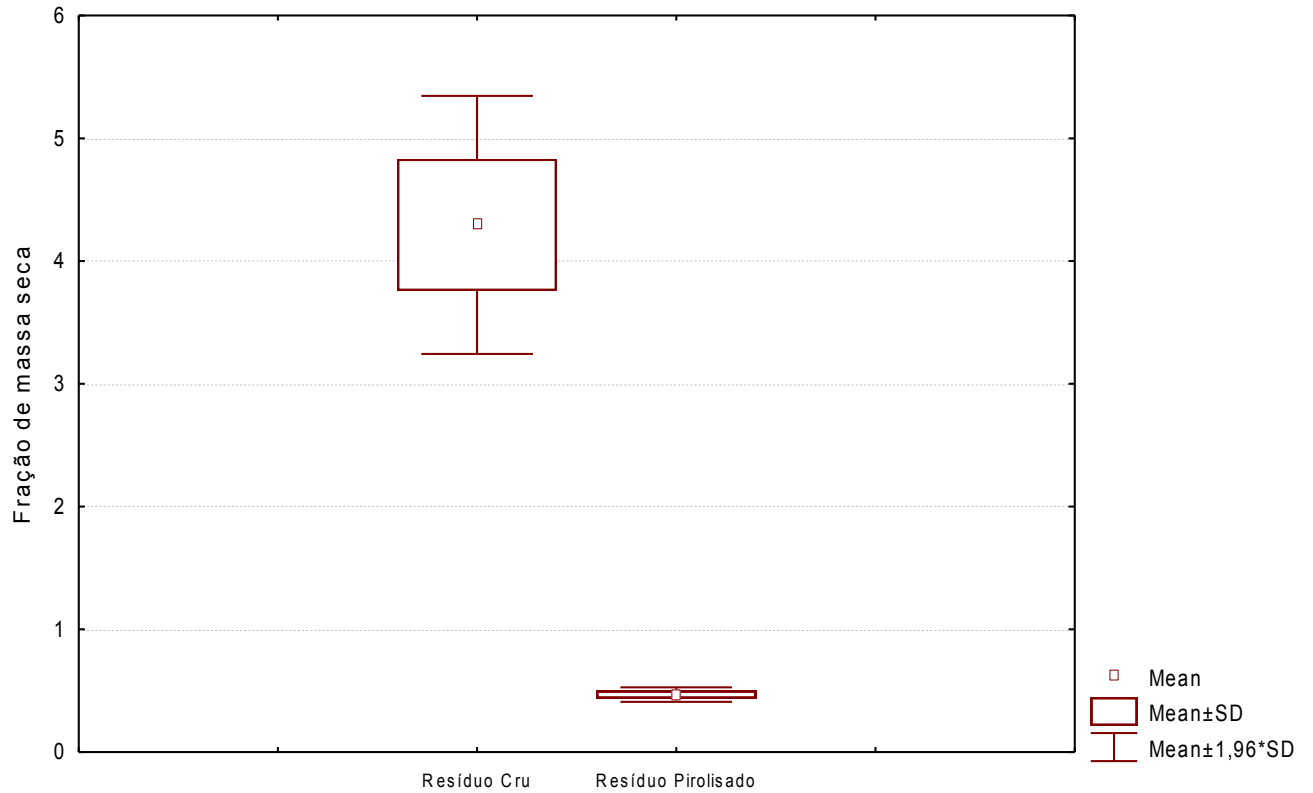


Figura 5.9 - Gráficos *Box & Whisker* de Carbono Volátil / Carbono Fixo

5.3. Estimativa do Potencial da Pirólise quanto à Redução de Emissões de GEE e Seqüestro de Carbono.

Para a estimativa do potencial da pirólise quanto à redução de emissões de GEE e seqüestro de carbono considerou-se que toda a produção de resíduos cru do Curtume Kaparaó, 100 toneladas por mês, seria tratada por pirólise por um prazo de 10 anos. Tais considerações são importantes quando se estuda a viabilidade dessa tecnologia também para projetos de carbono segundo a UNFCCC, para obtenção de recursos financeiros. Porém, resultados de redução de emissões de GEE e seqüestro de carbono por tonelada de resíduo tratado também foram obtidos.

5.3.1. Redução de Emissões de GEE

Os resultados anuais e a totalização de reduções de emissões de GEE estão demonstrados na próxima tabela 5.9 e figura 5.10. A redução se dá pelo metano evitado, porém os resultados estão normalizados pela unidade padrão CO₂ equivalente (CO₂e), em que o CO₂ tem peso 1 e o CH₄ peso 21. Isso quer dizer que o potencial de aquecimento global do metano é 21 vezes maior que o do CO₂. Foram utilizadas as fórmulas 4.13 e 4.14 a seguir, do subitem 12, do item 4.4.1.4:

$$BE_y = (BE_{y,CH_4,SWDS} - MD_{y,reg}) \cdot GWP_{CH_4}$$

Eq. 4.13

$$BE_{y,CH_4,SWDS} = \phi \cdot (1 - f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})$$

Eq. 4.14

Todas as variáveis foram descritas no capítulo de metodologias e seus valores justificados. O fato de apenas um único resíduo ser tratado por pirólise facilita os cálculos, pois os somatórios em “j” são desnecessários.

O modelo segue um decaimento de primeira ordem, sendo assim, o resíduo que seria aterrado produziria mais metano no primeiro ano e iria reduzir essa produção ao longo dos anos. Porém, quando se analisa os dados da tabela 5.9, essa produção parece aumentar. Isso ocorre devido ao fato da sobreposição das emissões de anos diferentes, por exemplo, no 2º ano somam-se as emissões do 2º ano dos resíduos aterrados no 1º ano com as emissões que ocorrem devido os resíduos aterrados neste 2º ano.

Tabela 5.9 - Redução de Emissões devido ao Metano Evitado, em ton.

Ano de Redução	CH₄	CO₂e
Ano 01	9,38	196,98
Ano 02	17,29	363,17
Ano 03	23,97	503,38
Ano 04	29,60	621,66
Ano 05	34,36	721,46
Ano 06	38,36	805,65
Ano 07	41,75	876,68
Ano 08	44,60	936,61
Ano 09	47,01	987,17
Ano 10	49,04	1.029,82
Total	335,36	7.042,57

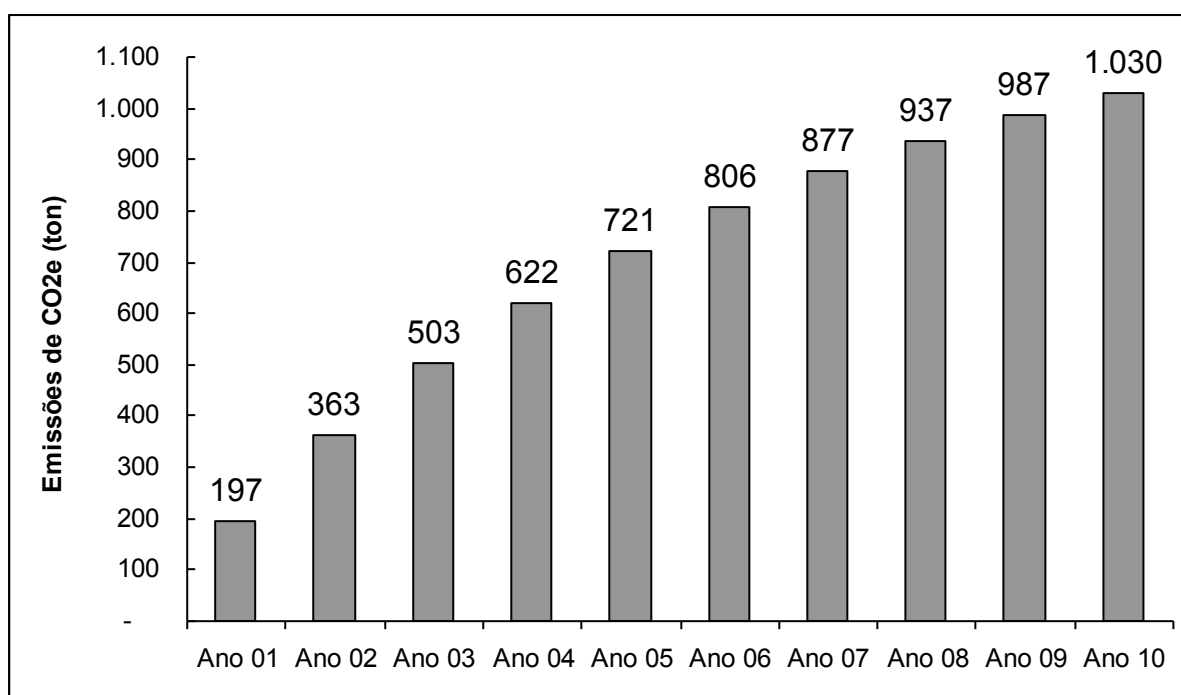


Figura 5.10 - Evolução das reduções, em ton. CO₂e

As reduções de emissões devido ao metano evitado totalizam 335,36 toneladas de metano, o que representam 7.042,47 toneladas de CO₂e em 10 anos, com uma média de 704,2 toneladas de CO₂e por ano.

5.3.2. Seqüestro de Carbono

As reduções devido ao seqüestro de carbono são consequência do aterramento dos resíduos pirolisados, os quais possuem altos índices de carbono fixo. Assim, se evita que esse carbono seja lançado novamente para a atmosfera, rompendo assim, o ciclo biogênico do carbono. Para o cálculo dessas reduções foram utilizadas as fórmulas 4.16 e 4.17 a seguir, do subitem 10, do item 4.4.2.4:

$$PE_y = -CS_y + PE_{y,pyro} + PE_{y,fuel} + PE_{y,land} + PE_{y,transp} + PE_{y,power}$$

Eq. 4.16

$$-CS_y = Q_{y,biogenic} \cdot GE_{pyro} \cdot FIX_{pyro} \cdot \frac{44}{12}$$

Eq. 4.17

As variáveis dessas equações foram também descritas e seus valores justificados no capítulo de metodologias. Vale ressaltar que todas as emissões de projeto (PE) foram consideradas como tendo valor igual a zero, com a exceção claro da variável (-CS_y), relativa ao armazenamento de carbono.

As análises estatísticas mostraram que realmente existem diferenças em termos carbono fixo nos resíduos cru e pirolisado, tendo esse último concentrações bem acima do primeiro. Como o resultado em termos de carbono fixo do RP segue distribuição normal, utilizou-se a média 59,05% e o respectivo desvio padrão de 1,17%. Assim, o intervalo analisado foi de 57,88% a 60,22%. Utilizou-se, de maneira conservadora, o resultado de menor eficiência gravimétrica, ou seja, 18,9%.

Tabela 5.10 - Redução de Emissões devido ao Seqüestro de Carbono, em ton.

Redução de Emissões devido ao Seqüestro de Carbono				
Período de Redução	Valor Superior (- 1 DP)	Média	Valor Superior (+ 1 DP)	Unidade
Em 1 ano	480,72	490,44	500,16	tCO ₂ e
Em 10 anos	4.807,21	4.904,38	5.001,56	tCO ₂ e

Obteve-se a média de seqüestro de carbono anual de 490 toneladas de CO₂e variando de 481 a 500. Considerando um prazo de 10 anos, esse seqüestro totaliza 4.904 toneladas de CO₂e variando de 4.807 a 5.002.

5.3.3. Totalização das Reduções de Emissões de GEE e Seqüestro de Carbono

Somando-se os resultados de redução de emissões de GEE e seqüestro de carbono de 10 anos, obtém-se o valor de 11.947 toneladas de CO₂e variando de 11.850 a 12.044. A tabela abaixo resume essas emissões ano a ano.

Tabela 5.11 - Redução de Emissões totais, em ton.

Ano de Projeto	Metano Evitado	Seqüestro de Carbono			Reduções de Emissões Totais		
		Valor Inf	Média	Valor Sup	Valor Inf	Média	Valor Sup
Ano 1	197	481	490	500	678	687	697
Ano 2	363	481	490	500	844	854	863
Ano 3	503	481	490	500	984	994	1.004
Ano 4	622	481	490	500	1.102	1.112	1.122
Ano 5	721	481	490	500	1.202	1.212	1.222
Ano 6	806	481	490	500	1.286	1.296	1.306
Ano 7	877	481	490	500	1.357	1.367	1.377
Ano 8	937	481	490	500	1.417	1.427	1.437
Ano 9	987	481	490	500	1.468	1.478	1.487
Ano 10	1.030	481	490	500	1.511	1.520	1.530
Total	7.043	4.807	4.904	5.002	11.850	11.947	12.044
Média	704	481	490	500	1.185	1.195	1.204

Analisando essas reduções não em termos temporais, mas sim em relação à quantidade de resíduo tratada, chega-se ao índice de redução de 0,996 toneladas CO₂e por tonelada de resíduo tratado com sua devida variação, conforme pode ser visualizado na tabela abaixo:

Tabela 5.12 - Índice de Redução de Emissões relativo à unidade de massa de resíduo tratado

Reduções de Emissões	Valor Inf	Média	Valor Sup	Unidade
Metano Evitado	0,587	0,587	0,587	Ton CO ₂ e * (Ton de Resíduo Tratado) ⁻¹
Seqüestro de Carbono	0,401	0,409	0,417	
Total	0,987	0,996	1,004	

Assim, se percebe que a relação é praticamente de 1 para 1, ou seja, para cada tonelada de resíduo tratado pelo processo de pirólise controlada é evitado que cerca de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) seja emitida, sendo 58,9% dessa redução relativo ao metano evitado e os outros 41,1% relativo ao seqüestro de carbono.

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os ensaios no forno de pirólise apresentaram resultados de rendimento gravimétrico e eficiência de redução de massa bem expressivos, perto dos 20% e 80%, respectivamente. Além disso, o rendimento volumétrico e a redução de volume também foram bem significativos, ficando perto dos 15% e 85%, respectivamente. Existe aqui um ganho adicional logístico e financeiro. Resíduos de menor massa (cerca de 80% menor) e de menor volume (cerca de 85% menor) necessitam de menores áreas de aterro, menos tempo de aterramento e menos equipamentos. Tudo isso reflete na economia financeira do processo. Com menos máquinas trabalhando e menos horas de trabalho, quando comparado com cenário usual do negócio (BAU – Business as Usual), haverá também uma redução de emissões de GEE, pois será consumida menor quantidade de combustíveis fósseis. Tal fato alinha-se aos estudos de Esteves (2007), demonstrando que é possível ter uma redução de custos de transporte e destinação final dos resíduos utilizando o processo de pirólise.

Existe também o ganho na infra-estrutura do aterro. Como os resíduos pirolisados são inertes, não haverá mais degradação física, química ou biológica dos mesmos. Assim, quando aterrados, eles não gerarão gases ou efluentes líquidos contaminados. Assim, um aterro dedicado para esse fim não necessitaria de impermeabilização da camada de fundo ou de sistema de coleta e queima de biogás. Tais modificações de infra-estrutura também levam a ganhos econômicos em um projeto dessa natureza.

Para o tratamento com essa tecnologia de volumes de resíduos maiores e conseqüentemente cilindros maiores, o tempo de tratamento deverá ser ajustado para se ter certeza que todo o resíduo foi pirolisado. Dividindo a massa pelo volume obtém-se a densidade do resíduo antes e após o tratamento, sendo esses valores em torno de 180 e 230 kg/m³ respectivamente. Percebe-se aqui um aumento de densidade, que nos ensaios de laboratório tornou-se claro devido ao aumento de carbono fixo no resíduo pirolisado.

Nos resultados dos ensaios em laboratório, a identificação de *outliers* mostra erros possivelmente de procedimento. A principal dificuldade nos ensaios foi a manipulação dos cadinhos para colocá-los e tirá-los da mufla, devido às altas temperaturas desta, que variavam de 750°C à 950°C. Em dois ensaios do RP, os cadinhos foram colocados na mufla para remoção de voláteis sem a utilização das respectivas tampas. Assim, os resultados dessas 6 amostras, visto que foram feitas réplicas, foram descartados. Essas amostras e outros *outliers* identificados foram excluídos da base de dados para não comprometê-la.

Analisando os resultados de média e desvio-padrão de carbono fixo, carbono voláteis e da relação carbono volátil dividido por carbono fixo vê-se grandes diferenças entre o RC e RP. Visualmente, a processo térmico de pirólise alterou significativamente as características do RC. Houve um aumento de 40,92% de carbono fixo, em termos de massa seca, e uma diminuição de 49,33% de carbono voláteis. Assim, a relação carbono volátil dividido por carbono fixo teve seu valor extremamente alterado, variando 382,56%. Contudo, essa relação teve valor de 46,89% no RP, valor este que é abaixo do pré-estabelecido para considerar que o resíduo é estável e não-plausível de decomposição biológica. Inicialmente, quando se estabeleceu esse patamar de 50% como limite de estabilização, acreditava-se que os valores a serem obtidos nos ensaios de pirólise de resíduos de couro seriam bem menores. Talvez o forno pirolítico devesse ser melhor ajustado em termos de temperatura e isolamento térmico, lembrando que este ajuste foi feito em ensaios realizados anteriormente como testes. As variações de temperatura ao longo do tempo de ensaios podem ser visualizadas no anexo V. Outra razão para esses resultados é o fato de que na metodologia utilizada foi considerado que toda a massa perdida pelos resíduos durante o teste de volatilização era constituída de carbono. Essa hipótese é conservativa e pode ser adotada para efeito da metodologia de cálculo da pirólise, mas, na verdade, parte da massa perdida durante a pirólise é constituída de hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e outros constituintes do resíduo, que se perdem na forma de compostos voláteis.

As diferenças entre os resultados do RC e RP só podem ser consideradas quando estatisticamente comprovadas. Assim, conhecer as distribuições das variáveis torna-se primordial para escolher quais os testes estatísticos mais adequados para a comparação desses resultados. Desse modo, evita-se, por exemplo, o comum erro de aplicar testes paramétricos a dados que não seguem distribuições paramétricas. Somente as variáveis de carbono fixo no RC e RP seguiram distribuição normal, sendo que no RP esta característica é ainda mais marcante. A relação carbono volátil dividido por carbono fixo seguiu distribuição lognormal.

É interessante e curioso como o tratamento por pirólise normalizou, de certo modo, os resultados no RP, principalmente em termos de carbono fixo e na relação carbono volátil dividido por carbono fixo. Percebe-se visualmente na figura 6.1, referente ao gráfico de *probability plot* antes e depois do tratamento para a variável da relação carbono volátil dividido por carbono fixo, esse fenômeno de normalização. É difícil especular o porquê dessa normalização, ainda mais que na maioria das vezes dados ambientais são não-normais.

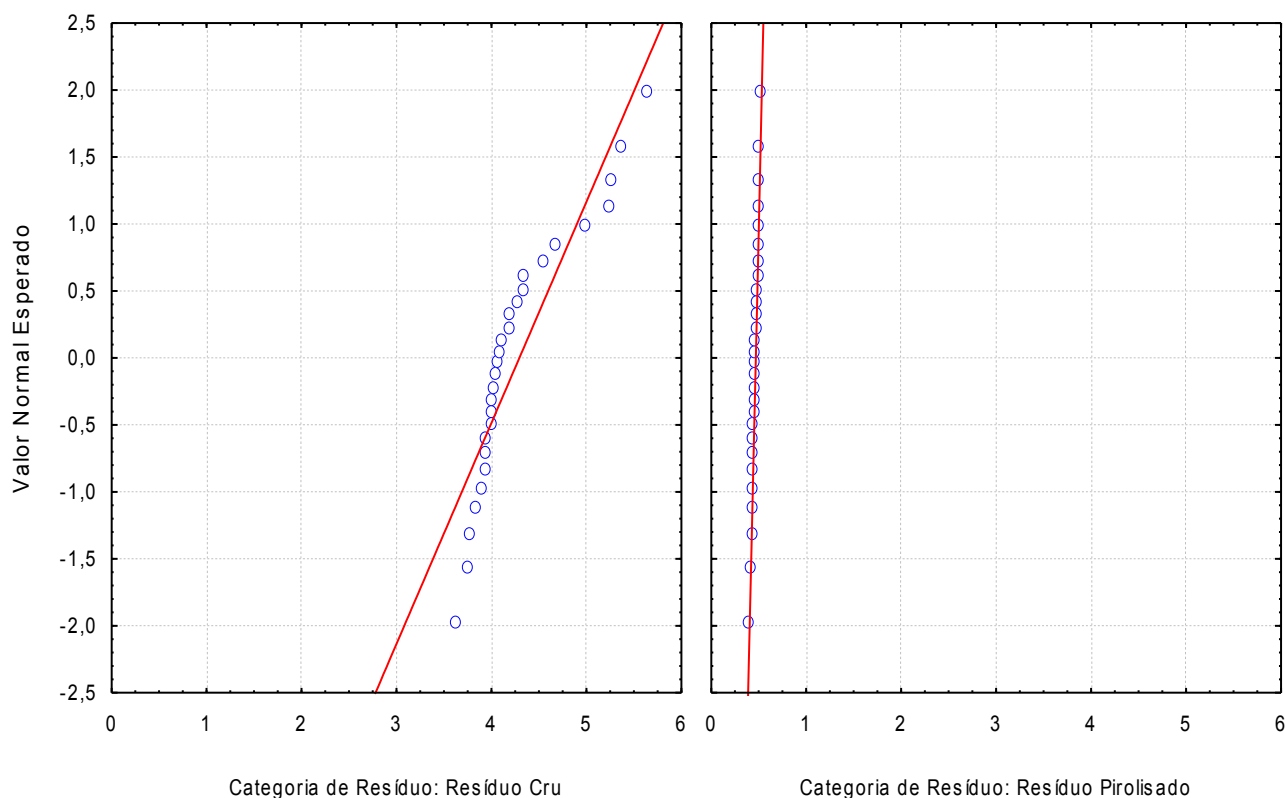


FIGURA 6.1 - *Probability plot* para resíduos antes e após tratamento para a variável carbono volátil dividido por carbono fixo.

Analisadas as distribuições, testes não-paramétricos foram realizados para comparar as variáveis e verificar se existiam diferenças estatísticas entre elas. O nível de significância foi aumentado para $\alpha = 1\%$, o que indica uma maior precisão nos resultados dos testes. Todos os testes utilizados, a saber: *Wald-Wolfowitz*, *Kolmogorov-Smirnov* e *Mann-Whitney*, apresentaram valores extremamente baixos de p, indicando grandes chances de que as diferenças encontradas sejam realmente significativas. Assim sendo, o tratamento foi eficaz e conseguiu realmente alterar as características do RC, fixando mais carbono.

Metodologias de MDL tiveram que ser desenvolvidas para se estimar o potencial de pirólise quanto à redução de emissões de GEE devido ao metano evitado e ao seqüestro de carbono. Como essas metodologias, quando aprovadas pela UNFCCC, tornam-se públicas e qualquer um pode usá-las, houve o cuidado de desenvolvê-las de modo mais amplo, cobrindo todas as possibilidades de emissões envolvidas. Esta característica torna-se ainda mais importante para a metodologia intitulada “Evitando Produção de Metano pelo decaimento de biomassa através de pirólise controlada”, visto que ela já se encontra aprovada e disponibilizada pela UNFCCC.

Nessa metodologia, diversas variáveis foram consideradas neste caso aqui descrito com valor igual a zero, devido ao fato de representarem situações inexistentes para o projeto em questão. Em outras variáveis foram atribuídos valores *default* do IPCC 2006 ou da literatura. Inicialmente, quando do desenvolvimento do PDD a ser enviado à UNFCCC para análise de metodologia, utilizaram-se valores *default* do IPCC 2002, visto que o IPCC 2006 ainda não havia sido publicado. Assim, percebe-se uma diferença significativa entre os valores de redução apresentados no PDD e na presente dissertação, tendo essa última valores bem acima que os descritos no PDD. A principal variável responsável por essa alteração foi o expoente de decaimento do resíduo. Seu valor aumentou razoavelmente, significando que o resíduo degrada mais rapidamente que o pensado inicialmente. O PDD enviado à UNFCCC está presente no apêndice III. Contudo, após todas as atualizações de variáveis, chegou-se à conclusão que 11.947 toneladas de CO₂e deixam de ser emitidas ao longo de 10 anos, quando as 100 toneladas mensais de resíduos de couro *wet-blue* são tratadas pelo processo de pirólise. Isso acontece, pois evita-se que o gás metano, que seria gerado via decomposição anaeróbia no local de disposição do mesmo, seja emitido para a atmosfera. Os valores anuais de redução crescem ao longo dos anos devido ao modelo de decaimento de primeira ordem adotado. Esse modelo é o atualmente aceito e adotado pela ONU. Nele os resíduos aterrados são degradados com uma velocidade decrescente a cada ano. O fato das reduções anuais totais aumentarem com os anos ocorre porque que em todos os anos novos resíduos seriam aterrados. Assim, como exemplo, as emissões do 2º ano correspondem à sobreposição das emissões do 1º ano de aterramento dos resíduos aterrados nesse 2º ano com as emissões do 2º ano de aterramento dos resíduos aterrados no 1º ano. Não foi possível analisar o erro e o desvio-padrão dos resultados, uma vez em que não se tem esses dados para cada uma das variáveis do modelo.

Já a outra metodologia, “Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada”, não foi aprovada pelo *Small Scale Working Group (SSCWG)* da UNFCCC, o qual seguiu orientações do Comitê Executivo (EB). As reuniões do EB são gravadas e disponibilizadas *online* via *webcast*. Ao assistir a reunião que discutiu essa metodologia, percebe-se uma fragilidade do sistema: nem todos os membros haviam lido e entendiam a metodologia e o respectivo PDD. O SSCWG havia solicitado orientação do órgão superior (EB) sobre como deveria proceder, pois se tratava de uma metodologia inovadora e haviam percebido que se tratava realmente de remoção de GEE da atmosfera. Em momento algum da metodologia ou PDD utilizou-se o termo “remoção”, mas infelizmente isso foi o mais discutido durante a reunião. Conforme o presidente do EB na época disse por diversas vezes, remoção de GEE da atmosfera só é

permitida para o primeiro período de compromisso (2008 a 2012), pelo Acordo de Marrakesh, através de projetos de reflorestamento e florestamento. Um membro do EB, mais a par da metodologia e do PDD, discutiu que o termo “remoção” estava em outro sentido. Aqui são possíveis realmente duas interpretações: (i) somente o processo de pirólise não é remoção de GEE da atmosfera, visto que esses gases nem foram emitidos. Trata-se, na verdade, de CO₂ evitado (*CO₂ Avoidance*), já que é um mecanismo que evita a emissão desse gás para a atmosfera; (ii) considerando todo o ciclo do carbono presente nos resíduos biogênicos, trata-se de remoção de GEE da atmosfera, pois o CO₂ da atmosfera foi retirado pelos organismos vivos que lhe deram origem (pela fotossíntese) e a pirólise irá interromper o ciclo biogeoquímico, permitindo seqüestrar esse carbono geologicamente. Porém, para o caso dos resíduos não-biogênicos que estariam sendo incinerados na ausência de projeto, não seria nenhuma remoção.

Em seguida, o presidente do EB questionou a metodologia sobre a permanência do carbono armazenado, inferindo que havia muitos riscos de vazamento. Porém, como descrito na metodologia e no PDD, haveria um controle rigoroso sobre esse estoque. Além disso, o risco de vazamento do carbono sólido é muito menor e a facilidade de controle muito maior, quando comparado a projetos de CCS (*Carbon Capture and Storage*), mais especificamente projetos de injeção de CO₂ líquido/gasoso em poços profundos de petróleo desativados. O único risco real, no caso do carbono sólido, é caso o estoque pegasse fogo, mas esse risco seria eliminado completamente através do aterramento do resíduo pirolisado entre camadas de outro material inerte. No final da reunião, ficou decidido que seria melhor estudado a questão em termos de “remoção” e permanência do CO₂. Porém, um ciclo de gestão estava acabando na UNFCCC e, por isso, houve mudanças no quadro, alterando o presidente do EB e o responsável pelo SSCWG. Assim, a impressão que se obteve foi que a nova gestão não estava ciente da situação, não leu os documentos e preferiu não aprovar a metodologia em vez de melhor discutí-la. Desse modo, a metodologia nem foi analisada, justificando tal fato por se tratar de remoção de GEE da atmosfera e, por isso, não sendo plausível de aprovação no primeiro período de compromisso.

Nos resultados aqui apresentados foram também atribuídos valores nulos para diversas variáveis dessa 2ª metodologia, visto que elas representavam situações inexistentes nesse projeto. Como foram realizados apenas dois ensaios no forno experimental de pirólise, utilizou-se o resultado de menor eficiência gravimétrica, ou seja, 18,9%. Desse modo, pretendeu-se ser o mais conservador possível. Para a variável carbono fixo no resíduo pirolisado, utilizou-se a média e o desvio-padrão dos resultados de laboratório dessa variável,

a saber: 59,05% e 1,17% respectivamente. Assim, obteve-se o resultado de seqüestro de carbono de 490 toneladas de CO₂e por ano, variando de 481 a 500 CO₂e. Em 10 anos de um possível projeto, isso significaria 4.904 toneladas de CO₂e variando de 4.807 a 5.002.

Somando-se os resultados das duas metodologias adotadas, obteve-se o resultado médio de 11.947 toneladas de CO₂e em 10 anos, sendo 58,9% dessa redução relativo ao metano evitado (1ª metodologia) e os outros 41,1% relativo ao seqüestro de carbono (2ª metodologia). Percebe-se aqui o peso do metano em termos de aquecimento global. Ele possui potencial de aquecimento global 21 vezes maior que o CO₂ e, devido a isso, a emissão das 335 toneladas de metano que seriam evitadas em 10 anos de projeto contribuiriam mais que o seqüestro de carbono pelo aterramento de 4.904 toneladas do resíduo pirolisado. As reduções totais anuais variaram do valor mínimo de 678 toneladas de CO₂e no 1º ano de projeto até o valor máximo de 1.530 de CO₂e no 10º ano de projeto. Essa variação é atribuída à sobreposição de dois fatores: o modelo de decaimento de 1ª ordem da metodologia de metano evitado e o desvio padrão da fração de carbono fixo presente no resíduo pirolisado adotada na metodologia de estoque de carbono.

O índice resultante de redução de emissões de GEE por tonelada de resíduo tratado por pirólise gira bem próximo de 1 (uma) tonelada de CO₂e por tonelada de resíduo tratado no horizonte de 10 anos. O MDL permite também projetos com duração de sete anos, renováveis por dois períodos, totalizando 21 anos de projeto. Neste caso seriam obtidas ainda maiores reduções de emissão, porém em período muito maior. Percebe-se o grande potencial desse tipo de tratamento em termos de redução de emissões de GEE. Para se ter uma visão inicial do potencial do tratamento de resíduos de curtume para mitigação das mudanças climáticas, é interessante voltarmos aos estudos de Santos *et al.* (2002), Pacheco (2005) e da EC - Comissão Européia (2003). Segundo eles, o Brasil produziu entre 32.400 e 40.500 toneladas de aparas de couro em 2004. Assim, caso todo esse resíduo fosse tratado por pirólise, se teria uma redução de emissões de GEE aproximadamente entre 32.400 e 40.500 toneladas de CO₂e por ano. De mesmo modo, seguindo os estudos de DHAYALAN *et al.* (2007), são produzidos anualmente 680.000 toneladas de resíduos sólidos no mundo durante a produção de couro que, caso tratados com a pirólise, somariam reduções da ordem de 680.000 toneladas de CO₂e por ano.

Os resultados demonstram que o tratamento de resíduos por pirólise possui um potencial considerável de redução de emissões tanto em termos de metano evitado quanto de seqüestro de carbono. Um projeto de carbono de 10 anos utilizando a pirólise, como o analisado,

poderia obter cerca de R\$ 290.000,00 em receitas advindas da venda dos créditos de carbono. Desse valor, cerca de R\$ 230.000,00 viriam do metano evitado, considerando 12,00 euros como valor de venda do CER (igual a uma tonelada de CO₂e); e os R\$ 60.000,00 restantes viriam da venda de créditos devido ao seqüestro e armazenamento de carbono no mercado voluntário ou na *Chicago Climate Exchange*, considerando 5,00 euros o preço de venda do VER (também igual a uma tonelada de CO₂e). Isso significaria uma captação de recurso da ordem de R\$24,52 por tonelada tratada. É interessante comparar esse valor com o custo de implantação do sistema de pirólise que é estimado em R\$650.000,00 em instalações para tratamento de 10 toneladas de resíduos por dia e 10% desse valor por ano em operação, totalizando R\$43,33 por tonelada tratada.

Analisando esses resultados de redução de emissões e receitas oriundas da venda dos créditos de carbono, pode-se ter a impressão errada que o potencial dessa tecnologia é baixo, devido aos baixos valores relativos encontrados. É importante entender que esse estudo tratou apenas resíduos de couro do tipo *wet-blue*, porém todo e qualquer resíduo orgânico biogênico poderia ser tratado por pirólise e obter esse tipo de recurso financeiro.

Chama-se atenção para os resíduos sólidos urbanos, pois esses possuem uma grande fração orgânica principalmente em países em desenvolvimento. Segundo o IPCC 2006, o valor *default* dessa fração orgânica é de 69,4% para a América do Sul. Além disso, somente parte do lixo urbano (54%) é destinada a aterros sanitários na América do Sul e a maioria deles não possuem sistemas eficientes de captura e queima do biogás (Anexo VI). Na figura seguinte, percebe-se a situação brasileira, em que a grande maioria dos municípios não destina seus resíduos para aterros sanitários. Desse modo, caso parte dos resíduos sólidos urbanos que atualmente tem como destino os lixões fossem tratados por pirólise, haveria um grande ganho em termos de redução de emissões, as receitas seriam também bem mais significativas e, principalmente, o ganho ambiental seria enorme.

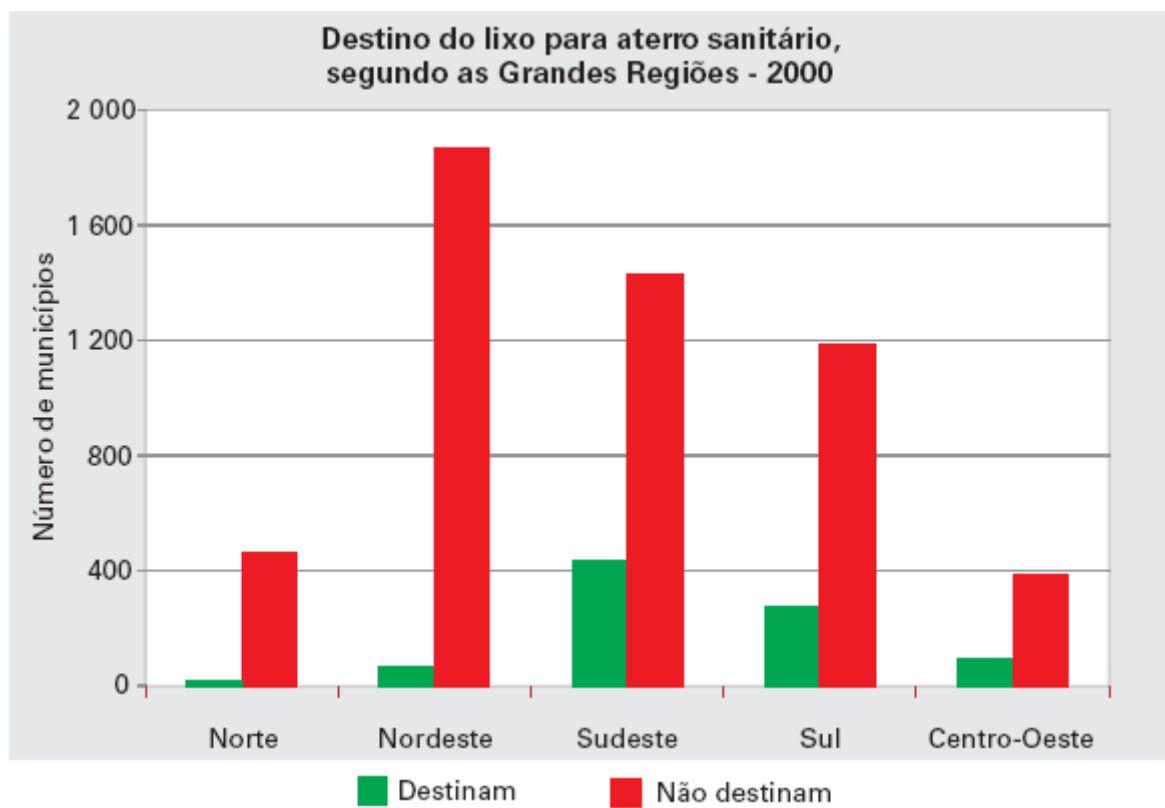


Figura 6.2 – Destino do Lixo no Brasil. Referência: IBGE, 2000.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Para o estudo da pirólise como tecnologia para redução de emissões de gases de efeito estufa e seqüestro de carbono foi escolhido o tratamento de resíduos de couro do tipo *wet-blue*. Tais resíduos são biogênicos, mas possuem cromo devido ao curtimento do couro e, por isso, são classificados como Resíduos Classe I – Perigosos e necessitam de destinação ambientalmente adequada. Utilizaram-se para os ensaios resíduos do Curtume Kaparaó, da cidade de Ipatinga/MG. Um forno pirolítico foi montado nas instalações da empresa Engenho 9, em Ribeirão das Neves/MG. Ensaios de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas foram realizados no Laboratório de Análises Físicas e Químicas da UFMG. Duas metodologias de MDL foram desenvolvidas para estimar esse potencial: (i) Evitando Produção de Metano pelo decaimento de biomassa através de pirólise controlada, que foi aprovada pela UNFCCC no EB 31 em maio de 2007 e (ii) Estabilização Química e Biológica do carbono de resíduos sólidos para armazenamento permanente através de pirólise controlada. Os principais resultados e as respectivas conclusões são:

- 1) *Para um período de projeto de MDL de 10 anos tratando 100 toneladas de resíduos por mês, obteve-se a redução de emissões de GEE de 11.947 toneladas de CO₂e. O metano evitado é o principal componente, correspondendo a 59% do total contra os 41% do seqüestro de carbono. A razão central dessa preponderância do metano evitado é o fato do potencial de aquecimento global (GWP) do metano ser bem mais alto que o do dióxido de carbono, ou seja, o GWP do CH₄ é 21 vezes maior que o do CO₂;*
- 2) *O resíduo tratado por pirólise reduz cerca de 80% em massa e 85% em volume. Existem, então, ganhos logísticos e financeiros nesse processo. Resíduos com menores massas e volumes necessitam de áreas também menores de disposição, além de menos tempo de aterramento e menos equipamentos. Existe um ganho também no transporte, tanto em termos de custos envolvidos como de emissões de GEE devido ao transporte;*
- 3) *O resíduo pirolisado, correspondente a 4.904 toneladas de CO₂e em 10 anos, seria disposto em aterro dedicado para esse fim. A estabilização do cromo no resíduo pirolisado é uma das grandes vantagens ambientais da utilização dessa tecnologia para tratamento de resíduos de couro *wet-blue*. Como Esteves (2007) comprovou em suas pesquisas, trata-se de um tratamento*

ambientalmente seguro e que poderia ser aplicado em todas as indústrias do setor. Com o cromo estável, não haveria contaminação do lençol freático, do solo ou de animais por essa substância;

- 4) *O principal risco associado ao projeto refere-se ao armazenamento do carbono.* Como o resíduo pirolisado possui um poder calorífico considerável, caso aconteça um incêndio no local de estoque, todo o CO₂ armazenado seria lançado na atmosfera. Isso comprometeria todo o projeto em termos de VERs. Para isso, esses resíduos devem ser aterrados em local dedicado para esse fim, bem como aterrados entre camadas de algum material inerte. Assim, elimina-se o risco de perda de todo o estoque de carbono;
- 5) *A dificuldade operacional é, sem dúvida, um fator que dificulta a aplicação dessa tecnologia.* Isso é devido ao fato de ser necessária mão-de-obra especializada para operação da planta de pirólise e o correto aterramento dos resíduos pirolisados;
- 6) *Caso um projeto de 10 anos utilizando a pirólise, como o analisado, fosse desenvolvido, ele poderia obter cerca de R\$ 290.000,00 em receitas advindas da venda dos créditos de carbono (este valor já está considerando a venda de CERs e VERs, ou seja, a venda de créditos de carbono referentes ao metano evitado no MDL e a venda das reduções de emissões verificadas no mercado voluntário e/ou na Chicago Climate Exchange. Foram considerados os valores de 12,00 euros para o CER e 5,00 euros para o VER).* Contudo, isso significa R\$24,52 por tonelada tratada. Tal receita pode ser o diferencial necessário para a implementação dessa tecnologia e para a mitigação dos problemas relacionados com o tratamento de resíduos sólidos. É importante ressaltar que os valores de venda de CERs e VERs variam ao longo do tempo. Assim, um projeto dessa natureza possui um risco atribuído não somente à eficácia do processo de tratamento, mas também um risco mercadológico.

Existem algumas barreiras que dificultam a aplicação da tecnologia de pirólise para tratamento de resíduos como a pouca difusão dessa tecnologia e às poucas pesquisas nessa área. Nesse contexto, seguem algumas sugestões para futuras pesquisas:

- a) Ajustar o processo de pirólise para as melhores temperaturas de tratamento;
- b) Melhorar o isolamento térmico do sistema;
- c) Acompanhar o comportamento do local de armazenamento do carbono para provar que este é realmente estável;
- d) Uma análise parecida deveria ser feita em termos de resíduos sólidos urbanos onde a pirólise poderia ser utilizada, alinhando os discursos de Klein (2005) e Wilén *et al.* (2004). Acredita-se que o potencial de redução seria ainda maior, visto a grande disponibilidade desse tipo de resíduo. Esse potencial poderia ser até mesmo maximizado, aplicando técnicas de segregação e reciclagem no processo. Assim, só seriam pirolisados resíduos biogênicos ou caso os resíduos estejam sendo incinerados, a pirólise pode substituir a incineração com vantagens climáticas, pois evita a formação de CO₂ pela queima de resíduos não-biogênicos.

8. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. *Norma Brasileira*. Segunda Edição. 71p. Mar., 2004.
- ANDRADE, A. M., PASSOS, P.R.A., MARQUES, L.G.C., OLIVEIRA, L.B., VIDAURRE, G. B., ROCHA, J.D.S: Pirólise de Resíduos do Coco-da-Baía (*Cocos nucifera* Linn) e Análise do carvão vegetal. *Sociedade de Investigações Florestais*. Vol.28. No. 5. pp.707-714. Ago., 2004.
- BAGGIO, P., BARATIERI, M., GASPARELLA, A., LONGO, G.: Energy and environmental analysis of an innovative system based on municipal solid waste (msw) pyrolysis and combined cycle. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 14. 12p. 2007.
- BARBIERI, J.C.: Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. *Editora Saraiva*. São Paulo. 262p. 2004.
- BASEGIO, T.: *Estudo da utilização da cinza da serragem de couro curtido ao cromo para obtenção de materiais refratários*. 1997. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1997.
- BODE, S. e JUNG, M.: Carbon dioxide capture and storage - liability for non-permanence under the UNFCCC. *International Environmental Agreements. Politics, Law and Economics*. Volume 6, Number 2. pp. 173–186. Jun., 2006.
- BOGNER, J. e MATTHEWS, E.: Global methane emissions from landfills: New methodology and annual estimates 1980 – 1996. *Global Biogeochemical Cycles*. Vol. 17, No. 2. 2003.
- BOSCH, T., MANICH, A. PALOP, R., COT, J.: Influence of different retanning agents on the physical and structural properties of chrome leather. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. Vol. 83, no. 5, pp. 243-247. Sept.-Oct. 1999.
- BRADFORD, H.: Chromium recovery through incineration of liquid and solid tannery wastes - “The Ultimate Solution”. *Jalca*. Vol. 74. pp. 395-403. 1979.
- BRIDGWATER, A.: Principles and practice of biomass fast pyrolysis processes for liquids. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. V. 5, n. 1-2, pp. 3-22, 1999.

BRITO, F.; LEITE, D.; MUNIZ, .S.; PRASAD, S.: Atenuação de cromo total e transformação de nutrientes na codisposição de resíduos sólidos de curtumes. *Tecnicouro*, Novo Hamburgo, p.117-122, Nov, 2001.

CABALLERO, J., FONT, R., ESPERANZA, M.: Kinetics of the thermal decomposition of tannery waste. *Journal of Applied Pyrolysis*. Vol. 47. pp. 165-181. 1998.

CENTRO CIENTÍFICO INDEPENDENTE - CCI: Gestão e Tratamento de Resíduos: Plasma pirólise. *Tratamento de Resíduos Sólidos - Para a Reflexão Ambiental*. 129 p. Aveiro, Portugal. 2007.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Carvão Vegetal. *Série de Publicações Técnicas*. Belo Horizonte. pp. 27-29. Out., 1982.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB: Poluição Atmosférica por Incineração. *Secretaria de Estado do Meio Ambiente*, 1993.

CORDEIRO, R.L.F., EUCLYDES, C., ALMEIDA, I.M.: Pressão arterial entre trabalhadores de curtume. *Revista Saúde Pública*. Vol. 32, no. 5. pp. 467-476. Out., 1998.

COSTA, C., CASTILHOS, D., CASTILHOS, R., KONRAD, E., PASSIANOTO, C.C., RODRIGUES, C.: Efeito da adição de lodos de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. *Revista Brasileira de Agrociência*. Vol. 7, no. 3, p. 189-192. Set-Dez, 2001.

DEFRA - DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS: Climate Change and Waste Management. *The Link*. Londres, Reino Unido. 2005.

DHAYALAN, K., FATHIMA, N., GNANAMANI, A.: Biodegradability of leathers through anaerobic pathway. *Science Direct: Waste Management*. p. 760–767. 2007

EC – EUROPEAN COMMISSION: Reference document on best available techniques for the tanning of hides and skins. *Integrated Pollution Prevention and Control*. Joint Research Centre, Sevilha, 246 p. Fev.2003.

EEROLA, T.T. Mudanças Climáticas Globais: Passado, Presente e Futuro. Fórum de Ecologia. Instituto de Ecologia Política, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Florianópolis. 10p. 2003.

ESTEVEES SOARES, Alane. Estudo da Viabilidade Técnica e Ambiental da Carbonização de Resíduos de Serragem de Couro Wet-Blue: Um Estudo em Escala Piloto. 115 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2007.

EUA – Estados Unidos da América: Technology Options for the Near and Long Term. *U.S. Climate Change Technology Progra.* p. 3-15. Ago, 2005.

FOE: Briefing Pyrolysis and Gasification. *Friends of the Earth.* 6 p. United Kingdom. Out., 2002.

FRENDRUP, W.: Tanneries and Environment – 40 Years' Development. *Tanweek Seminar,* Borås, Sweden. Nov, 2000.

GRAETZ, R.D. e SKJEMSTAD, J.O.: The charcoal sink of biomass burning on the Australian continent. *CSIRO Atmospheric Research.* Paper no. 64. 62p. 2003.

HEIDEMANN, E.: Fundamentals of Leather Manufacturing, *Eduard Rorther KG Druckerei und Verlag.* First ed. Darmstadt. 1993

HOUGHTON, D.: Global Climate Change - Fiction, Facts, Uncertainties, Challenges & Impacts. *Nature.* Vol. 423. pp. 528-31. May, 2003.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Quantidade diária de lixo coletado – 2000. http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/pdfs/mappag59.pdf. Acessado em 19 de Julho de 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Paris, Fev., 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: CO₂ removals in residual combustion products (charcoal). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.* Volume 4. Appendix 1, 2p. 2006.

JCS - JUNIPER CONSULTANCY SERVICES LTD.: *Pyrolysis and Gasification Factsheet.* Inglaterra. Disponível em: <http://www.juniper.co.uk/services/Our_services/P&GFactsheet.html> Acesso em 25 Jun, 2007.

JORDÃO, C. P, SILVA, A.C., PEREIRA, J.L., BRUNE, W.: Contaminação por cromo de águas de rios proveniente de curtumes em Minas Gerais. *Química Nova*. Vol. 22. pp. 47-52. 1999.

KALNAY, E. e CAI, M.: Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*. Vol. 423. pp. 528-531. 2003.

KELLOGG, W. e SCHWARTZ, R.: Climate change and society: Consequences of increasing atmospheric carbon dioxide. *Westview Press*. Boulder, Colorado. 11p. 1981.

KLEIN, A.: Waste and emissions trading. *WMW Markets Policy Finance*. 7p. 2005.

KOLOMAZNÍK, K., JANACOVÁ, D., LANGMAIER, F., MLÁDEK, M., TAYLOR, M.: Experience in Industrial Practice of Enzymatic Dechromation of Chrome Shavings. *Jalca*. pp.55-63. Cincinnati. 2000.

KONRAD, C., LORBER, K., MENDEZ, R., LOPEZ, J., MUNOZ, M., HIDALGO, D., BORNHARDT, C., TORRES, M., RIVELCA B.: Systematic analysis of material fluxes at tanneries. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*. Vol. 86, n^o1, pp. 18-25. 2002.

LE HOUEROU, H.: Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*. Volume 34. Number 2. pp. 133-185. Oct, 1996.

MALLAN, M., FINNEY, C.: New techniques in the pyrolysis of solid wastes. *AIChE Symp. Ser*, V. 69, n.:133, 1972.

MARTINS, R. e VICENTE, J.: Mudanças Climáticas: Perdas De R\$ 286 Milhões Em Safras Paulistas. *Instituto de Economia Agrícola*. CCTC-IEA HP-56/2005. Jun, 2005.

MEEHL, G., WASHINGTON, W., AMMANN, C., ARBLASTER, J., WIGLEY, T., TEBALDI, C.: Combinations of Natural and Anthropogenic Forcings in Twentieth-Century Climate. *Journal of Climate*. Vol. 17. pp. 3721-3727. 2004.

MOREIRA, M. V.; TEIXEIRA, R. C. Estado da arte tecnológico em processamento do couro: revisão bibliográfica a nível internacional. Porto Alegre: *Centro Nacional de Tecnologias Limpas*. 242p. il. (Projeto Desenvolvimento Sustentável da Indústria do Couro em MG e no RS). 2003.

- NALINI, J. R.: *Ética Ambiental. Ed. Millennium Ltda*, 424p. 2001.
- NASCIMENTO, N.O., NAGHETTINI, M.C., HELLER, L., VON SPERLING, M.: Investigação científica em engenharia sanitária e ambiental. Parte 3: análise estatística de dados e de modelos. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. 1, n. 4, pp. 152-168. Out.-Dez., 1996.
- ONU – Organização das Nações Unidas: *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)*. 33p. 1992.
- OONK, H. e BOOM, T.: Landfill gas formation, recovery and emissions. *TNO-report R95-203*, TNO. Appeldoorn, The Netherlands. 1995.
- OONK, H., WEENK, A., COOPS, O., LUNING, L.: Validation of landfill gas formation models. *EWAB 9427- NOVEM*, Utrecht, The Netherlands. 1994.
- PACHECO, J. W. F.: Curtumes, *CETESB – Série P + L*, São Paulo. 76 p, 2005.
- PASSIANOTO, C.; CASTILHOS, D., CASTILHOS, R., LIMA, A., LIMA, C.: Atividade e biomassa microbiana no solo com a aplicação de dois diferentes lodos de curtume. *Revista Brasileira de Agrociência*. Vol. 8, no. 1, pp. 145-149. jan-abr, 2002.
- RIVELA, B., MÉNDEZ, R., BORNHARDT, C., VIDAL, G.: Towards a cleaner production in developing countries: a case study in a Chilean tannery. *Waste Management & Research*. Vol. 22, No. 3. pp. 131-141. 2004.
- SANTOS, A. M. M. M.; CORRÊA, A. R.; ALEXIM, F. M. B.; PEIXOTO, G. B. T.: Panorama do setor de couro no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 16, p. 57 – 84, set.2002.
- SMITH, G.: Climate Change & waste. *CIWM Waste Management*. Defra (Reino Unido). 4p. Dez., 2005.
- TUCKER, M.: Trading carbon tradable offsets under Kyoto’s clean development mechanism: the economic advantages to buyers and sellers of using call options. *Ecological Economics*. Vol. 37. pp. 173-182. 2001.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change: Further guidance relating to the clean development mechanism. *COP 12 – Conference of Parties 12*. 8p. Dez, 2006

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change: *Kyoto Protocol*. 23p. 1997.

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change: *The Marrakesh Accords*. Decision 17 / CP7. 72p. Nov, 2001.

UNIDO – United Nations Industrial Development Organization: Mass balance in leather processing. *Regional Programme for Pollution Control in the Tanning Industry in South-East Asia*. Aug, 2000.

WALSH, A. e O'HALLORAN, J.: Accumulation of chromium by a population of mussels (*mytilus edulis* (L.)) exposed to leather tannery effluent. *Environmental Toxicology and Chemistry*. No. 17, pp. 1429–1438. 1998.

WILÉN, C., SALOKOSKI, P., KURKELA, E. and SIPILÄ, K.: Finnish expert report on best available techniques in energy production from solid recovered fuels. *The Finnish Environment Institute*. 58 p. 2004.

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE: Publication: *Climate Data*, 13p. 2000.

YILMAZ, O., KANTARLI, I., YUKSEL, M., SAGLAM, M., YANIK, J.: Conversion of leather wates to useful products. *ScienceDirect: Resources, Conservation and Reclycling*. Vol. 49. pp. 436-448. 2007.

9. APÊNDICES

9.1. APÊNDICE I – Metodologia de Metano Evitado



Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories

TYPE III - OTHER PROJECT ACTIVITIES

Project participants shall take into account the general guidance to the methodologies, information on additionality, abbreviations and general guidance on leakage provided at <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html>.

III.L. Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis

Technology/measure

1. This project category comprises measures that avoid the production of methane from biogenic organic matter that would have otherwise been left to decay under clearly anaerobic conditions till the end of the crediting period in a solid waste disposal site without methane recovery. Due to the project activity, decay is prevented through controlled pyrolysis¹.
2. This category is applicable to project activities where it is possible to ensure the pyrolysed residues are no longer prone to anaerobic decomposition. The pyrolysed residues will only be considered biologically inert if the volatile-carbon/fixed-carbon ratio is equal to or lower than 50%.
3. Measures shall include recovery and combustion of non-CO₂ greenhouse gases produced during pyrolysis in order to ensure that no relevant changes in greenhouse gas emissions (other than methane avoidance) occur as a consequence of the project activity and/or need to be accounted for, except for the possibilities of leakage. If the pyrolysis facility is used for heat and electricity generation, that component of the project activity shall use a corresponding methodology under type I project activities.
4. Measures are limited to those that result in emission reductions of less than or equal to 60 kt CO₂ equivalent annually.
5. The project activity does not recover or combust methane from a landfill unlike AMS III.G. Nevertheless, the location and characteristics of the disposal site in the baseline condition shall be known, in such a way as to allow the estimation of its methane emissions.
6. If the waste would be submitted to landfill disposal in the absence of the project activity, a methodology under type II (energy efficiency) might be used to account for lesser fossil fuel usage in landfilling, due to waste mass and volume reductions achieved by the pyrolysis process.

Boundary

7. The project boundary is the physical, geographical sites:
 - (a) Where the solid waste would have been disposed and the avoided methane emission occurs in absence of the proposed project activity;

¹ Pyrolysis is defined as the thermo-chemical decomposition of organic materials into a carbon rich residue, non-condensable combustible gases, and condensable vapors, by heating in the absence or lack of oxygen, without any other reagents, except possibly steam.

Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories*III.L. Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis (cont)*

- (b) Where the treatment of solid waste through controlled pyrolysis takes place;
- (c) The storage site of the pyrolysed residues;
- (d) And in the itineraries between them, where the transportation of wastes and pyrolysis residues occurs.

Project Activity Emissions

8. Project activity emissions consist of:

- (a) CO₂ emissions from the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste (plastics, rubber and fossil derived carbon). This shall also include CO₂ emissions from the pyrolysis or flaring of gases and vapors produced during the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste;
- (b) CO₂ emissions from the consumption of auxiliary fossil fuels by the pyrolysis facility;
- (c) Incremental CO₂ emissions due to incremental distances between the collection points to the controlled pyrolysis site and to the baseline disposal site as well as transportation of pyrolysed residues from the pyrolysis facility to the disposal site;
- (d) CO₂ emissions related to the fossil fuel and/or electricity consumed by the project activity facilities, including the equipment for air pollution control required by regulations. In case the project activity consumes grid electricity, the grid emission factor shall be calculated as described in category I.D.

$$PE_y = PE_{y,pyro} + PE_{y,fuel} + PE_{y,transp} + PE_{y,power}$$

Where:

- PE_y Project activity emissions in the year y (tCO₂e);
- $PE_{y,pyro}$ Emissions from pyrolysis of non-biogenic carbon in the year y (tCO₂e);
- $PE_{y,fuel}$ Emissions from the consumption of auxiliary fuel by the pyrolysis facility in the year y (tCO₂e);
- $PE_{y,transp}$ Emissions from fossil fuel consumption due to incremental transportation in the year y (tCO₂e);
- $PE_{y,power}$ Emissions from electricity or diesel consumption in the year y (tCO₂e).

9. Anticipated annual quantity and composition of the waste for pyrolysis by the project activity during the crediting period shall be reported in the project design document, including the quantities of biogenic and non-biogenic waste ($Q_{y,biogenic}$ and $Q_{y,non-biogenic}$). In addition projections of auxiliary fuel consumption for the pyrolysis process (Q_{fuel}) shall be provided in the project design document.

Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories*III.L. Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis (cont)*

$$PE_{y,fuel} = Q_{y,fuel} \cdot E_{fuel}$$

Where:

- $Q_{y,fuel}$ Quantity of fuel used in the year y (tonnes);
 E_{fuel} CO₂ emission factor for the pyrolysis of the auxiliary fossil fuel (tCO₂e/tonne of fuel, use local values, if local values are difficult to get IPCC default values may be used).

If the source of auxiliary fuel is renewable biomass $PE_{y,fuel}$ can be neglected. However, it shall be demonstrated that the fuel being used is compliant with the definition of renewable biomass agreed by the Board (See Annex 18 “Definition of Renewable biomass” of the twenty third meeting report of the Board).

$$PE_{y,pyro} = Q_{y,non-biogenic} \cdot E_{non-biogenic}$$

Where:

- $Q_{y,non-biogenic}$ Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year y (tonnes);
 $E_{non-biogenic}$ CO₂ emission factor for the pyrolysis of the non-biogenic fraction of the waste processed by the project (tCO₂e/tonne of non-biogenic waste).

Alternately,

$$PE_{y,pyro} = \frac{Q_{y,non-biogenic}}{Q_{y,total}} \cdot Q_{y,CO_2,pyro}$$

Where:

- $Q_{y,non-biogenic}$ Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year y (tonnes);
 $Q_{y,total}$ Total quantity of waste pyrolysed in the year y (tonnes);
 $Q_{y,CO_2,pyro}$ CO₂ emitted by the pyrolysis process in the year y , including the pyrolysis or flaring of the gases and vapors originating from the waste (tCO₂e).

10. Project activity emissions from trucks for incremental transportation shall be estimated as follows:

$$PE_{y,transp} = \left(\frac{Q_y}{CT_w} \cdot DAF_w + \frac{Q_{y,pyro-residue}}{CT_{pyro-residue}} \cdot DAF_{pyro-residue} \right) \cdot EF_{CO_2}$$

Where:

- Q_y Quantity of waste pyrolysed in the year y (tonnes);
 CT_w Average truck capacity for waste transportation (tonnes/truck);

Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories*III.L. Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis (cont)*

DAF_w	Average incremental distance for waste transportation (km/truck);
$Q_{y,pyro-residue}$	Quantity of pyrolysed residues produced in the year y (tonnes);
$CT_{pyro-residue}$	Average truck capacity for pyrolysed residues (tonnes/truck);
$DAF_{pyro-residue}$	Average distance over which pyrolysis residues are transported (km/truck);
EF_{CO_2}	CO ₂ emission factor of the fuel used for transportation (tCO ₂ /km, local values or IPCC default values).

Baseline

11. The baseline scenario is the situation where, in the absence of the project activity, biogenic and other organic matter would have been left to decay in clearly anaerobic conditions till the end of crediting period within the project boundary and methane is emitted to the atmosphere.

12. The baseline emissions at any year y during the crediting period are calculated based on the amount and composition of wastes pyrolysed since the beginning of the project activity (year “x=1”) up to the year y , using the first order decay model as referred to in AMS III.G². Baseline emissions shall exclude methane emissions that would have been removed to comply with national or local safety requirement or legal regulations.

$$BE_y = (BE_{y,CH_4,SWDS} - MD_{y,reg}) \cdot GWP_{CH_4}$$

Where:

BE_y	Baseline emissions at year y during crediting period (tCO ₂ e);
$BE_{y,CH_4,SWDS}$	Methane emissions avoided during the year y by preventing waste disposal at the solid waste disposal site during the period extending from the start of the project activity to the end of the year y (tCO ₂ e) calculated as per the method of AMS III.G. All methodological choices, in particular the choice of Methane Conversion factor (MCF) shall be justified with reference to the parameters provided in the FOD Tool considering the baseline waste disposal methods;
$MD_{y,reg}$	Methane that would be destroyed or removed in the year y for safety or legal regulation;
GWP_{CH_4}	Global Warming Potential for methane (value of 21).

² Methods of AMS III.G are based on the Methodological tool titled “Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site”, also referred to as ‘FOD Tool’ in this document can be accessed on the CDM website however certain exceptions are made when applying to small scale methodologies (e.g. oxidation factor is set to zero) as described in AMS III.G.

Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories*III.L. Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis (cont)***Leakage**

13. If the controlled pyrolysis technology is equipment transferred from another activity or if the existing equipment is transferred to another activity, leakage effects at the site of the other activity are to be considered.

Monitoring

14. The emission reduction achieved by the project activity will be measured as the difference between the baseline emission and the sum of the project emission and leakage.

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Leakage_y)$$

Where:

ER_y Emission reduction in the year y (tCO₂e)

15. The percentage composition of volatile-carbon, fixed-carbon, ashes and moisture in the pyrolysed waste shall be determined in a representative number of samples. The size and frequency of sampling shall be statistically significant with a maximum uncertainty range of 20% at a 95% confidence level. At a minimum, sampling should be undertaken four times a year. Determinations shall be made according to the “Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal” - ASTM D1762-84 (2001). The pyrolysed residues will only be considered biologically inert if the volatile-carbon/fixed-carbon ratio is equal to or lower than 50%.

16. The amount of waste pyrolysed each year (Q_y) shall be measured and recorded. The composition of the waste (weight fraction of each waste type; see EB26/Report – Annex 14 “Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site”) shall be determined through representative sampling and recorded to enable estimation of *ex-post* baseline methane emissions. The size and frequency of sampling shall be statistically significant with a maximum uncertainty range of 20% at a 95% confidence level. At a minimum, sampling should be undertaken four times a year.

17. The quantity of auxiliary fuel used ($Q_{y,fuel}$) shall be measured and recorded unless it is demonstrated that the fuel used is renewable biomass.

18. The quantity of non-biogenic waste pyrolysed ($Q_{y,non-biogenic}$) shall be determined through representative sampling and its average carbon content shall be determined using values taken from 2006 IPCC guidelines to determine the project activity emission attributable to the pyrolysis process.

19. The average truck capacity for the waste (CT_w) and for the pyrolysis residues ($CT_{pyro-residue}$) and the relevant distances for transportation shall be recorded to enable the calculation of project activity emission attributed to transportation.

20. The power consumption of the project activity facilities and/or power generation by the project activity shall be monitored and recorded.



Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories

III.L. Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis (cont)

21. The project participants shall demonstrate annually, through the assessment of common practices at proximate waste disposal sites, that the amount of waste pyrolysed by the project activity facilities would have been disposed in a solid waste disposal site without methane recovery in the absence of the project activity and it would decay anaerobically in the disposal site throughout the crediting period.

9.2. APÊNDICE II – Metodologia de Estoque de Carbono

Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis

Technology/measure

1. This project category comprises measures that interrupt the biogeochemical carbon cycle of biogenic solid waste, by permanently storing the stabilized carbon content of solid waste residues obtained through pyrolysis¹. In that same sense, the project activities may also accomplish CO₂ emissions avoidance, which would be generated by the baseline scenario incineration of non-biogenic waste. Due to the project activity, the carbon content of solid waste is made biologically inert and can be, therefore, stored in landfill or in a disposal site without the possibility of been released to the atmosphere. Measures shall both reduce anthropogenic emissions by sources, and directly emit less than 15 kilo tones of carbon dioxide equivalent annually.
2. The project activity shall ensure that the carbon content of the pyrolysis residue remains biologically inert. It also shall take measures to dispose pyrolysed residues into a proper storage site, ensuring the physical and chemical integrity of the stored residues. Measures to assure and monitor the permanence of the stored carbon shall be followed during and after the crediting period. Any modification in the paragraphs related to the permanence conditions of the present methodology will apply to new and to registered project activities.
3. If the combustible vapors and gases generated by the pyrolysis facility are used for heat and electricity generation the project can use a corresponding methodology under type I project activities. If the project activities enable methane emissions avoidance from biogenic decay the project can use a corresponding methodology under type III project activities (*Avoidance of methane production from biogenic decay through controlled pyrolysis*; submission date: 30/10/2006).
4. If the waste would be submitted to landfill disposal in the absence of the project activity, a methodology under type II (energy efficiency) might be used to account lesser fossil fuel usage in landfilling, due to waste mass and volume reductions achieved by the pyrolysis process.
5. This category is applicable for project activities resulting in annual emission reductions lower than 25,000 ton CO₂eq. If the emission reduction of a project activity exceeds the reference value of 25,000 ton CO₂eq. in any year of the crediting period, the annual emission reduction for that particular year is capped at 250,000 ton CO₂eq.

Boundary

6. The project boundary are the physical, geographical sites:
 - a) where the chemical and biologically labile solid waste would have been disposed, or where the wastes would have been controlled combusted in the baseline scenario;
 - b) where the treatment of solid waste through controlled pyrolysis takes place;
 - c) the storage site of the pyrolysed residues,

¹ Pyrolysis is herein defined as the thermo-chemical decomposition of organic materials into a carbon rich residue, non-condensable combustible gases, and condensable vapors, by heating in the total absence or in lack of oxygen, without any other reagents, except possibly steam.

- d) and the itineraries between them, where the transportation of wastes and pyrolysis residues occurs.

Project Activity Direct Emissions

7. Total annual project activity related emissions consist of :
- a) A negative parcel, referent to the amount of fixed carbon present in the pyrolysis residues produced by the project activity, originated from the biogenic wastes that would be either landfilled or incinerated in the baseline scenario. Such negative emission will be accounted upon the permanent landfilling of these stable residues in the final disposal site, and will be represented as carbon dioxide equivalent.
 - b) Direct CO₂ emissions generated by the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste (plastics, rubber, etc, i.e. fossil-derived carbon) that would not have been submitted to incineration in the absence of the project activity. CO₂ emissions from the combustion or flaring of gases and vapors originated during the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste that would not have been submitted to combustion in the absence of the project activity, shall be considered as well;
 - c) CO₂ emissions from the consumption of auxiliary fossil fuels by the pyrolysis facility;
 - d) CO₂ emissions related to fossil fuel usage due to landfilling process, required to dispose residues that would not have been stored in such way without the project activity;
 - e) Incremental CO₂ emissions due to incremental distances between the collection points to the pyrolysis facility and to the baseline disposal site as well as transportation of pyrolysis residues and final waste from controlled pyrolysis site to disposal site;
 - f) CO₂ emissions related to the power used by the project activity facilities, including the equipments for air pollution control required by regulations. In case the project activity consumes grid-based electricity, the grid emission factor (kgCO₂/kWh) is used, or it is assumed that diesel generators would have provided a similar amount of electric power, calculated as described in category I.D.

$$PE_y = - CS_y + PE_{y,land} + PE_{y,pyro} + PE_{y,fuel} + PE_{y,transp} + PE_{y,power}$$

Where:

PE_y Project activity direct emissions in the year “y” (tones of CO₂ equivalent);

- CS_y Permanent captured and stored carbon in the residue after pyrolysis, submitted to the landfilling, which was originated from the biogenic waste processed by the project activity in the year “y”, measured as its fix carbon content (it is a negative parcel, measured in tones of CO₂ equivalent);

- $PE_{y,land}$ Emissions through auxiliary fossil fuel consumption due to landfilling in the year “y”;
- $PE_{y,pyro}$ Direct CO₂ emissions generated by the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste (plastics, rubber and fossil derived carbon) that would not have been incinerated in the absence of the project activity, in the year “y”. CO₂ emissions, in the year “y”, from the combustion or flaring of gases and vapors originated during the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste that would not have been incinerated in the absence of the project activity, shall be considered as well;
- $PE_{y,fuel}$ Emissions due to the consumption of auxiliary fossil fuels by the pyrolysis facility in the year “y”;
- $PE_{y,transp}$ Emissions through fossil fuel consumption due to incremental transportation activity in the year “y”;
- $PE_{y,power}$ Emissions through electricity or diesel consumption in the year “y”.

8. The expected annual amount and composition of the waste pyrolysed by the project activity during the crediting period shall be described in the project design document, including the biogenic and non-biogenic carbon content of the waste ($Q_{y,biogenic}$ and $Q_{y,non-biogenic}$). The expected and measured annual amount of biogenic carbon permanently stored by the project activity during the project activity will be estimated *ex-ante* and measured *ex-post*. The expected auxiliary fossil fuel consumption for the pyrolysis process (Q_{fuel}) should be reported in the project design document. CO₂ emissions from the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the wastes that would not have been incinerated, including those emissions originated from burning of gases liberated in the process will be accounted as project direct emissions. These data will be used to estimate the annual baseline emissions, and the ex-post project activity emissions.

$$- CS_{y,pyro} = Q_{y,biogenic} * GE_{,pyro} * FIX_{,pyro} * 44/12$$

Where:

- $- CS_{y,pyro}$ Quantity of permanent captured and stored carbon in the residue after pyrolysis, submitted to the landfilling, which was originated from the biogenic waste processed by the project activity in the year “y”, measured as its fix carbon content (it is a negative parcel, measured in tones of CO₂ equivalent);
- $Q_{y,biogenic}$ Quantity of biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tones);
- $GE_{,pyro}$ Gravimetric efficiency of the pyrolysis process (factor);
- $FIX_{,pyro}$ Fraction of fixed carbon in the pyrolysed waste (factor).

Project activity emissions from landfilling activities, required to dispose residues that would not have been stored in such way without the project activity will be estimated and considered as project activity emissions.

$$PE_{y,land} = V_y * BV_{y,non-landfill} * E_{landfill}$$

Where:

- V_y Total volume of solid waste treated by pyrolysis (m³) in the year “y”;
- $BV_{y,non-landfill}$ Baseline fraction of the solid waste that would not have been submitted to landfill disposal in the in the year “y”, without the project activity;
- $E_{landfill}$ Emission factor for landfilling activities (kgCO₂/m³ of disposed waste).

$$PE_{y,fuel} = Q_{y, fuel} * E_{fuel}$$

Where:

- $Q_{y,fuel}$ Quantity of fuel used in the year “y” (tonnes);
- $E_{y,fuel}$ CO₂ emission factor for the combustion of the auxiliary fossil fuel (tonnes CO₂ per tonne of fuel, according to IPCC Guidelines).

$$PE_{y,pyro} = Q_{y,non-biogenic} * E_{non-biogenic}$$

Where:

- $Q_{y,non-biogenic}$ Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tonnes);
- $E_{non-biogenic}$ CO₂ emission factor for the pyrolysis of the non-biogenic content of the waste, including the combustion of the gases produced in the process (tonnes CO₂ per tonne non-biogenic waste).

Alternately,

$$PE_{y,pyro} = (Q_{y,non-biogenic} / Q_{y,total}) * Q_{y,CO_2,pyr}$$

Where:

- $Q_{y,non-biogenic}$ Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tonnes of waste);
- $Q_{y, total}$ Total quantity of waste pyrolysed in the year “y” (tonnes);
- $Q_{y,CO_2,pyr}$ Tonnes of CO₂ emitted by the pyrolysis process in the year “y”, including the combustion of the gases produced in the process (tonnes CO₂ per tonne of non-biogenic waste).

Project activity emissions from trucks for incremental collection activities will be estimated and considered as project activity emissions.

$$PE_{y,transp} = (Q_y/CT_y) * DAF_w * EF_{CO_2} + (Q_{y,pyro-residues}/CT_{y,pyro-residues}) * DAF_{pyro-residues} * EF_{CO_2}$$

Where:

- Q_y Quantity of waste pyrolysed in the year “y” (tones);
- CT_y Average truck capacity for waste transportation (tones/truck);
- DAF Average incremental distance for waste transportation (km/truck);
- EF_{CO_2} CO₂ emission factor from fuel use due to transportation (kgCO₂/km, IPCC default values or local values can be used);
- $Q_{y,pyro-residues}$ Quantity of pyrolysis residues produced in the year “y” (tones);
- $CT_{y,pyro-residues}$ Average truck capacity for pyrolysis residues transportation (tones/truck);
- $DAF_{pyro-residues}$ Average distance for pyrolysis residues transportation (km/truck).

Baseline

9. The baseline scenario is the situation where, in the absence of the project activity, biogenic solid waste is incinerated or left to decay aerobically within the project boundary and, thereof, CO₂ is emitted to the atmosphere. A complementary scenario is the situation where the waste decays anaerobically, and the methane generated is captured and incinerated, thus originating CO₂, which is then released into the atmosphere. The baseline scenario is therefore climate neutral (zero emission). If the baseline scenario included non recovered methane emissions from the anaerobic decay of biogenic wastes, the project participant can apply for the *Avoidance of methane production from biogenic decay through controlled pyrolysis*. In these cases, this baseline condition shall not be considered for the purpose of the present methodology.
10. The incineration of the non-biogenic carbon content of the waste may be also included in the baseline scenario. In this case, all the carbon content will be released to the atmosphere as CO₂, therefore it must be considered as baseline emission. The CO₂ emissions related to fossil fuel consumption due to landfilling activities should be also considered as baseline emissions.

Therefore the baseline emission will be calculated as:

$$BE_y = Q_{y,non-biogenic} * C_y * 44/12$$

Where:

- BE_y Baseline emissions in the year “y” (tones of CO₂ eq.);

- $Q_{y,\text{non-biogenic}}$ Quantity of non-biogenic the waste pyrolysed in the year “y” (tones);
- C_y Fraction of the solid waste that would have been incinerated in the year “y”.

Leakage

11. If the controlled pyrolysis equipment transferred from another activity or if the existing equipment is transferred to another activity, leakage effects at the site of the other activity are to be considered.

Permanence

12. Since the pyrolysed residues are to be permanent stored, measures to ensure the biological inertness and permanence of such residues on storage site shall be taken:
- The volatile-carbon/fixed-carbon/ashes/humidity content ratio of the pyrolysed wastes must be determined. The pyrolysed residues will only be considered eligible for long-term storage if the volatile-carbon/fixed-carbon ratio is equal or lower than 50%.
 - The storage site should be exclusively dedicated for receiving the residues generated by the project activity, and must be legally assigned by the local and national authorities as a site reserved to the permanent storage of carbon.
 - Special attention should be given to fire prevention. The storage procedure will be accomplished in such a way as to prevent the possibility of combustion of the stocked carbon, e.g. by covering each layer of disposed waste with a layer of an inert material, capable to prevent the contact with air and, therefore, the combustion of the underlying layers of waste.
 - The pyrolysed residues shall be physically restrained to the storage site, and submitted to a final covering and final use compatible with the permanent carbon storage.

Monitoring

13. The emission reduction achieved by the project activity will be measured as the difference between the baseline emission and the sum of the project emission and leakage.

$$ER_y = BE_y - (PE_y + \text{Leakage}_y)$$

Where:

ER_y Emission reduction in the year “y” (tones of CO₂ eq.);

BE_y Baseline emissions in the year “y” (tones of CO₂ eq.).

14. The amount of waste pyrolysed in the project activity in each year (Q_y) shall be measured and recorded, as well as its composition, through representative sampling, and its final disposal, in order to provide information for estimating the baseline emissions. The total amount of both biogenic ($Q_{y,\text{biogenic}}$) and non-biogenic ($Q_{y,\text{non-biogenic}}$) raw wastes must be measured and discriminated.
15. The pyrolysis gravimetric efficiency and the fraction of fixed carbon in the pyrolysed waste must be measured monthly, or until 95% of confidence is achieved.

16. The volume of the wastes before and after the pyrolysis process should also be measured and recorded. This will provide information about project emission reductions due to the landfill disposition of smaller waste volumes. Alternatively, this may provide information to account for the project direct emission due to landfilling activities of residues that would not be disposed in such way in the baseline scenario.
17. The fossil fuel used in the pyrolysis facility ($Q_{y,\text{fuel}}$) will be measured and registered, and the quantity of non-biogenic waste ($Q_{y,\text{non-biogenic}}$) will be measured by sampling, to yield the project activity emission through pyrolysis. Also, the power consumption and/or generation by the facility shall be measured and registered.
18. The total quantity of the waste pyrolysed (Q_y) and the average truck capacity (CT_y) will be measured to yield the project activity emission through transportation. The monitoring will also record the distance for transporting the waste in baseline and the project scenarios.
19. Although the amount of non-CO₂ greenhouse gases, including methane, produced in the pyrolysis process does not need to be monitored, the project activity shall ensure that all greenhouse gases besides CO₂ produced in the process will be destroyed by combustion or flaring.
20. The project participants will annually demonstrate the ex-post disposal of the waste pyrolysed in the project activity facilities. The permanence of residues in the storage site shall also be demonstrated, by yearly measurements.

9.3. APÊNDICE III – PDD enviado à UNFCCC

**CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM
SIMPLIFIED PROJECT DESIGN DOCUMENT
FOR SMALL-SCALE PROJECT ACTIVITIES (SSC-CDM-PDD)
Version 02**

CONTENTS

- A. General description of the small-scale project activity
- B. Baseline methodology
- C. Duration of the project activity / Crediting period
- D. Monitoring methodology and plan
- E. Calculation of GHG emission reductions by sources

Annexes

Annex 1: Information on participants in the project activity

Revision history of this document

Version Number	Date	Description and reason of revision
01	21 January 2003	Initial adoption
02	8 July 2005	<ul style="list-style-type: none">• The Board agreed to revise the CDM SSC PDD to reflect guidance and clarifications provided by the Board since version 01 of this document.• As a consequence, the guidelines for completing CDM SSC PDD have been revised accordingly to version 2. The latest version can be found at http://cdm.unfccc.int/Reference/Documents.

SECTION A. General description of the small-scale project activity

A.1. Title of the small-scale project activity:

“Methane avoidance and carbon storage through alternative processing of leather tanning residues in Ipatinga, Brazil”

Document version: draft

Date of Document: 30.10.2006

A.2. Description of the small-scale project activity:

NOTE: This document comprises a draft PDD elaborated only to comply with the part III of the “GUIDELINES FOR COMPLETING THE SIMPLIFIED PROJECT DESIGN DOCUMENT (CDM-SSC-PDD), THE FORM FOR SUBMISSIONS ON METHODOLOGIES FOR SMALL-SCALE CDM PROJECT ACTIVITIES (F-CDM-SSC-Subm) AND THE FORM FOR SUBMISSION OF BUNDLED SMALL-SCALE CDM PROJECT ACTIVITIES (F-CDM-SSC-BUNDLE), version 3” and it is not intended to render an actual project activity. Therefore, some scenarios presented in the baseline may be hypothetical.

Kaparaó – Indústria e Comércio LTDA. is a leather tanning enterprise. Leather is made from animal skins or hides which have been chemically treated to preserve quality and natural beauty. The chemical procedure used to ready raw animal hides for use is called "tanning". A piece of hide which has been tanned produces strong, flexible leather which is able to resist decay and spoilage.

Raw animal skins go through several steps during the tanning process. Depending on the type of hide used and the desired end-product, the steps taken during tanning can vary greatly. Hides and skins are often treated several times during the process of tanning. Which type of tanning procedure is used, depends largely on the hide itself and the resulting product intended. Mineral or chrome is the most common tanning procedure and it is performed on skins which will be used for softer, more stretchable leathers, such as those found in purses, bags, briefcases, shoes, gloves, boots, jackets, pants, and sandals.

After the hides are chrome-tanned, the skins are trimmed, thus generating the Leather Tanning Residue, which will be referred as LTR throughout this document. For the purposes of this draft PDD we will consider that LTR is sent to the Municipal Solid Waste Disposal Site. In this site, LTR will anaerobically decompose and, thus, generate methane

Biomass represents a promising carbon sink. However, the carbon content of biomass cannot be stored in the long-term because it is promptly susceptible to chemical and biological degradation. In contrast, charred materials or Black Carbon (BC) constitute a diverse mixture of carbon structures that range in complexity from graphite-like carbon to high molecular weight aromatic rings, most of which are highly resistant to physical, chemical and biological decomposition and are known to persist in soils for thousands to millions of years². Therefore, BC may represent a good alternative to Carbon Capture and Storage strategies.

² Graetz, R.D. and Skjemstad, J.O. 2003. The charcoal sink of biomass burning on the Australian continent. CSIRO Atmospheric Research. Paper no. 64.

BC may be the product of the incomplete combustion of biomass and fossil-derived materials³. Also, BC can be obtained through the process of controlled pyrolysis, which comprises the thermal decomposition of organic matter, in the absence of oxygen⁴.

If LTR is left to decay in the landfill, all of its carbon content would eventually be released into the atmosphere. In contrast, if LTR is treated by pyrolysis, a fraction of its carbon content could be permanently stored. Moreover, the pyrolysis of LTR will avoid methane (CH₄) emission, since this residue will no longer be available for anaerobic decomposition.

Therefore the project activity would result into GHG emission reduction by avoiding methane emission otherwise released due to anaerobic decomposition of LTR in uncontrolled landfill site, which is the current practice of disposal for LTR in the region. Also, the project activity will permanently store the chemical and biologically stabilized post-pyrolysis leather tanning residues (PPLTR).

The project is a small scale CDM project activity and is based on two new proposed “Simplified Baseline and Monitoring Methodologies for Selected Small Scale CDM Project Activity Categories”:

- a) “Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis.
- b) “Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis”.

Sustainability aspects of the project activity:

Sustainable development shall be achieved mainly by two ways: (1) by reducing the quantity of solid wastes to be disposed and its environmental impacts and (2) by introducing a new solid wastes treatment technology. Both ways meet the Agenda 21 and Sustainable Development Criteria of Brazil.

The environmental and social-economical benefits that will be achieved by the project activity are the following:

- a) Avoidance of production of methane gas, that would otherwise occur if the solid residues would be left to decay anaerobically;
- b) long-term storage chemical and biologically stable carbon-rich residues, without the possibility of its further release into the atmosphere;
- c) reduction of the fossil fuel consumption in the landfilling activities, at the same proportion that pyrolysed residues loses its original mass and volume after the pyrolysis process.
- d) increase of landfill operational lifetime, at same proportion that pyrolysed residues loses its original mass and volume after the pyrolysis process;

³ IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (2006). Volume 4. Appendix 1.

⁴ Pyrolysis and gasification - Briefing (2002). Friends of the Earth.

e) the energy from the combustion of the volatile gases generated during the pyrolysis process may be used to generate electricity to the grid;

A.3. Project participants:

Kaparaó Indústria e Comércio Ltda.

A.4. Technical description of the small-scale project activity:

A.4.1. Location of the small-scale project activity:

A.4.1.1. Host Party(ies):

Host Country: Brazil

A.4.1.2. Region/State/Province etc.:

Minas Gerais.

A.4.1.3. City/Town/Community etc.:

Ipatinga.

A.4.1.4. Detail of physical location, including information allowing the unique identification of this small-scale project activity(ies):

Kaparaó Indústria e Comércio Ltda is located at Av. José Anatólio, Barbosa, 1916, Limoeiro, on the western side of Ipatinga city in the State of Minas Gerais, Brazil. It is at 19°26'53" S latitude and 42°35'23" W longitude. The project site for the LTR treatment plant is also located in this same site. The following 3 maps show respectively Map of Brazil with State of Minas Gerais identification, Map of State of Minas Gerais with Ipatinga city identification and Map of Ipatinga with Limoeiro area identification. They are followed by a satellite photograph of a specific area in Limoeiro showing Kaparaó Indústria e Comércio Ltda.



Map of Brazil showing State of Minas Gerais



Map of Minas Gerais showing the location of Ipatinga City



Map of Ipatinga City showing the Limoeiro's region

Satellite Photograph of Kaparaó Industry



Ipatinga's Municipal Solid Waste Disposal Site, where PPLTR will be disposed, is located at BR381 – Km 235, Águas Claras, in the city of Santana do Paraíso, next to Ipatinga. It is at 19°26'35" S latitude and 42°30'33" W longitude. There is below a satellite photograph of the area showing the exactly location of the MSW disposal site.

Satellite Photograph of Ipatinga's Municipal Solid Waste Disposal Site



A.4.2. Type and category(ies) and technology of the small-scale project activity:

The project activity is a small scale project activity and conforms to the following new proposed category for small-scale CDM project activities, under TYPE III (Other Project Activities):

Category “Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis”, Version 01, submission date: 30/10/2006.

“This project category comprises measures that avoid the production of methane from biogenic or other organic matter that would have otherwise been left to decay anaerobically in a solid waste disposal site without methane recovery. Due to the project activity, decay is prevented through controlled pyrolysis.”

Category: “Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis” Version 01, submission date: 30/10/2006.

“This project category comprises measures that interrupt the biogeochemical carbon cycle of biogenic solid waste, by permanently storing the stabilized carbon content of solid waste residues obtained through pyrolysis.” “Due to the project activity, the carbon content of solid waste is made biologically inert and can be, therefore, stored in landfill or in a disposal site without the possibility of been released to the atmosphere.”

The proposed project activities shall result in the avoidance of uncontrolled decay of LTR in landfill sites and in the long-term storage of chemical and biologically stabilized residues (PPLTR). The decay is prevented through controlled pyrolysis in a facility run by the project proponent. Also, the pyrolysed residues will be disposed in a dedicated storage site, without the possibility of been released to the atmosphere. The landfill to which the LTR would have been disposed does not recover or combust methane. Total reductions due to the project are less than 25 kilotons of carbon dioxide equivalent and project emission are less then 15 kilotons of carbon dioxide equivalent.

Technology details:

Processing of LTR into PPLTR and its correct disposal involves a series of processes – LTR generation, drying, pyrolysis, transportation of PPLTR and disposal.

LTR is generated at Kaparaó Industry during the leather tanning process. Part of the LTR is automatically removed from the leather pieces and the remaining is manually removed.



LRT automatic removal



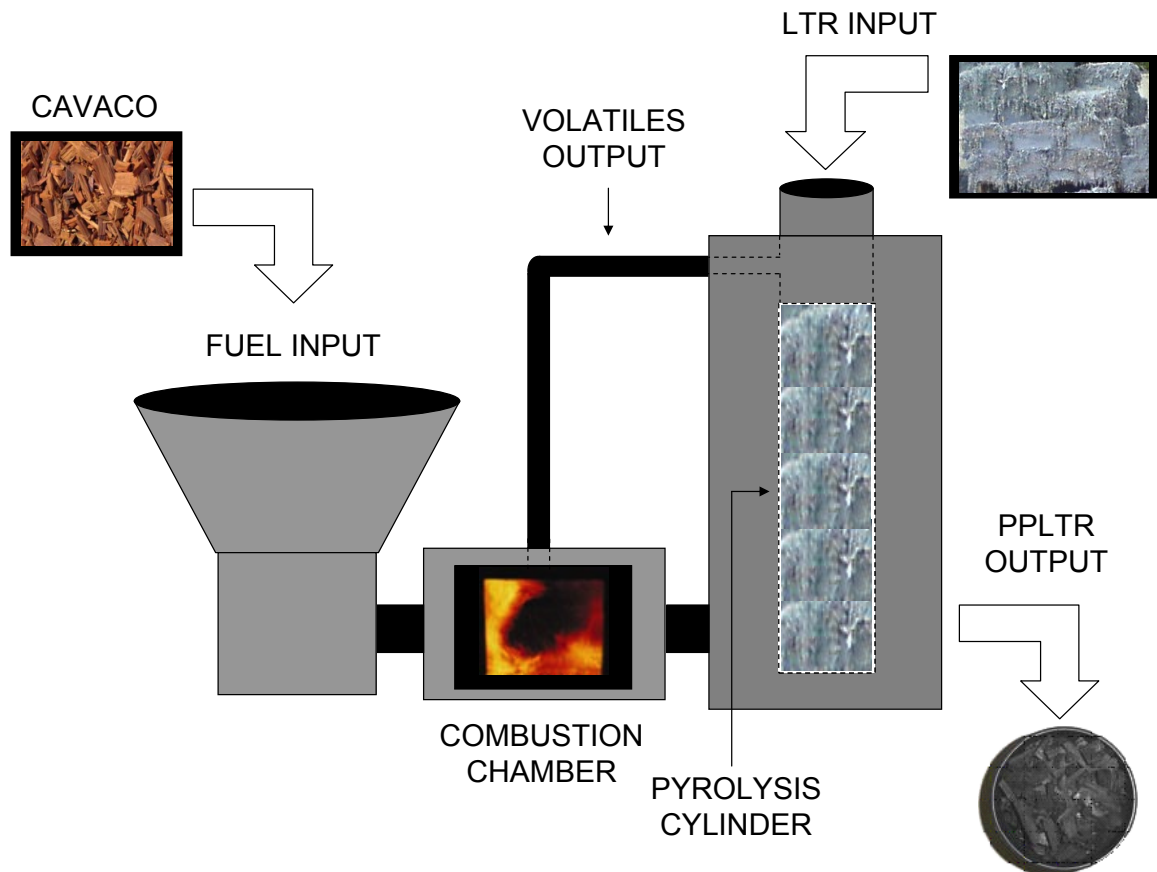
LRT manual removal

During the drying process the LTR is left in an open air area for some days to lose humidity. Doing that, the pyrolysis process will be faster and will consume less fuel.

The pyrolysis process is consisted in the thermal decomposition of the LTR into an inert PPLTR. The fuel is *Cavaco* (Portuguese word for “wood chips”), a renewable fuel from biomass. *Cavaco* is generated by thermal treatment of wood waste. *Cavaco* enters in the pyrolysis facility through the fuel input and goes to the combustion chamber, where it is combusted at 900°C. The LTR is placed inside the pyrolysis cylinder, which is heated at 500°C for several hours by the energy from the combustion chamber. All volatiles go from the pyrolysis cylinder to the combustion chamber where they are also combusted. By the end of the process the PPLTR is removed from the pyrolysis cylinder. The following schematic drawing shows all the pyrolysis process steps.

Transportation of PPLTR is done by a muck truck with a 3.0 m³ bucket. The PPLTR is transported from the pyrolysis facility to the municipal solid waste disposal site.

The disposal is done at the Ipatinga’s Municipal Solid Waste Disposal Site in a specific pit for post-pyrolysis residues (PPR), including PPLTR. The PPR layers will be alternated with soil or construction waste.



A.4.3. Brief explanation of how the anthropogenic emissions of anthropogenic greenhouse gas (GHGs) by sources are to be reduced by the proposed small-scale project activity, including why the emission reductions would not occur in the absence of the proposed small-scale project activity, taking into account national and/or sectoral policies and circumstances:

The project activity shall reduce emissions of anthropogenic greenhouse gas (GHGs) by sources in the following ways:

- i. Avoidance of methane (CH₄) emissions through Pyrolysis.

The project activity would avoid anaerobic decomposition of biogenic material in the landfill site without methane recovery, consequently avoiding CH₄ emissions. Landfills are the current destination of disposal leather residues in the city of Ipatinga - MG.

- ii. Carbon storage through burying of pyrolysis residues.

The project activity would generate a residue in which its carbon content is inert. Carbon content of biomass cannot be stored in the long-term since it is susceptible to chemical and biological decomposition. Hence, the pyrolysis-derived product represents an alternative for carbon storage in designated areas.

In the absence of the proposed project activity, leather residuals would continue to be available for anaerobic decomposition in the landfill site of Ipatinga - MG. Under this scenario, GHGs would have continued to be released at present level and there would be no emission reductions.

A.4.3.1 Estimated amount of emission reductions over the chosen crediting period:

The estimated amount of emission reductions over the chosen crediting period is 6.111,17 tones CO₂eq.

A.4.4. Public funding of the small-scale project activity:

There are no public funding for these project activities.

A.4.5. Confirmation that the small-scale project activity is not a debundled component of a larger project activity:

As per Appendix C of the Simplified Modalities and Procedures for Small-Scale CDM project activities - "A proposed small-scale project activity shall be deemed to be a debundled component of a large project activity if there is a registered small-scale CDM project activity or an application to register another small-scale CDM project activity:

- ☞ With the same project participants;
- ☞ In the same project category and technology/measure; and
- ☞ Registered within the previous 2 years; and
- ☞ Whose project boundary is within 1 km of the project boundary of the proposed small-scale activity at the closest point"

The project activity is not a debundled component of a large project activity as there is no small scale CDM project activity or an application registered by Kaparaó Indústria e Comércio LTDA., in the same project category in the last two years within 1 km of the project boundary of the proposed small-scale project activity.

SECTION B. Application of a baseline methodology:

B.1. Title and reference of the approved baseline methodology applied to the small-scale project activity:

The project is a small scale CDM project activity and is based on the following new proposed categories:

TYPE III: Other project activities

New proposed category: "Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis". Version 01, submission date: 30/10/2006

TYPE III: Other project activities

New proposed category: "Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis"

Version 01, submission date: 30/10/2006

B.2. Project category applicable to the small-scale project activity:

The baseline of this project activity consists in the submission of LTR to a landfill, where it will anaerobically decompose and, thus, generate methane emissions. Since there is no available methodologies to avoid such methane emissions, through the technology applied in this project activity (controlled pyrolysis) a new project category had to be proposed: “Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis”.

This project activity also aimed the permanent storage of the PPLTR, thus avoiding its further release into the atmosphere. Hence, a complementary project activity had to be proposed, as well: “Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis”.

B.3. Description of how the anthropogenic emissions of GHG by sources are reduced below those that would have occurred in the absence of the registered small-scale CDM project activity:

The project activity comprises LTR processing using controlled pyrolysis. The project activity shall reduce anthropogenic emissions of GHG by (i) avoiding methane (CH₄) emissions from anaerobic biomass decay in landfills and by (ii) carbon storage through burring the PPLTR in designated controlled sites. The project fulfils all the “additionality” pre-requisites demonstrating that it would not occur in the absence of the CDM.

The most likely future scenario is that Kaparaó Industry would continue to send LTR to Ipatinga’s Municipal Landfill. Methane destruction is not mandatory in Brazil. In Ipatinga, the landfill recovers and combusts methane, but not systematically. The increase activity of leather tanning business in the area indicates that the most expected forecast is an increase in GHG emissions. Therefore, initiatives to process LTR, such as the project activity, leads to the avoidance of methane emissions and the possibility of carbon storage.

The “Tool for the Demonstration and Assessment of Additionality” (hereafter referred as ‘Additionality Tool’) shall be applied to describe how the anthropogenic emissions of GHG are reduced below those that would have occurred in the absence of the project. The Additionality Tool provides a general step-wise framework for demonstrating and assessing additionality. These steps include:

1. Identification of Alternatives to the Project Activity
2. Investment Analysis AND / OR
3. Barrier Analysis
4. Common Practice Analysis
5. Impact of CDM Registration

1. Identification of alternatives

This section will define realistic and credible alternatives to the project activity that can be the baseline scenario through the following sub-steps:

1.a. Define alternatives to the project activity

- Continuation of the current situation, with LTR being sent to Ipatinga's Municipal Landfill, which does not recover methane. Following the Brazilian legislation (which does not impose landfill methane recovery) and the present landfill infrastructure in the region this is the most likely baseline scenario. If the project activity is not undertaken LTR will continue to be sent to the Ipatinga's landfill. Anaerobic decay will prevail and methane emissions will not be controlled.
- The implementation of the project without incentives from CDM.

1.b. Enforcement of applicable laws and regulation

The alternative scenarios are in compliance with all applicable regulations.

3. Barrier Analysis

The project activity faces barriers that:

- prevent the implementation of this type of proposed project activity
- do not prevent the implementation of at least one of the alternatives

These barriers will be presented and analyzed below:

3.a. Identify barriers that would prevent the implementation of type of the project activity:

Investment barriers: due to the small size of leather tanning facilities, access to credit market is very restricted. Domestically, the government does not supply credit for such innovative project activities. Internationally, the business does not have infrastructure and visibility to attract foreign direct investment. Carbon finance in such scenario can play a critical role on the decision for the investment in the project activity. In fact, the financial analysis of the investment shows that the project activity is more feasible with the revenue of CERs.

The investment on the Pyrolysis Facility is estimated to be around R\$ 1.000.000,00 and its operational cost is R\$200,00/ton. The diminishing of costs associated with the disposal of the LTR in the landfill is estimated to be R\$ 400.000,00. CER considered price is €12,00 (R\$ 32,40). A common CDM contract structure was considered, being 30% of the overall CERs commercialized in advance, and 70% at the issuance. Costs associated with UNFCCC project lifecycle were estimated to be R\$ 100.000,00.

Financial Analysis	w/o CER	with CER
LIQUID PRESENT VALUE	(16.869)	27.808
IRR	9.61%	10.63%
DESIRED IRR	10.00%	yearly

Prevailing practice: pyrolysis is not used as an alternative for waste disposal in Brazil. Such technology is not available as a solution for solid waste disposal and clearly constitutes a barrier to the implementation of the project activity since it represents the 'first of a kind'.

3.b. Show that the identified barriers would not prevent the implementation of at least one of the alternatives:

As described on *Step 1 – Alternatives for the Project* – the most realistic baseline is the *status quo* where LTR is disposed in the Ipatinga’s Municipal Landfill, without methane recovery. Since this is the prevailing practice and that such practice is reinforced by environmental legislation none of the above barriers would affect the present situation.

4. Common Practice Analysis

4.a. Analyze other activities similar to the proposed project activity

To the best of the knowledge of the project owners, there is neither leather tanning facilities or landfills using pyrolysis in Brazil.

4.b. Discuss any similar options that are occurring

Again, to the best of the knowledge of the project owners, all similar projects in the country considered the incentives from the CDM to proceed with the investment.

5. Impact of CDM Registration

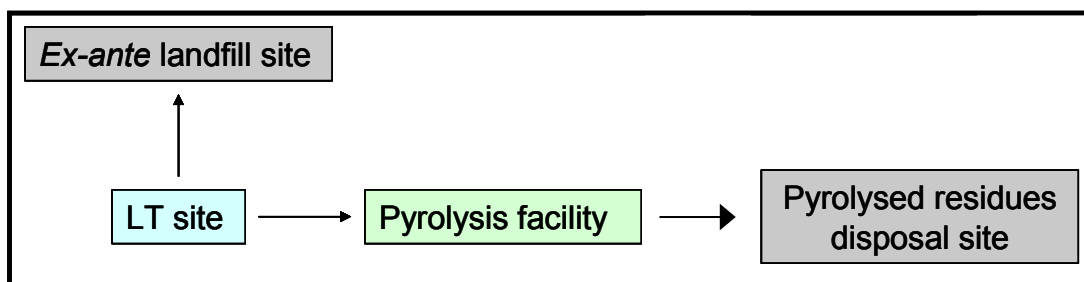
The approval and registration of the CDM activity will report significant benefits for the country, the private sector and the society. The project shall alleviate the identified barriers. The project also constitutes an opportunity for a turn around in solid waste management in Brazil. Pyrolysis represents a multisided opportunity to reduce anthropogenic GHG emission and tackle developmental issues through increased living condition and job creation. In addition, once approved the project activity can become the prevailing practice and be widespread around the country due to its easy reproducibility. The CDM activity also represents an opportunity to credit constraint companies that otherwise would not implement it. Furthermore, there are clear economical benefits from the revenues obtained by selling CERs.

B.4. Description of how the definition of the project boundary related to the baseline methodology selected is applied to the small-scale project activity:

As per both methodologies “Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis” and “Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis”, “The project boundary are the physical, geographical sites:

- a) where the chemical and biologically labile solid waste would have been disposed, or where the wastes would have been controlled combusted in the baseline scenario;
- b) where the treatment of solid waste through controlled pyrolysis takes place,
- c) and the itineraries between them, where the transportation of wastes and pyrolysis residues occurs,
- d) and the pyrolysed residues storage site.”

Therefore, in the proposed project the project boundary includes the LT site, the *ex-ante* landfill site, the pyrolysis facility, the pyrolysed residues disposal site and the transportation itineraries between them as represented in the diagram below:



B.5. Details of the baseline and its development:

The baseline for the methane avoidance component as defined in the new proposed project category “Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis” is the situation where, in the absence of the Project, LTR is left to decay within the Project boundary and methane is emitted into the atmosphere. The baseline emission is the amount of methane from the decay of LTR that is treated in the Project activity, calculated using the IPCC default emission factors in the formula specified in AMS III. G.

The calculation formula for the baseline emissions is provided in Section E.1.2.4.

The baseline emission for the component contemplated by the project category “Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis” is defined as climate neutral, because the LTR is from biogenic origin. Therefore it shall not be considered.

The final draft of this baseline section was completed on 10/19/2006.

Name of person/entity determining the baseline is given below.

Felipe Ribeiro Bittencourt
 Universidade Federal de Minas Gerais
 Belo Horizonte / Minas Gerais
 Brazil
 feliperb@gmail.com

SECTION C. Duration of the project activity / Crediting period:

C.1. Duration of the small-scale project activity:

C.1.1. Starting date of the small-scale project activity:

The project activity plans to start operation of the biomass boiler plant in 15/Jan/2007.

C.1.2. Expected operational lifetime of the small-scale project activity:

10 years

C.2. Choice of crediting period and related information:

The project will not use a renewable crediting period.

C.2.1. Renewable crediting period:**C.2.1.1. Starting date of the first crediting period:****C.2.1.2. Length of the first crediting period:****C.2.2. Fixed crediting period:****C.2.2.1. Starting date:**

5/Jul/2008

C.2.2.2. Length:

10 years

SECTION D. Application of a monitoring methodology and plan:**D.1. Name and reference of approved monitoring methodology applied to the small-scale project activity:**

At the present, there are no approved methodologies applicable to this project activity. Therefore, the following type III monitoring methodologies and plans are been proposed for this project activity scope:

- Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis.
- Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis.

D.2. Justification of the choice of the methodology and why it is applicable to the small-scale project activity:

As the LTR are submitted to the pyrolysis treatment due to the project activity, instead of its baseline practices of being disposed into a landfill without methane recovery, both methodologies are applicable. At first, LTR will be no longer available for biological decomposition and no methane gas will be formed. Secondly, the LTR carbon content will be fixed into char pieces, which will be stored under controlled conditions to ensure its permanence.

D.3 Data to be monitored:

ID n.º	Data Type	Data variable	Data unit	Measured (M), Calculated (C), Indicated (I) or Estimated (E)	Recording frequency	Proportion of data to be monitored	How will the data be archived? (electronic / paper)	For how long is archived data to be kept?	Comment
D.3.1	Waste	Amount of LTR pyrolysed in year "y"	Tones	Measured	Daily, but data will be combined to render the yearly amount.	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	This item is related to the amount of waste before entering the pyrolysis device.
D.3.2	Project emissions	Auxiliary fossil fuels used at the facility in year "y"	Tones	Measured	Continuous	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	If auxiliary fossil fuels are eventually necessary. The type of fuel shall be discriminated.
D.3.3		Average truck capacity for waste and pyrolysed waste transportation	tones/truck	Indicated	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.4		Average incremental distance for waste and pyrolysed waste transportation	km/truck	Measured	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.5		Emissions through electricity or diesel consumption by the pyrolysis facility	Tones of CO ₂ e/year	Calculated	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.6	Baseline emissions	Methane that would be destroyed or removed for safety or legal regulations	%	Indicated	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.7	Equipment	Preventive maintenance on the equipment	reports	Indicated	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.8	Baseline disposal site	Declaration of the project participants about the disposal site that would be used in the absence of the project activity	reports	Indicated	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.9	Carbon storage	Permanence of residues in the storage site	reports	Measured	Yearly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	
D.3.10		Fraction of volatile solids in PPLTR	fraction	Measured	At least monthly or to obtain 95% of confidence.	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	After humidity is removed through mild heating, volatile solids are those which are desorpted from the PPLTR at 900°C, in the absence of oxygen.
D.3.11		Fraction of fixed carbon in PPLTR	fraction	Measured	At least monthly or to obtain 95% of confidence.	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	After the volatile solids are desorpted from the PPLTR, the fixed carbon content is estimated by heating the sample at 700°C, in the presence of oxygen.
D.3.12		Fixed/volatile ratio in PPLTR	fraction	Calculated	Monthly	100%	Electronic / paper	For the whole crediting period + 2 years	

D.4. Qualitative explanation of how quality control (QC) and quality assurance (QA) procedures are undertaken:

Data (Indicate table and ID number e.g. 3.1; 3.2)	Uncertainty level of data (High / Medium / Low)	Explain QA/QC procedures planned for those data, or why such procedures are not necessary.
Table D.3 (ID numbers 1.1, 1.9, 1.10)	Low	Data will be collected as part of normal plant level operations, QA/QC requirements consist of cross-checking these with other internal company report.
Table D.3 (ID number 3.2)	Low	Data will be collected through a separate energy meter installed to the pyrolysis facility.
Table D.3 (ID numbers 3.3, 3.4)	Low	Based on daily reports of the company outage, trucks loading at the pyrolysis facility.
Table D.3 (ID number 3.5)	Low	Based on IPCC default values. These data are available on public domain.
Table D.3 (ID number 3.6)	Low	This is a conservative assumption. So, this parameter is fixed.
Table D.3 (ID number 3.7)	Low	Records will be collected and archived by the facility maintenance staff, and will be available for auditing.
Table D.3 (ID number 3.8)	Low	Project participants will provide informations about the disposal site that would be used in the absence of the project activity.
Table D.3 (ID number 3.9)	Low	Permanence will be verified through geological measurements of the covered layers of the PPLTR disposal site.
Table D.3 (ID numbers 3.10, 3.11, 3.12)	Low	External accredited labs will conduct tests on PPLTR as proposed on table D.3.

D.5. Please describe briefly the operational and management structure that the project participant(s) will implement in order to monitor emission reductions and any leakage effects generated by the project activity:

MundusCarbo will produce, in agreement with the pyrolysis technology provider and the facility operational staff, patterned operational procedures for the plant set up and operation. All the records necessary to the monitoring plan will be systematically collected within the operations routine, which will be designed through the above procedures. Documents on maintenance and rectification done on the equipments used on this CDM project would also be collected and stay available for auditing. The reliability of the meters is checked by testing them on a yearly basis, and records related to calibrations of the equipments used on the pyrolysis facility will be archived.

Kaparaó LTDA. departments of operations, maintenance, quality control and plant head will be directly enrolled on the monitoring plan. The overall responsibility for the upkeep of equipments and records would be with the respective department heads.

MundusCarbo will provide the background information for structuring a CDM team inside Kaparaó LTDA. with those departments enrolled on the monitoring plan. This team shall be prepared under CDM principles and concepts, and after that all the procedures for plant set up and operations will be agreed. This team will be responsible for data collecting and archiving. This team will meet periodically to review CDM project activity and also to check data collected to estimate emissions reductions and carbon storage. On a monthly basis, the CDM team will compile the records related to the project activity and the plant head will submit this compiled report to MundusCarbo staff, in order to verify the consistence of data and review the monitoring plan.

Twice a year MundusCarbo staff will conduct internal audits of the CDM project compliance, in order to check the correctness of procedures and completeness of information. Reports of each internal audit performed, relating faults and corrective action taken shall be maintained and kept for external auditing.

D.6. Name of person/entity determining the monitoring methodology:

>>

Felipe Ribeiro Bittencourt
 Universidade Federal de Minas Gerais
 Belo Horizonte / Minas Gerais
 Brazil
 feliperb@gmail.com

SECTION E.: Estimation of GHG emissions by sources:**E.1. Formulae used:**

The formulae applied to estimate the baseline, project emissions and leakages are obtained from the attached proposed new methodologies. There are two different baselines, which will be calculated separately and then summed together. However, this project considers only one project emission formula. There are no leakages.

The methodologies used are:

A – Avoidance of methane production from biomass decay through controlled pyrolysis;

B – Chemical and biological stabilization of solid waste carbon content for permanent storage, through controlled pyrolysis.

Methodology A will be applied to calculate emission reductions achieved by avoiding methane production associated with LTR degradation on *ex-ante* landfill site, which are not systematically flared. Methodology B will be applied to calculate emission reductions achieved by the permanent storage of carbon content of LTR submitted to pyrolysis.

E.1.1 Selected formulae as provided in appendix B:

No currently approved methodologies are being used in this draft PDD.

E.1.2 Description of formulae when not provided in appendix B:

Both methodologies state that the emission reductions shall be considered as the difference between the baseline emissions and the sum of project emissions and leakages:

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Leakage_y)$$

Where:

ER _y	Emission reduction in the year “y” (tonnes of CO ₂ eq.)
BE _y	Baseline emissions in the year “y” (tonnes of CO ₂ equivalent)
PE _y	Project activity direct emissions in the year “y” (tonnes of CO ₂ equivalent)
Leakage _y	Leakage emissions in the year “y” (tonnes of CO ₂ equivalent)

E.1.2.1 Describe the formulae used to estimate anthropogenic emissions by sources of GHGs due to the project activity within the project boundary:

Project direct emissions in “A” and in “B” are overlapped. As the formula of the latter contain all the elements of the former, projects emissions can be calculated only through the proposed methodology

“B”. For evaluation of proposed methodology “A” separately, one shall consider only the last four components of the formula:

$$PE_y = -CS_y + PE_{y,land} + PE_{y,pyro} + PE_{y,fuel} + PE_{y,transp} + PE_{y,power}$$

Where:

- PE_y Project activity direct emissions in the year “y” (tones of CO₂ equivalent);
- $-CS_y$ Permanent captured and stored carbon in the residue after pyrolysis, submitted to the landfilling, which was originated from the biogenic waste processed by the project activity in the year “y”, measured as its fix carbon content (it is a negative parcel, measured in tones of CO₂ equivalent);
- $PE_{y,land}$ Emissions through auxiliary fossil fuel consumption due to landfilling in the year “y”;
- $PE_{y,pyro}$ Direct CO₂ emissions generated by the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste (plastics, rubber and fossil derived carbon) that would not have been incinerated in the absence of the project activity, in the year “y”. CO₂ emissions, in the year “y”, from the combustion or flaring of gases and vapors originated during the pyrolysis of the non-biogenic carbon content of the waste that would not have been incinerated in the absence of the project activity, shall be considered as well;
- $PE_{y,fuel}$ Emissions due to the consumption of auxiliary fossil fuels by the pyrolysis facility in the year “y”;
- $PE_{y,transp}$ Emissions through fossil fuel consumption due to incremental transportation activity in the year “y”;
- $PE_{y,power}$ Emissions through electricity or diesel consumption in the year “y”.

$$-CS_{y,pyro} = Q_{y,biogenic} * GE_{pyro} * FIX_{pyro} * 44/12$$

Where:

- $-CS_{y,pyro}$ Quantity of permanent captured and stored carbon in the residue after pyrolysis, submitted to the landfilling, which was originated from the biogenic waste processed by the project activity in the year “y”, measured as its fix carbon content (it is a negative parcel, measured in tones of CO₂ equivalent);
- $Q_{y,biogenic}$ Quantity of biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tones);
- GE_{pyro} Gravimetric efficiency of the pyrolysis process (factor);
- FIX_{pyro} Fraction of fixed carbon in the pyrolysed waste (factor).

Project activity emissions from landfilling activities, required to dispose residues that would not have been stored in such way without the project activity will be estimated and considered as project activity emissions.

$$PE_{y,land} = V_y * BV_{y,non-landfill} * E_{landfill}$$

Where:

- V_y Total volume of solid waste treated by pyrolysis (m³) in the year “y”;
- $BV_{y,non-landfill}$ Baseline fraction of the solid waste that would not have been submitted to landfill disposal in the in the year “y”, without the project activity;
- $E_{landfill}$ Emission factor for landfilling activities (kgCO₂/m³ of disposed waste).

$$PE_{y,fuel} = Q_{y,fuel} * E_{fuel}$$

Where:

- $Q_{y,fuel}$ Quantity of fuel used in the year “y” (tonnes);
- $E_{y,fuel}$ CO₂ emission factor for the combustion of the auxiliary fossil fuel (tonnes CO₂ per tone of fuel, according to IPCC Guidelines).

$$PE_{y,pyro} = Q_{y,non-biogenic} * E_{non-biogenic}$$

Where:

- $Q_{y,non-biogenic}$ Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tonnes);
- $E_{non-biogenic}$ CO₂ emission factor for the pyrolysis of the non-biogenic content of the waste, including the combustion of the gases produced in the process (tonnes CO₂ per tone non-biogenic waste).

Alternately,

$$PE_{y,pyro} = (Q_{y,non-biogenic} / Q_{y,total}) * Q_{y,CO2,pyr}$$

Where:

- $Q_{y,non-biogenic}$ Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tonnes of waste);
- $Q_{y,total}$ Total quantity of waste pyrolysed in the year “y” (tonnes);
- $Q_{y,CO2,pyr}$ Tonnes of CO₂ emitted by the pyrolysis process in the year “y”, including the combustion of the gases produced in the process (tonnes CO₂ per tone of non-biogenic waste).

Project activity emissions from trucks for incremental collection activities will be estimated and considered as project activity emissions.

$$PE_{y,transp} = (Q_y/CT_y) * DAF_w * EF_{CO2} + (Q_{y,pyro-residues}/CT_{y,pyro-residues}) * DAF_{pyro-residues} * EF_{CO2}$$

Where:

Q_y	Quantity of waste pyrolysed in the year “y” (tones);
CT_y	Average truck capacity for waste transportation (tones/truck);
DAF	Average incremental distance for waste transportation (km/truck);
EF_{CO2}	CO_2 emission factor from fuel use due to transportation (kg CO_2 /km, IPCC default values or local values can be used);
$Q_{y,pyro-residues}$	Quantity of pyrolysis residues produced in the year “y” (tones);
$CT_{y, pyro-residues}$	Average truck capacity for pyrolysis residues transportation (tones/truck);
$DAF_{pyro-residues}$	Average distance for pyrolysis residues transportation (km/truck).

All components of the Project Emissions formula are nil except for the Carbon Storage one (- CS_y), which is negative.

Emissions from landfilling activities ($PE_{y,land}$) are nil since all LTR was already submitted to landfilling in the baseline. It is noteworthy that fewer emissions will occur in the project activity due to landfilling, as a significant volume reduction occurs after the pyrolysis process. However, such emission reductions are not being accounted in this project activity.

Emissions from fuel usage ($PE_{y,land}$) and from direct CO_2 emissions generated by the pyrolysis ($PE_{y,pyro}$) are nil as the fuel and LTR, respectively, are renewable and therefore carbon neutral. As the storage site of PPLTR is the same of LTR, there is no incremental transportation and therefore emissions of this component ($PE_{y,transp}$) are nil. There are also no emissions relative to power consumption ($PE_{y,power}$).

E.1.2.2 Describe the formulae used to estimate leakage due to the project activity, where required, for the applicable project category in appendix B of the simplified modalities and procedures for small-scale CDM project activities

As there are no equipment transfers, leakages are nil for both methodologies.

E.1.2.3 The sum of E.1.2.1 and E.1.2.2 represents the small-scale project activity emissions:

Since there are no leakages, the small-scale project activity emissions only consist of project activity emissions within the project boundary as given in E.1.2.1.

E.1.2.4 Describe the formulae used to estimate the anthropogenic emissions by sources of GHGs in the baseline using the baseline methodology for the applicable project category in appendix B of the simplified modalities and procedures for small-scale CDM project activities:

All calculations were performed considering a monthly LTR generation of 100 tonnes ($Q_y = 12000$ tonnes).

A. Baseline of the methane avoidance component corresponds to the Yearly Methane Generation Potential and shall be calculated through the First Order Decay Model based on the discrete time estimate method proposed in the IPCC Guidelines. This model is described in AMS.III.G. The project shall not count methane destroyed or removed for legal or safety regulation.

$$BE_y = MB_y * GWP_{CH_4} - MD_{y,reg} * GWP_{CH_4}$$

where:

- MB_y methane generation potential in the year “y” (tones of CH₄), estimated as in AMS III-G;
 $MD_{y,reg}$ methane that would be destroyed or removed in the year “y” for safety or legal regulation;
 CH_4_GWP GWP for CH₄ (value of 21 is used for the first commitment period);

As in AMS.III.G, methane generation potential is calculated as follows:

$$MB_y = \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_{j=A}^D A_{j,x} \cdot DOC_j \cdot (1 - e^{-k_j}) \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)}$$

Where:

- F is fraction of methane in the landfill gas (default 0.5);
 DOC_j is per cent of degradable organic carbon (by weight) in the waste type j;
 DOC_f is fraction of DOC dissimilated to landfill gas (IPCC default 0.77);
 MCF is Methane Correction Factor (fraction, IPCC default 1.0);
 $A_{j,x}$ is amount of organic waste type j landfilled in the year x (tones/year);
 K_j is decay rate for the waste stream type j;
 j is waste type distinguished into the waste categories (from A to D), in this case, only EFB is in the waste piles;
 x is year since the landfill started receiving wastes: x runs from the first year of landfill operation (x=1) to the year for which emissions are calculated (x=y);
 y is year for which LFG emissions are calculated.

Table III.G.1. Waste stream decay rates (k_j) and associated IPCC default values for DOC_j

Waste stream A to E	Per cent DOC_j (by weight)	Decay-rate (k_j)
A. Paper and textiles	40	0.023
B. Garden and park waste and other (non-food) putrescibles	17	0.023
C. Food waste	15	0.231
D. Wood and straw waste ¹⁾	30	0.023
E. Inert material	0	0

¹⁾ Excluding lignin-C

The DOC_j for the LTR will be considered as the same as in the “Garden and park waste and other (non-food) putrescibles”. Therefore, the parameters used on the calculation of the Methane Generation Potential are as follows:

K_j	IPCC default for waste type B (others)	0,023
F	IPCC default	0,50

DOCj	IPCC default for waste type B (others)	0,17
DOCf	IPCC default	0,77
MCF	IPCC default	1,00

The *ex-ante* landfill site flares methane captured, but not systematically. Methane destruction on landfill sites is not mandatory in Brazil. However, it is considered in this PDD draft that flaring occurs at 20% efficiency. This is conservative. Therefore:

$$MD_{y,reg} = 0,2 * MD_y$$

B. The baseline emissions for the carbon storage component is calculated by the formula below:

$$BE_y = Q_{y,non-biogenic} * C_y * 44/12$$

Where:

BE _y	Baseline emissions in the year “y” (tones of CO ₂ eq.);
Q _{y,non-biogenic}	Quantity of non-biogenic waste pyrolysed in the year “y” (tones);
C _y	Fraction of the solid waste that would have been incinerated in the year “y”;

Since all LTR is submitted to a landfill, the baseline emissions for the carbon storage component of this project activity are nil.

The overall baseline scenario emissions of the present PDD draft consist of the sum of the methane avoidance and the carbon storage baseline components as calculated above.

E.1.2.5 Difference between E.1.2.4 and E.1.2.3 represents the emission reductions due to the project activity during a given period:

Emission reductions are given by the formula below:

$$ER_y = BE_y - (PE_y + Leakage_y)$$

Where:

ER _y	Emission reduction in the year “y” (tonnes of CO ₂ eq.)
BE _y	Baseline emissions in the year “y” (tones of CO ₂ equivalent)
PE _y	Project activity direct emissions in the year “y” (tones of CO ₂ equivalent)
Leakage _y	Leakage emissions in the year “y” (tones of CO ₂ equivalent)

E.2 Table providing values obtained when applying formulae above:

Years	Baseline - Methane Avoidance	Baseline - Carbon Storage	Project Emissions	Emission Reductions	Revenue (R\$)
1	40,00	0	-405,45	445,45	14.432,72
2	79,09	0	-405,45	484,55	15.699,32
3	117,30	0	-405,45	522,75	16.937,11
4	154,63	0	-405,45	560,09	18.146,77
5	191,12	0	-405,45	596,57	19.328,91
6	226,78	0	-405,45	632,23	20.484,18
7	261,62	0	-405,45	667,07	21.613,18
8	295,67	0	-405,45	701,13	22.716,51
9	328,95	0	-405,45	734,41	23.794,76
10	361,48	0	-405,45	766,93	24.848,48
TOTAL	2.056,65	0	-4.054,52	6.111,17	198.001,95

Annex 1**CONTACT INFORMATION ON PARTICIPANTS IN THE PROJECT ACTIVITY**

For information regarding this Project activity, please contact:

Felipe Ribeiro Bittencourt
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte / Minas Gerais
Brazil
feliperb@gmail.com

Annex 2**INFORMATION REGARDING PUBLIC FUNDING**

There are no public funding to this project activity.

9.4. APÊNDICE IV – Resultados dos Ensaios de Resíduo Cru

Amostra 1

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,7476	0,9995	38,5682	0,8206
Cadinho B	35,1832	1,0002	35,9986	0,8154
Cadinho C	28,7081	1,0002	29,5255	0,8174

Umidade	18,2173%
----------------	-----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9416	1,0005	37,1431	0,2015	36,9807	0,0391
Cadinho B	49,6369	0,9999	49,7722	0,1353	49,6745	0,0376
Cadinho C	24,1454	1,0003	24,3449	0,1995	24,1837	0,0383

Voláteis	63,9102%
Cinzas	3,8324%
Carbono Fixo	14,0401%

Amostra 2

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	57,7134	1,0004	58,5411	0,8277
Cadinho B	39,2358	0,9997	40,0397	0,8039
Cadinho C	15,5744	1,0004	16,3889	0,8145

Umidade	18,4769%
----------------	-----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	33,8469	1,0002	33,9959	0,1490	33,8787	0,0318
Cadinho B	51,5053	1,0001	51,7246	0,2193	51,5420	0,0367
Cadinho C	21,4701	1,0008	21,6760	0,2059	21,5098	0,0397

Voláteis	62,3901%
Cinzas	3,6053%
Carbono Fixo	15,5276%

Amostra 3

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1573	1,0000	36,9811	0,8238
Cadinho B	39,4328	0,9999	40,2505	0,8177
Cadinho C	37,5563	0,9995	38,3758	0,8195

Umidade	17,9503%
----------------	-----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3389	0,9998	36,5028	0,1639	36,3775	0,0386
Cadinho B	27,4644	1,0004	27,6799	0,2155	27,5047	0,0403
Cadinho C	24,6788	1,0006	24,8824	0,2036	24,7194	0,0406

Voláteis	62,6216%
Cinzas	3,9823%
Carbono Fixo	15,4459%

Amostra 4

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	16,7244	0,9989	17,5448	0,8204
Cadinho B	14,5831	1,0002	15,4068	0,8237
Cadinho C	44,1465	0,9994	44,9807	0,8342

Umidade	17,3487%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5776	1,0003	46,6969	0,1193	46,6172	0,0396
Cadinho B	27,0619	0,9994	27,2629	0,2010	27,1043	0,0424
Cadinho C	25,9865	1,0005	26,1803	0,1938	26,0248	0,0383

Voláteis	65,5158%
Cinzas	4,0097%
Carbono Fixo	13,1258%

Amostra 5

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,8087	1,0007	37,4376	0,6289
Cadinho B	36,6116	1,0004	37,4248	0,8132
Cadinho C	41,1179	1,0005	41,9518	0,8339

Umidade	24,1738%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,7749	1,0000	45,9451	0,1702	45,8145	0,0396
Cadinho B	22,0357	1,0000	22,2526	0,2169	22,0751	0,0394
Cadinho C	26,9553	1,0004	27,1451	0,1898	26,9933	0,0380

Voláteis	56,5988%
Cinzas	3,8995%
Carbono Fixo	15,3280%

Amostra 6

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	62,1397	1,0001	62,9557	0,8160
Cadinho B	45,0810	1,0000	45,8975	0,8165
Cadinho C	35,1741	1,0003	35,9904	0,8163

Umidade	18,3842%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,4315	0,9996	39,6166	0,1851	39,4703	0,0388
Cadinho B	36,5796	1,0002	36,7867	0,2071	36,6180	0,0384
Cadinho C	21,4709	0,9997	21,6659	0,1950	21,5101	0,0392

Voláteis	62,0392%
Cinzas	3,8806%
Carbono Fixo	15,6959%

Amostra 7

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	57,7130	0,9997	58,5314	0,8184
Cadinho B	39,2325	1,0006	40,0379	0,8054
Cadinho C	33,7185	1,0004	34,5507	0,8322

Umidade	18,1524%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,7475	1,0007	37,9153	0,1678	37,7864	0,0389
Cadinho B	49,6371	1,0007	49,8419	0,2048	49,6760	0,0389
Cadinho C	25,9862	0,9995	26,2037	0,2175	26,0265	0,0403

Voláteis	62,1835%
Cinzas	3,9355%
Carbono Fixo	15,7286%

Amostra 8

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3368	1,0008	37,1595	0,8227
Cadinho B	37,5563	1,0008	38,3764	0,8201
Cadinho C	22,0357	0,9996	22,8542	0,8185

Umidade	17,9895%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9432	0,9999	37,1153	0,1721	36,9775	0,0343
Cadinho B	45,7746	1,0001	45,9810	0,2064	45,8098	0,0352
Cadinho C	27,0622	1,0000	27,2679	0,2057	27,1019	0,0397

Voláteis	62,5369%
Cinzas	3,6400%
Carbono Fixo	15,8335%

Amostra 9

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	16,7246	1,0006	17,5481	0,8235
Cadinho B	27,4649	0,9998	28,2857	0,8208
Cadinho C	24,1458	1,0007	24,9686	0,8228

Umidade	17,7935%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	41,1171	1,0002	41,3050	0,1879	41,1538	0,0367
Cadinho B	46,5774	1,0007	46,7776	0,2002	46,6159	0,0385
Cadinho C	24,6791	1,0006	24,8999	0,2208	24,7182	0,0391

Voláteis	61,9200%
Cinzas	3,8081%
Carbono Fixo	16,4784%

Amostra 10

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	14,5834	1,0008	15,4048	0,8214
Cadinho B	28,7083	1,0000	29,5281	0,8198
Cadinho C	15,5739	1,0001	16,3952	0,8213

Umidade 17,9413%

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1579	1,0000	36,3332	0,1753	36,1965	0,0386
Cadinho B	51,5055	1,0003	51,7145	0,2090	51,5434	0,0379
Cadinho C	26,9553	1,0001	27,1791	0,2238	26,9959	0,0406

Voláteis 61,7921%

Cinzas 3,9028%

Carbono Fixo 16,3638%

Amostra 11

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	44,1460	1,0007	44,9667	0,8207
Cadinho B	33,6847	1,0002	34,4981	0,8134
Cadinho C	39,4308	1,0003	40,2495	0,8187

Umidade 18,2727%

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,7457	1,0004	37,9321	0,1864	37,7839	0,0382
Cadinho B	24,1458	1,0007	24,3682	0,2224	24,1815	0,0357
Cadinho C	24,6794	1,0006	24,8897	0,2103	24,7184	0,0390

Voláteis 61,1023%

Cinzas 3,7612%

Carbono Fixo 16,8638%

Amostra 12

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,0814	1,0001	45,9029	0,8215
Cadinho B	41,1112	1,0004	41,9238	0,8126
Cadinho C	25,9866	1,0005	26,8044	0,8178

Umidade 18,2972%

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3368	1,0007	36,5442	0,2074	36,3742	0,0374
Cadinho B	37,5555	1,0007	37,7442	0,1887	37,5946	0,0391
Cadinho C	49,6376	1,0001	49,8404	0,2028	49,6761	0,0385

Voláteis 61,7494%

Cinzas 3,8314%

Carbono Fixo 16,1219%

Amostra 13

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,5926	1,0002	37,4117	0,8191
Cadinho B	35,1731	1,0008	35,9935	0,8204
Cadinho C	26,9556	1,0005	27,7703	0,8147

Umidade 18,2342%

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1573	1,0006	36,3158	0,1585	36,1975	0,0402
Cadinho B	28,7085	1,0008	28,9154	0,2069	28,7474	0,0389
Cadinho C	27,4650	1,0006	27,6671	0,2021	27,5026	0,0376

Voláteis 62,8617%
Cinzas 3,8874%
Carbono Fixo 15,0167%

Amostra 14

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	22,0358	1,0003	22,8457	0,8099
Cadinho B	14,5834	1,0006	15,3987	0,8153
Cadinho C	39,2316	1,0007	40,0443	0,8127

Umidade 18,7800%

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,4607	1,0006	36,6188	0,1581	36,5008	0,0401
Cadinho B	51,5060	1,0005	51,7133	0,2073	51,5459	0,0399
Cadinho C	45,7751	1,0008	45,9677	0,1926	45,8136	0,0385

Voláteis 62,6318%
Cinzas 3,9475%
Carbono Fixo 14,6407%

Amostra 15

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,0623	1,0009	27,8751	0,8128
Cadinho B	15,5745	0,9999	16,3923	0,8178
Cadinho C	16,7247	1,0006	17,5440	0,8193

Umidade 18,3748%

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9437	1,0000	37,1066	0,1629	36,9810	0,0373
Cadinho B	21,4705	1,0009	21,6734	0,2029	21,5086	0,0381
Cadinho C	46,5781	1,0002	46,7635	0,1854	46,6165	0,0384

Voláteis 63,2586%
Cinzas 3,7919%
Carbono Fixo 14,5747%

Amostra 16

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	57,7138	1,0009	58,5222	0,8084
Cadinho B	62,1395	1,0003	62,9499	0,8104
Cadinho C	44,1456	1,0002	44,9639	0,8183

Umidade	18,8012%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3342	1,0001	36,5038	0,1696	36,3730	0,0388
Cadinho B	26,9550	0,9998	27,1805	0,2255	26,9963	0,0413
Cadinho C	24,6792	1,0005	24,8739	0,1947	24,7169	0,0377

Voláteis	61,5414%
Cinzas	3,9261%
Carbono Fixo	15,7312%

Amostra 17

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,5918	1,0001	37,4045	0,8127
Cadinho B	35,1686	1,0005	35,9850	0,8164
Cadinho C	33,6601	0,9999	34,4792	0,8191

Umidade	18,4069%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1568	1,0002	36,3208	0,1640	36,1942	0,0374
Cadinho B	49,6364	1,0004	49,8501	0,2137	49,6750	0,0386
Cadinho C	45,7747	1,0005	45,9688	0,1941	45,8117	0,0370

Voláteis	62,5401%
Cinzas	3,7653%
Carbono Fixo	15,2877%

Amostra 18

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,0616	1,0001	27,8738	0,8122
Cadinho B	27,4647	1,0005	28,2781	0,8134
Cadinho C	25,9859	1,0002	26,8043	0,8184

Umidade	18,5551%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3875	1,0010	36,5398	0,1523	36,4254	0,0379
Cadinho B	24,1458	1,0003	24,3549	0,2091	24,1859	0,0401
Cadinho C	21,4705	1,0002	21,6592	0,1887	21,5064	0,0359

Voláteis	63,1174%
Cinzas	3,7948%
Carbono Fixo	14,5327%

Amostra 19

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,5519	1,0009	38,3659	0,8140
Cadinho B	41,1085	1,0001	41,9252	0,8167
Cadinho C	15,5742	1,0003	16,3885	0,8143

Umidade	18,5353%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,7391	1,0008	37,9183	0,1792	37,7773	0,0382
Cadinho B	46,5771	1,0005	46,7887	0,2116	46,6154	0,0383
Cadinho C	51,5059	1,0008	51,6942	0,1883	51,5443	0,0384

Voláteis	62,1749%
Cinzas	3,8273%
Carbono Fixo	15,4625%

Amostra 20

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	28,7080	1,0000	29,5200	0,8120
Cadinho B	16,7249	1,0002	17,5435	0,8186
Cadinho C	14,5832	1,0001	15,4036	0,8204

Umidade	18,3082%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9428	0,9998	37,1330	0,1902	36,9803	0,0375
Cadinho B	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cadinho C	22,0354	1,0006	22,1946	0,1592	22,0732	0,0378

Voláteis	64,2253%
Cinzas	3,7642%
Carbono Fixo	13,7023%

Amostra 21

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	44,1453	1,0015	44,9617	0,8164
Cadinho B	36,5948	1,0028	37,4089	0,8141
Cadinho C	59,4106	1,0006	60,2300	0,8194

Umidade	18,4698%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,0618	1,0058	27,2214	0,1596	27,1043	0,0425
Cadinho B	25,9867	1,0031	26,1614	0,1747	26,0290	0,0423
Cadinho C	28,7081	1,0028	28,8738	0,1657	28,7518	0,0437

Voláteis	64,9282%
Cinzas	4,2667%
Carbono Fixo	12,3352%

Amostra 22

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,4258	1,0002	40,2426	0,8168
Cadinho B	62,1388	1,0009	62,9566	0,8178
Cadinho C	57,7118	1,0048	58,5326	0,8208

Umidade	18,3140%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	22,0360	1,0057	22,2119	0,1759	22,0786	0,0426
Cadinho B	24,6789	1,0024	24,8280	0,1491	24,7213	0,0424
Cadinho C	27,4646	1,0055	27,6350	0,1704	27,5094	0,0448

Voláteis	65,2472%
Cinzas	4,3071%
Carbono Fixo	12,1317%

Amostra 23

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3282	1,0010	37,1602	0,8320
Cadinho B	36,1563	1,0001	36,9700	0,8137
Cadinho C	37,7374	1,0003	38,5500	0,8126

Umidade	18,0949%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	21,4705	1,0047	21,6363	0,1658	21,5148	0,0443
Cadinho B	24,1452	1,0034	24,3215	0,1763	24,1876	0,0424
Cadinho C	26,9549	1,0015	27,1180	0,1631	26,9992	0,0443

Voláteis	65,1188%
Cinzas	4,3527%
Carbono Fixo	12,4335%

Amostra 24

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cadinho B	33,6542	1,0008	34,4656	0,8114
Cadinho C	37,5510	1,0013	38,3642	0,8132

Umidade	18,8552%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5772	1,0016	46,7411	0,1639	46,6190	0,0418
Cadinho B	51,5058	1,0008	51,6586	0,1528	51,5466	0,0408
Cadinho C	49,6367	1,0012	49,7936	0,1569	49,6796	0,0429

Voláteis	65,3771%
Cinzas	4,1783%
Carbono Fixo	11,5894%

Amostra 25

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	35,1698	1,0025	35,9884	0,8186
Cadinho B	46,2802	1,0036	47,0778	0,7976
Cadinho C	44,2659	1,0004	45,0855	0,8196

Umidade	18,9822%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9432	1,0048	37,0962	0,1530	36,9858	0,0426
Cadinho B	41,1072	1,0040	41,2442	0,1370	41,1477	0,0405
Cadinho C	45,7744	1,0060	45,9346	0,1602	45,8180	0,0436

Voláteis	66,0848%
Cinzas	4,2026%
Carbono Fixo	10,7304%

Amostra 26

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,2291	1,0012	40,0325	0,8034
Cadinho B	44,1455	1,0003	44,9643	0,8188
Cadinho C	45,0812	1,0012	45,9061	0,8249

Umidade	18,5033%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,2786	1,0002	36,4439	0,1653	36,3186	0,0400
Cadinho B	26,9552	1,0006	27,1651	0,2099	26,9984	0,0432
Cadinho C	25,9862	1,0002	26,1802	0,1940	26,0258	0,0396

Voláteis	62,5296%
Cinzas	4,0920%
Carbono Fixo	14,8750%

Amostra 27

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	41,0949	1,0002	41,9110	0,8161
Cadinho B	36,9446	1,0004	37,7628	0,8182
Cadinho C	36,3327	1,0015	37,1538	0,8211

Umidade	18,2106%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	33,6489	1,0012	33,8318	0,1829	33,6840	0,0351
Cadinho B	51,5060	1,0013	51,7124	0,2064	51,5436	0,0376
Cadinho C	46,5779	1,0009	46,7670	0,1891	46,6161	0,0382

Voláteis	62,5312%
Cinzas	3,6925%
Carbono Fixo	15,5657%

Amostra 28

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,0621	1,0005	27,8747	0,8126
Cadinho B	27,4652	1,0000	28,2787	0,8135
Cadinho C	28,7081	1,0012	29,5289	0,8208

Umidade	18,4829%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,7362	1,0003	37,9308	0,1946	37,7728	0,0366
Cadinho B	24,1455	0,9999	24,3501	0,2046	24,1866	0,0411
Cadinho C	22,0360	1,0005	22,2200	0,1840	22,0770	0,0410

Voláteis	62,0817%
Cinzas	3,9557%
Carbono Fixo	15,4797%

Amostra 29

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	44,2646	1,0010	45,0858	0,8212
Cadinho B	36,5944	1,0007	37,4106	0,8162
Cadinho C	35,1665	1,0002	35,9895	0,8230

Umidade	18,0386%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,4263	1,0018	39,6264	0,2001	39,4660	0,0397
Cadinho B	49,6379	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cadinho C	45,7746	1,0003	45,9600	0,1854	45,8147	0,0401

Voláteis	62,7066%
Cinzas	3,9858%
Carbono Fixo	15,2690%

Amostra 30

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	15,5743	0,9999	16,3876	0,8133
Cadinho B	16,7250	1,0007	17,5445	0,8195
Cadinho C	14,5853	1,0008	15,4076	0,8223

Umidade	18,2015%
----------------	-----------------

Mufila	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,5502	1,0009	37,7545	0,2043	37,5914	0,0412
Cadinho B	24,6796	1,0005	24,8564	0,1768	24,7212	0,0416
Cadinho C	21,4712	1,0008	21,6746	0,2034	21,5130	0,0418

Voláteis	62,3294%
Cinzas	4,1503%
Carbono Fixo	15,3188%

9.5. APÊNDICE V – Resultados dos Ensaios de Resíduo Pirolisado

Amostra 1

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,4640	1,0003	28,4017	0,9377
Cadinho B	24,6773	1,0019	25,6129	0,9356
Cadinho C	26,9536	1,0020	27,8935	0,9399

Umidade 6,3578%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5764	1,0005	47,1981	0,6217	46,68	0,1036
Cadinho B	45,7741	0,9991	46,3093	0,5352	45,875	0,1009
Cadinho C	51,5037	1,0006				

Voláteis 35,7857%
Cinzas 10,2270%
Carbono Fixo 47,6295%

Amostra 2

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	21,4679	1,0001	22,4075	0,9396
Cadinho B	27,0591	0,9999	27,9995	0,9404
Cadinho C	28,7072	1,0003	29,6341	0,9269

Umidade 6,4460%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	22,0341	1,0008	22,6961	0,6620	22,1370	0,1029
Cadinho B	25,9851	1,0006	26,5918	0,6067	26,0880	0,1029
Cadinho C	24,1439	1,0009	24,6315	0,4876	24,2450	0,1011

Voláteis 35,0555%
Cinzas 10,2222%
Carbono Fixo 48,2763%

Amostra 3

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	24,6779	0,9999	25,6035	0,9256
Cadinho B	28,7080	1,0004	29,6324	0,9244
Cadinho C	27,0604	1,0008	27,9860	0,9256

Umidade 7,5139%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	24,145	0,9999	24,8018	0,6568	24,2474	0,1024
Cadinho B						
Cadinho C	25,9865	1,0005	26,6343	0,6478	26,1008	0,1143

Voláteis 27,2691%
Cinzas 10,8328%
Carbono Fixo 54,3841%

Amostra 4

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	25,9191	1,0005		
Cadinho B	27,4643	1,0005	28,3849	0,9206
Cadinho C	21,4685	1,0003	22,3879	0,9194

Umidade	8,0368%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5780	1,0005	47,2633	0,6853	46,6809	0,1029
Cadinho B	49,6371	1,0011	50,3113	0,6742	49,7408	0,1037
Cadinho C	45,7760	1,0009	46,4016	0,6256	45,8755	0,0995

Voláteis	25,8483%
Cinzas	10,1948%
Carbono Fixo	55,9201%

Amostra 5

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,4643	1,0001	28,3862	0,9219
Cadinho B	24,1448	1,0000	25,0691	0,9243
Cadinho C	22,0346	0,9998	22,9598	0,9252

Umidade	7,6169%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,7755	1,0000	46,4294	0,6539	45,8941	0,1186
Cadinho B	49,6373	1,0002	50,3358	0,6985	49,7559	0,1186
Cadinho C	46,5778	0,9998	47,2716	0,6938	46,6942	0,1164

Voláteis	24,9913%
Cinzas	11,7512%
Carbono Fixo	55,6406%

Amostra 6

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	28,7079	1,0004	29,6290	0,9211
Cadinho B	24,6779	0,9994	25,6003	0,9224
Cadinho C	25,9890	0,9999	26,9129	0,9239

Umidade	7,6527%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	27,0602	1,0001	27,7236	0,6634	27,1811	0,1209
Cadinho B	21,4684	0,9993	22,1535	0,6851	21,5866	0,1182
Cadinho C	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Voláteis	24,9021%
Cinzas	11,9586%
Carbono Fixo	55,4866%

Amostra 7

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,4405	1,0008	40,3798	0,9393
Cadinho B	36,3449	0,9999	37,2806	0,9357
Cadinho C	36,9422	1,0001	37,8784	0,9362

Umidade 6,3183%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	24,6774	1,0003	25,3359	0,6585	24,7833	0,1059
Cadinho B	21,4686	1,0000	22,1525	0,6839	21,5796	0,1110
Cadinho C	27,0614	1,0012	27,7802	0,7188	27,1739	0,1125

Voláteis 25,0094%
Cinzas 10,9745%
Carbono Fixo 57,6978%

Amostra 8

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1588	1,0002	37,0971	0,9383
Cadinho B	37,2427	1,0004	38,1708	0,9281
Cadinho C	57,7138	1,0005	58,6556	0,9418

Umidade 6,4276%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	22,0342	1,0003	22,7195	0,6853	22,1394	0,1052
Cadinho B	25,9880	1,0003	26,7185	0,7305	26,0995	0,1115
Cadinho C	24,1441	1,0007	24,8750	0,7309	24,2536	0,1095

Voláteis 22,0467%
Cinzas 10,8686%
Carbono Fixo 60,6570%

Amostra 9

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	14,5833	1,0002	15,5098	0,9265
Cadinho B	35,1820	1,0001	36,1067	0,9247
Cadinho C	54,5513	1,0004	55,4877	0,9364

Umidade 7,1017%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	28,7074	1,0008	29,3404	0,6330	28,8135	0,1061
Cadinho B	27,4636	1,0006	28,1104	0,6468	27,5674	0,1038
Cadinho C	49,6364	1,0003	50,3046	0,6682	49,7405	0,1041

Voláteis 28,0018%
Cinzas 10,4607%
Carbono Fixo 54,4358%

Amostra 10

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	78,3308	1,0007	79,2682	0,9374
Cadinho B	61,0956	1,0010	61,9948	0,8992
Cadinho C	60,5574	1,0005	61,4599	0,9025

Umidade	8,7636%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	51,5035	1,0011	52,1393	0,6358	51,6089	0,1054
Cadinho B	46,5767	1,0002	47,2145	0,6378	46,6800	0,1033
Cadinho C	26,9533	1,0002	27,5879	0,6346	27,0588	0,1055

Voláteis	27,6615%
Cinzas	10,4681%
Carbono Fixo	53,1068%

Amostra 11

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	62,1401	1,0009	63,0678	0,9277
Cadinho B	33,8911	1,0002	34,8147	0,9236
Cadinho C	61,3339	1,0006	62,2105	0,8766

Umidade	9,1215%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	35,7624	1,0009	36,4045	0,6421	35,8656	0,1032
Cadinho B	45,7740	1,0001	46,4066	0,6326	45,8761	0,1021
Cadinho C	15,5753	1,0002	16,2179	0,6426	15,6783	0,1030

Voláteis	26,9941%
Cinzas	10,2726%
Carbono Fixo	53,6119%

Amostra 12

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,6908	1,0007	37,6089	0,9181
Cadinho B	54,5516	0,9999	55,4764	0,9248
Cadinho C	45,0812	1,0005	46,0051	0,9239

Umidade	7,8071%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5765	1,0004	47,2465	0,6700	46,6868	0,1103
Cadinho B	25,9865	1,0000	26,6647	0,6782	26,0976	0,1111
Cadinho C	27,0614	1,0002	27,7162	0,6548	27,1709	0,1095

Voláteis	25,4395%
Cinzas	11,0278%
Carbono Fixo	55,7255%

Amostra 13

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	61,3240	1,0005	62,2113	0,8873
Cadinho B	37,2172	0,9998	38,1453	0,9281
Cadinho C	33,8702	1,0006	34,7985	0,9283

Umidade 8,5708%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	35,7585	0,9998	36,3954	0,6369	35,8662	0,1077
Cadinho B	28,7078	1,0000	29,3595	0,6517	28,8174	0,1096
Cadinho C	27,4641	1,0001	28,1110	0,6469	27,5732	0,1091

Voláteis 26,9104%
Cinzas 10,8804%
Carbono Fixo 53,6385%

Amostra 14

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	60,5692	1,0008	61,4532	0,8840
Cadinho B	61,0949	1,0009	61,9938	0,8989
Cadinho C	57,7135	1,0004	58,6353	0,9218

Umidade 9,9064%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,7740	1,0008	46,4155	0,6415	45,8833	0,1093
Cadinho B	22,0345	1,0002	22,7072	0,6727	22,1446	0,1101
Cadinho C	26,9541	1,0006	27,5986	0,6445	27,0635	0,1094

Voláteis 24,8384%
Cinzas 10,9542%
Carbono Fixo 54,3010%

Amostra 15

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	62,1395	1,0006	63,0633	0,9238
Cadinho B	36,9424	1,0006	37,8655	0,9231
Cadinho C	36,3432	1,0005	37,2736	0,9304

Umidade 7,4758%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	49,6367	1,0004	50,2782	0,6415	49,7439	0,1072
Cadinho B	36,1587	1,0007	36,8363	0,6776	36,2694	0,1107
Cadinho C	21,4694	1,0001	22,1231	0,6537	21,5820	0,1126

Voláteis 26,7905%
Cinzas 11,0123%
Carbono Fixo 54,7214%

Amostra 16

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,4370	0,9997	40,3680	0,9310
Cadinho B	14,5836	1,0007	15,5158	0,9322
Cadinho C	15,5753	0,9999	16,5005	0,9252

Umidade 7,0626%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	51,5045	0,9998	52,1399	0,6354	51,6174	0,1129
Cadinho B	24,6780	0,9997	25,3515	0,6735	24,7910	0,1130
Cadinho C	24,1444	0,9993	24,7919	0,6475	24,2562	0,1118

Voláteis 27,6979%
Cinzas 11,2612%
Carbono Fixo 53,9783%

Amostra 17

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,7500	1,0007	38,6800	0,9300
Cadinho B	37,5661	1,0003	38,4971	0,9310
Cadinho C	41,1375	1,0013	42,0701	0,9326

Umidade 6,9513%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	24,6786	1,0002	25,3198	0,6412	24,8026	0,1240
Cadinho B	22,0353	1,0002	22,7304	0,6951	22,1560	0,1207
Cadinho C	28,7086	1,0001	29,4085	0,6999	28,8274	0,1188

Voláteis 25,1866%
Cinzas 12,1146%
Carbono Fixo 55,7474%

Amostra 18

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1585	1,0004	37,0907	0,9322
Cadinho B	33,8651	1,0004	34,7963	0,9312
Cadinho C	36,9432	1,0001	37,8872	0,9440

Umidade 6,4481%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	21,4704	1,0000	22,1783	0,7079	21,5903	0,1199
Cadinho B	26,9553	1,0012	27,6133	0,6580	27,0686	0,1133
Cadinho C	27,0616	1,0001	27,7432	0,6816	27,1823	0,1207

Voláteis 25,3315%
Cinzas 11,7916%
Carbono Fixo 56,4289%

Amostra 19

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	15,5748	1,0007	16,4959	0,9211
Cadinho B	36,3438	1,0002	37,2694	0,9256
Cadinho C	37,2098	1,0004	38,1399	0,9301

Umidade	7,4801%
---------	---------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	25,9867	1,0001	26,6841	0,6974	26,1116	0,1249
Cadinho B	24,1455	1,0000	24,8202	0,6747	24,2648	0,1193
Cadinho C						

Voláteis	23,9183%
Cinzas	12,2094%
Carbono Fixo	56,3922%

Amostra 20

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	57,7149	1,0003	58,6477	0,9328
Cadinho B	62,1409	1,0011	63,0760	0,9351
Cadinho C	61,3325	1,0000	62,2196	0,8871

Umidade	8,2095%
---------	---------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5780	1,0009	47,2550	0,6770	46,6962	0,1182
Cadinho B	49,6391	1,0005	50,3406	0,7015	49,7576	0,1185
Cadinho C						

Voláteis	22,9137%
Cinzas	11,8267%
Carbono Fixo	57,0501%

Amostra 21

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	14,5835	1,0001	15,5109	0,9274
Cadinho B	45,0811	1,0011	46,0095	0,9284
Cadinho C	36,6920	1,0009	37,6212	0,9292

Umidade	7,2316%
---------	---------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	51,5062	1,0010	52,1785	0,6723	51,6170	0,1108
Cadinho B	35,7504	1,0007	36,4100	0,6596	35,8629	0,1125
Cadinho C	39,4378	1,0003	40,1401	0,7023	39,5509	0,1131

Voláteis	25,0069%
Cinzas	11,2059%
Carbono Fixo	56,5556%

Amostra 22

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9432	0,9997	37,8659	0,9227
Cadinho B	37,7493	0,9996	38,6703	0,9210
Cadinho C	33,8585	1,0005	34,7865	0,9280

Umidade 7,6038%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,7753	1,0005	46,4365	0,6612	45,8826	0,1073
Cadinho B	26,9554	0,9996	27,6282	0,6728	27,0629	0,1075
Cadinho C	24,6789	1,0007	25,3226	0,6437	24,7848	0,1059

Voláteis 26,4904%
Cinzas 10,6872%
Carbono Fixo 55,2186%

Amostra 23

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	39,4353	1,0001	40,3602	0,9249
Cadinho B	41,1284	1,0002	42,0535	0,9251
Cadinho C	37,2037	0,9995	38,1279	0,9242

Umidade 7,5205%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	51,5059	1,0008	52,1530	0,6471	51,6099	0,1040
Cadinho B	22,0360	1,0007	22,6989	0,6629	22,1420	0,1060
Cadinho C	25,9867	1,0000	26,6290	0,6423	26,0925	0,1058

Voláteis 27,4354%
Cinzas 10,5214%
Carbono Fixo 54,5227%

Amostra 24

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1582	0,9996	37,0837	0,9255
Cadinho B	36,3431	1,0004	37,2713	0,9282
Cadinho C	14,5837	0,9997	15,5107	0,9270

Umidade 7,3007%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	35,7419	1,0003	36,3942	0,6523	35,8444	0,1025
Cadinho B	27,0622	1,0004	27,7401	0,6779	27,1687	0,1065
Cadinho C	27,4648	1,0003	28,1162	0,6514	27,5713	0,1065

Voláteis 26,6679%
Cinzas 10,5132%
Carbono Fixo 55,5182%

Amostra 25

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	62,1407	1,0000	63,0660	0,9253
Cadinho B	57,7142	1,0007	58,6428	0,9286
Cadinho C	15,5747	1,0001	16,5009	0,9262

Umidade	7,3547%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	49,6379	1,0006	50,3071	0,6692	49,7428	0,1049
Cadinho B	24,1454	1,0003	24,8198	0,6744	24,2537	0,1083
Cadinho C	46,5778	0,9996	47,2380	0,6602	46,6823	0,1045

Voláteis	25,8631%
Cinzas	10,5882%
Carbono Fixo	56,1940%

Amostra 26

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,0820	1,0008	46,0109	0,9289
Cadinho B	35,1823	1,0007	36,1089	0,9266
Cadinho C	36,6916	1,0005	37,6195	0,9279

Umidade	7,2818%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,5646	1,0006	38,1939	0,6293	37,6683	0,1037
Cadinho B	21,4703	1,0004	22,1546	0,6843	21,5780	0,1077
Cadinho C	28,7089	1,0007	29,3567	0,6478	28,8148	0,1059

Voláteis	27,3752%
Cinzas	10,5707%
Carbono Fixo	54,7723%

Amostra 27

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,3590	1,0008	47,2772	0,9182
Cadinho B	39,4348	1,0006	40,3867	0,9519
Cadinho C	16,7253	1,0006	17,6713	0,9460

Umidade	6,1925%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,3432	1,0004	37,0032	0,6600	36,4659	0,1227
Cadinho B	49,6380	1,0009	50,3346	0,6966	49,7622	0,1242
Cadinho C	24,1458	1,0003	24,8492	0,7034	24,2732	0,1274

Voláteis	25,1774%
Cinzas	12,4700%
Carbono Fixo	56,1600%

Amostra 28

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	45,0819	1,0007	46,0317	0,9498
Cadinho B	33,8504	1,0008	34,7837	0,9333
Cadinho C	14,5837	1,0004	15,5252	0,9415

Umidade 5,9063%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,1583	1,0003	36,8422	0,6839	36,2807	0,1224
Cadinho B	45,7755	1,0006	46,4869	0,7114	45,9046	0,1291
Cadinho C	27,4652	1,0002	28,1574	0,6922	27,5936	0,1284

Voláteis 24,5359%
Cinzas 12,6587%
Carbono Fixo 56,8991%

Amostra 29

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	41,1194	1,0004	42,0594	0,9400
Cadinho B	39,2279	1,0007	40,1508	0,9229
Cadinho C	37,7489	1,0007	38,7065	0,9576

Umidade 6,0397%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,1852	1,0005	37,8482	0,6630	37,2993	0,1141
Cadinho B	26,9554	1,0001	27,6508	0,6954	27,0848	0,1294
Cadinho C	22,0358	1,0006	22,7095	0,6737	22,1611	0,1253

Voláteis 26,2507%
Cinzas 12,2884%
Carbono Fixo 55,4212%

Amostra 30

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	37,5592	1,0002	38,4940	0,9348
Cadinho B	35,1807	1,0004	36,1164	0,9357
Cadinho C	36,6083	1,0008	37,5497	0,9414

Umidade 6,3137%

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	51,5062	1,0003	52,2108	0,7046	51,6331	0,1269
Cadinho B	24,6791	1,0006	25,3698	0,6907	24,8086	0,1295
Cadinho C	25,9868	1,0009	26,6344	0,6476	26,1144	0,1276

Voláteis 25,6304%
Cinzas 12,7923%
Carbono Fixo 55,2635%

Amostra 31

Estufa	Antes retirada da água		Após retirada da água	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	36,9430	1,0008	37,8782	0,9352
Cadinho B	15,5748	1,0005	16,5041	0,9293
Cadinho C	28,7087	1,0002	29,6349	0,9262

Umidade	7,0232%
----------------	----------------

Mufra	Antes retirada dos voláteis + água		Após retirada dos voláteis + água		Após retirada do Carbono fixo	
	Peso (C) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g	Peso (C+R) /g	Peso (R) /g
Cadinho A	46,5786	0,9997	47,2405	0,6619	46,7029	0,1243
Cadinho B	27,0625	1,0002	27,7555	0,6930	27,1907	0,1282
Cadinho C	21,4706	0,9999	22,1534	0,6828	21,5988	0,1282

Voláteis	25,0490%
Cinzas	12,6908%
Carbono Fixo	55,2370%

10. ANEXOS

10.1. ANEXO I – Definição de Biomassa Renovável

Annex 18

definition of renewable biomass

Biomass is renewable if one of the following five conditions applies:

1. The biomass is originating from land areas that are **forests**^[1] where:
 - (a) The land area remains a forest; and
 - (b) Sustainable management practices are undertaken on these land areas to ensure, in particular, that the level of carbon stocks on these land areas does not systematically decrease over time (carbon stocks may temporarily decrease due to harvesting); and
 - (c) Any national or regional forestry and nature conservation regulations are complied with.
2. The biomass is **woody biomass** and originates from **croplands and/or grasslands** where:
 - (a) The land area remains cropland and/or grasslands or is reverted to forest; and
 - (b) Sustainable management practices are undertaken on these land areas to ensure in particular that the level of carbon stocks on these land areas does not systematically decrease over time (carbon stocks may temporarily decrease due to harvesting); and
 - (c) Any national or regional forestry, agriculture and nature conservation regulations are complied with.
3. The biomass is **non-woody** biomass and originates from **croplands and/or grasslands** where:
 - (a) The land area remains cropland and/or grasslands or is reverted to forest; and
 - (b) Sustainable management practices are undertaken on these land areas to ensure in particular that the level of carbon stocks on these land areas does not systematically decrease over time (carbon stocks may temporarily decrease due to harvesting); and

(c) Any national or regional forestry, agriculture and nature conservation regulations are complied with.

4. The biomass is a **biomass residue**^[2] and the use of that biomass residue in the project activity does not involve a decrease of carbon pools, in particular dead wood, litter or soil organic carbon, on the land areas where the biomass residues are originating from. For example, if bagasse from sugar production would in the absence of the CDM be dumped or left to decay and is used for energy generation under the CDM, it can be assumed that the use of the bagasse does not affect the sugar cane cultivation practices and hence the carbon pools of the respective soils. In contrast, where a CDM project involves the collection of dead wood from a forest, which would not be collected in the absence of the CDM, the extracted biomass cannot be regarded as renewable, since it would result in a decrease of carbon stocks.

5. The biomass is the non-fossil fraction of an **industrial** or **municipal waste**.

Otherwise, where none of these conditions applies, the biomass is considered as “*non-renewable*”.

^[1] The forest definitions as established by the country in accordance with the decisions 11/CP.7 and 19/CP.9 should apply.

^[2] Biomass residue is defined as biomass by-products, residues and waste streams from agriculture, forestry, and related industries. (Please refer to Annex 8 of the report of the twentieth meeting of the Executive Board, see <http://cdm.unfccc.int/EB/Meetings/020/eb20rep.pdf>).

10.2. ANEXO II – Metodologia AMS.III.G



**Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories**

III.G. Landfill Methane Recovery (cont)

TYPE III - OTHER PROJECT ACTIVITIES

Project participants shall take into account the general guidance to the methodologies, information on additionality, abbreviations and general guidance on leakage provided at <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html>.

III.G. Landfill Methane Recovery

Technology/measure

1. This project category comprises measures to capture and combust methane from landfills (i.e., solid waste disposal sites) used for disposal of residues from human activities including municipal, industrial, and other solid wastes containing biodegradable organic matter.
2. If the recovered methane is used for heat or electricity generation the project can use a corresponding methodology under type I project activities.
3. Measures are limited to those that result in emission reductions of less than or equal to 60 kt CO₂ equivalent annually.

Boundary

4. The project boundary is the physical, geographical site of the landfill where the gas is captured and destroyed/used.

Yearly Methane Generation Potential

5. The estimation of the methane emission potential of a solid waste disposal site ($BE_{CH_4,SWDS}$, in tCO₂e) shall be undertaken using the "Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site", found on the CDM website¹. The tool may be used with the oxidation factor (OX = 0.0), assuming no oxidation of methane in the covering layers, and the factor "F=0.0" assuming that no methane is captured and flared. The amount of waste type "j" deposited in each year "x" ($W_{j,x}$) shall be determined by sampling (as specified in the tool), in the case wastes are generated during the crediting period. Alternatively, for existing SWDS, if the pre-existing amount and composition of the wastes in the landfill are unknown, they can be estimated by using parameters related to the attended population or industrial activity, or by comparison with other landfills with similar conditions in regional or national levels.

Project Activity Emissions

6. Project activity emissions consist of CO₂ emissions related to the power used by the project activity facilities. Emission factors for electricity shall be calculated as described in category I.D.

¹ <http://cdm.unfccc.int/Reference/Guideclarif>



**Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories**

II.G. Landfill Methane Recovery (cont)

Baseline

7. The baseline scenario is the situation where, in the absence of the project activity, biomass and other organic matter are left to decay within the project boundary and methane is emitted to the atmosphere. Baseline emissions shall exclude methane emissions that would have to be removed to comply with national or local safety requirement or legal regulations:

$$BE_y = BE_{CH_4,SWDS,y} - MD_{MS,y}$$

Where:

$MD_{MS,y}$ methane emissions that would be captured and destroyed to comply with national or local safety requirement or legal regulations in the year "y" (tCO₂e)

Leakage

8. If the methane recovery technology is equipment transferred from another activity or if the existing equipment is transferred to another activity, leakage effects are to be considered.

Monitoring

9. Emission reductions achieved by the project activity in each year will be assessed ex-post through direct measurement of the amount of methane fuelled or flared. The maximal emission reduction in any year is limited to the yearly methane generation potential calculated in the project design document for that year.

10. The amount of methane recovered and fuelled or flared shall be monitored ex-post, using continuous flow meters. The fraction of methane in the landfill gas should be measured with a continuous analyser or, alternatively, with periodical measurements at a 95% confidence level. Temperature and pressure of the landfill gas are required to determine the density of methane combusted.

11. Regular maintenance should ensure optimal operation of flares. The flare efficiency, defined as the fraction of time in which the gas is combusted in the flare, multiplied by the efficiency of the flaring process, shall be monitored. One of the two following options shall be used to determine the efficiency of the flaring process in an enclosed flare:

- a. To adopt a 90% default value or
- b. To perform a continuous monitoring of the efficiency.²

If option (a) is chosen, continuous check of compliance with the manufacturers specification of the flare device (temperature, biogas flow rate) should be done. If in any specific hour any of the parameters is out of the range of specifications, 50% of default value should be used for this specific hour. For open flare 50% default value should be used, as it is not possible in this case to monitor the efficiency. If at any given time the temperature of the flare is below 500^oC, 0% default value should be used for this period.

12. The emission reduction achieved by the project activity can be estimated ex-ante in the PDD by:

² The procedures described in the Methodological Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane shall be used.



**Indicative simplified baseline and monitoring methodologies
for selected small-scale CDM project activity categories**

III.G. Landfill Methane Recovery (cont)

$$ER_{y,estimated} = BE_y - PE_y - Leakage$$

The actual emission reduction achieved by the project during the crediting period will be calculated using the amount of methane recovered and destroyed by the project activity, calculated as:

$$ER_{y,calculated} = MD_y - MD_{reg,y} - PE_y - Leakage$$

Where:

MD_y methane captured and destroyed by the project activity in the year "y" (tCO₂ e), that will be measured using the conditions of the flaring process:

$$MD_y = LFG_{burnt,y} * w_{CH_4} * D_{CH_4} * FE * GWP_{CH_4}$$

Where:

$LFG_{burnt,y}$ landfill gas³ flared or used as fuel in the year "y" (m³).

w_{CH_4} methane content⁴ in landfill gas in the year "y" (mass fraction).

D_{CH_4} density of methane at the temperature and pressure of the landfill gas in the year "y" (tonnes/m³).

FE flare efficiency in the year "y" (fraction).

13. The method for integration of the terms in equation above to obtain the results for one year of measurements within the confidence level, as well as the methods and instruments used for metering, recording and processing the data obtained, shall be described in the project design document and monitored during the crediting period.

14. Flow meters, sampling devices and gas analysers shall be subject to regular maintenance, testing and calibration to ensure accuracy.

³ Landfill gas and methane content measurements shall be on the same basis (wet or dry)

10.3. ANEXO III – Ferramenta Metodológica para Cálculo de Metano em Aterros



Annex 14

Methodological tool

“Tool to determine methane emissions avoided from dumping waste at a solid waste disposal site”

I. SCOPE, APPLICABILITY AND PARAMETERS

Scope and applicability

This tool calculates baseline emissions of methane from waste that would in the absence of the project activity be disposed at solid waste disposal sites (SWDS). Emission reductions are calculated with a first order decay model. The tool is applicable in cases where the solid waste disposal site where the waste would be dumped can be clearly identified. The tool is not applicable to hazardous wastes.

Parameters

This tool provides procedures to determine the following parameters:

Parameter	SI Unit	Description
$BE_{CH_4,SWDS,y}$	tCO ₂ e	Methane emissions avoided during the year y from preventing waste disposal at the solid waste disposal site during the period from the start of the project activity to the end of the year y (tCO ₂ e)

II. BASELINE METHODOLOGY PROCEDURE

The amount of methane that would in the absence of the project activity be generated from disposal of waste at the solid waste disposal site ($BE_{CH_4,SWDS,y}$) is calculated with a multi-phase model. The calculation is based on a first order decay (FOD) model. The model differentiates between the different types of waste j with respectively different decay rates k_j and different fractions of degradable organic carbon (DOC _{j}). The model calculates the methane generation based on the actual waste streams $W_{j,x}$ disposed in each year x , starting with the first year after the start of the project activity until the end of the year y , for which baseline emissions are calculated (years x with $x = 1$ to $x = y$).

In cases where at the SWDS methane is captured (e.g. due to safety regulations) and flared, combusted or used in another manner, the baseline emissions are adjusted for the fraction of methane captured at the SWDS.

The amount of methane produced in the year y ($BE_{CH_4,SWDS,y}$) is calculated as follows:

(1)

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi \cdot \left(\frac{16}{12} \right) \cdot f \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_j \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-x)} \cdot \left(1 - e^{-k_j} \right)$$



Where:

$BE_{CH_4,SWDS,y}$	= Methane emissions avoided during the year y from preventing waste disposal at the solid waste disposal site (SWDS) during the period from the start of the project activity to the end of the year y (tCO_2e)
ϕ	= Model correction factor to account for model uncertainties (0.9)
f	= Fraction of methane captured at the SWDS and flared, combusted or used in another manner
GWP_{CH_4}	= Global Warming Potential (GWP) of methane, valid for the relevant commitment period
OX	= Oxidation factor (reflecting the amount of methane from SWDS that is oxidised in the soil or other material covering the waste)
F	= Fraction of methane in the SWDS gas (volume fraction) (0.5)
DOC_t	= Fraction of degradable organic carbon (DOC) that can decompose
MCF	= Methane correction factor
$W_{j,x}$	= Amount of organic waste type j prevented from disposal in the SWDS in the year x (tons)
DOC_j	= Fraction of degradable organic carbon (by weight) in the waste type j
k_j	= Decay rate for the waste type j
j	= Waste type category (index)
x	= Year during the crediting period: x runs from the first year of the first crediting period ($x = 1$) to the year y for which avoided emissions are calculated ($x = y$)
y	= Year for which methane emissions are calculated

Where different waste types j are prevented from disposal, determine the amount of different waste types ($W_{j,x}$) through sampling and calculate the mean from the samples, as follows:

$$W_{j,x} = W_x \cdot \frac{\sum_{n=1}^z p_{n,j,x}}{z} \quad (2)$$

Where:

$W_{j,x}$	= Amount of organic waste type j prevented from disposal in the SWDS in the year x (tons)
W_x	= Total amount of organic waste prevented from disposal in year x (tons)
$p_{n,j,x}$	= Weight fraction of the waste type j in the sample n collected during the year x
z	= Number of samples collected during the year x

Changes required for methodology implementation in 2nd and 3rd crediting periods

At the renewal of the crediting period, the following data should be updated according to default values suggested in the most recently published IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories:

- Oxidation factor (OX);
- Fraction of methane in the SWDS gas (F);
- Fraction of degradable organic carbon (DOC) that can decompose (DOC_t);
- Methane correction factor (MCF);
- Fraction of degradable organic carbon (by weight) in each waste type j (DOC_j);



- Decay rate for the waste type j (k_j).

Respectively, if the most recent IPCC Guidelines suggest different categorization of waste types, solid waste disposal sites or climate conditions, these should be applied respectively.

Data and parameters not monitored

Data / parameter:	ϕ
Data unit:	-
Description:	Model correction factor to account for model uncertainties
Value to be applied:	0.9
Any comment:	Oonk et al. (1994) have validated several landfill gas models based on 17 realized landfill gas projects. The mean relative error of multi-phase models was assessed to be 18%. Given the uncertainties associated with the model and in order to estimate emission reductions in a conservative manner, a discount of 10% is applied to the model results.

Data / parameter:	OX
Data unit:	-
Description:	Oxidation factor (reflecting the amount of methane from SWDS that is oxidized in the soil or other material covering the waste)
Source of data:	Conduct a site visit at the solid waste disposal site in order to assess the type of cover of the solid waste disposal site. Use the IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories for the choice of the value to be applied.
Value to be applied:	Use 0.1 for managed solid waste disposal sites that are covered with oxidizing material such as soil or compost. Use 0 for other types of solid waste disposal sites.
Any comment:	



Data / parameter:	F
Data unit:	-
Description:	Fraction of methane in the SWDS gas (volume fraction)
Source of data:	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Value to be applied:	0.5
Any comment:	This factor reflects the fact that some degradable organic carbon does not degrade, or degrades very slowly, under anaerobic conditions in the SWDS. A default value of 0.5 is recommended by IPCC.

Data / parameter:	DOC_f
Data unit:	-
Description:	Fraction of degradable organic carbon (DOC) that can decompose
Source of data:	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Value to be applied:	0.5
Any comment:	

Data / parameter:	MCF
Data unit:	-
Description:	Methane correction factor
Source of data:	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
Value to be applied:	Use the following values for MCF: <ul style="list-style-type: none"> • 1.0 for anaerobic managed solid waste disposal sites. These must have controlled placement of waste (i.e., waste directed to specific deposition areas, a degree of control of scavenging and a degree of control of fires) and will include at least one of the following: (i) cover material; (ii) mechanical compacting; or (iii) leveling of the waste. • 0.5 for semi-aerobic managed solid waste disposal sites. These must have controlled placement of waste and will include all of the following structures for introducing air to waste layer: (i) permeable cover material; (ii) leachate drainage system; (iii) regulating pondage; and (iv) gas ventilation system. • 0.8 for unmanaged solid waste disposal sites – deep and/or with high water table. This comprises all SWDS not meeting the criteria of managed SWDS and which have depths of greater than or equal to 5 meters and/or high water table at near ground level. Latter situation corresponds to filling inland water, such as pond, river or wetland, by waste. • 0.4 for unmanaged-shallow solid waste disposal sites. This comprises all SWDS not meeting the criteria of managed SWDS and which have depths of less than 5 metres.
Any comment:	The methane correction factor (MCF) accounts for the fact that unmanaged SWDS produce less methane from a given amount of waste than managed SWDS, because a larger fraction of waste decomposes aerobically in the top layers of unmanaged



	SWDS.
--	-------

Data / parameter:	DOC_j		
Data unit:	-		
Description:	Fraction of degradable organic carbon (by weight) in the waste type <i>j</i>		
Source of data:	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (adapted from Volume 5, Tables 2.4 and 2.5)		
Values to be applied:	Apply the following values for the different waste types <i>j</i> :		
	Waste type <i>j</i>	DOC_j (% wet waste)	DOC_j (% dry waste)
	Wood and wood products	43	50
	Pulp, paper and cardboard (other than sludge)	40	44
	Food, food waste, beverages and tobacco (other than sludge)	15	38
	Textiles	24	30
	Garden, yard and park waste	20	49
	Glass, plastic, metal, other inert waste	0	0
	If a waste type, prevented from disposal by the proposed CDM project activity, can not clearly be attributed to one of the waste types in the table above, project participants should choose among the waste types that have similar characteristics that waste type where the values of <i>DOC_j</i> and <i>k_j</i> result in a conservative estimate (lowest emissions), or request a revision of / deviation from this methodology.		
Any comment:			



Data / parameter:	k_j																													
Data unit:	-																													
Description:	Decay rate for the waste type j																													
Source of data:	IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (adapted from Volume 5, Table 3.3)																													
Values to be applied:	<p>Apply the following default values for the different waste types j</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Waste type j</th> <th colspan="2">Boreal and Temperate (MAT\leq20°C)</th> <th colspan="2">Tropical (MAT$>$20°C)</th> </tr> <tr> <th>Dry (MAP/PET <1)</th> <th>Wet (MAP/PET >1)</th> <th>Dry (MAP < 1000mm)</th> <th>Wet (MAP > 1000mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Slowly degrading Pulp, paper, cardboard (other than sludge), textiles</td> <td>0.04</td> <td>0.06</td> <td>0.045</td> <td>0.07</td> </tr> <tr> <td>Wood, wood products and straw</td> <td>0.02</td> <td>0.03</td> <td>0.025</td> <td>0.035</td> </tr> <tr> <td>Moderately degrading Other (non-food) organic putrescible garden and park waste</td> <td>0.05</td> <td>0.10</td> <td>0.065</td> <td>0.17</td> </tr> <tr> <td>Rapidly degrading Food, food waste, beverages and tobacco (other than sludge)</td> <td>0.06</td> <td>0.185</td> <td>0.085</td> <td>0.40</td> </tr> </tbody> </table> <p>NB: MAT – mean annual temperature, MAP – Mean annual precipitation, PET – potential evapotranspiration. MAP/PET is the ratio between the mean annual precipitation and the potential evapotranspiration.</p> <p>If a waste type, prevented from disposal by the proposed CDM project activity, can not clearly be attributed to one of the waste types in the table above, project participants should choose among the waste types that have similar characteristics that waste type where the values of DOC_j and k_j result in a conservative estimate (lowest emissions), or request a revision of f / deviation from this methodology.</p>	Waste type j	Boreal and Temperate (MAT \leq 20°C)		Tropical (MAT $>$ 20°C)		Dry (MAP/PET <1)	Wet (MAP/PET >1)	Dry (MAP < 1000mm)	Wet (MAP > 1000mm)	Slowly degrading Pulp, paper, cardboard (other than sludge), textiles	0.04	0.06	0.045	0.07	Wood, wood products and straw	0.02	0.03	0.025	0.035	Moderately degrading Other (non-food) organic putrescible garden and park waste	0.05	0.10	0.065	0.17	Rapidly degrading Food, food waste, beverages and tobacco (other than sludge)	0.06	0.185	0.085	0.40
Waste type j	Boreal and Temperate (MAT \leq 20°C)		Tropical (MAT $>$ 20°C)																											
	Dry (MAP/PET <1)	Wet (MAP/PET >1)	Dry (MAP < 1000mm)	Wet (MAP > 1000mm)																										
Slowly degrading Pulp, paper, cardboard (other than sludge), textiles	0.04	0.06	0.045	0.07																										
	Wood, wood products and straw	0.02	0.03	0.025	0.035																									
Moderately degrading Other (non-food) organic putrescible garden and park waste	0.05	0.10	0.065	0.17																										
Rapidly degrading Food, food waste, beverages and tobacco (other than sludge)	0.06	0.185	0.085	0.40																										
Any comment:	Document in the CDM-PDD the climatic conditions at the SWDS site (temperature, precipitation and, where applicable, evapotranspiration). Use long-term averages based on statistical data, where available. Provide references.																													

**III. MONITORING METHODOLOGY PROCEDURE****Monitoring procedures**

Monitoring involves an annual assessment of the conditions at the solid waste disposal site (SWDS) where the waste would in the absence of the project activity be dumped. Methane emissions from preventing disposal of waste at the SWDS can only be claimed if there is no gas from the SWDS being captured and flared or combusted.

Data and parameters monitored

Data / parameter:	f
Data unit:	-
Description:	Fraction of methane captured at the SWDS and flared, combusted or used in another manner
Source of data:	Written information from the operator of the solid waste disposal site and/or site visits at the solid waste disposal site
Measurement procedures (if any):	-
Monitoring frequency:	Annually
QA/QC procedures:	-
Any comment:	

Data / parameter:	GWP_{CH₄}
Data unit:	tCO ₂ e / t CH ₄
Description:	Global Warming Potential (GWP) of methane, valid for the relevant commitment period
Source of data:	Decisions under UNFCCC and the Kyoto Protocol (a value of 21 is to be applied for the first commitment period of the Kyoto Protocol)
Monitoring frequency:	Annually
Any comment:	

Data / parameter:	W_x
Data unit:	tons
Description:	Total amount of organic waste prevented from disposal in year x (tons)
Source of data:	Measurements by project participants
Measurement procedures (if any):	
Monitoring frequency:	Continuously, aggregated at least annually
QA/QC procedures:	
Any comment:	

Data / parameter:	p_{n,j,x}
Data unit:	-
Description:	Weight fraction of the waste type j in the sample n collected during the year x



Source of data:	Sample measurements by project participants
Measurement procedures (if any):	Sample the waste prevented from disposal, using the waste categories j , as provided in the table for DOC_j and k_j , and weigh each waste fraction.
Monitoring frequency:	The size and frequency of sampling should be statistically significant with an maximum uncertainty range of 20% at a 95% confidence level. As a minimum, sampling should be undertaken four times per year.
QA/QC procedures:	
Any comment:	This parameter only needs to be monitored if the waste prevented from disposal includes several waste categories j , as categorized in the tables for DOC_j and k_j .

Data / parameter:	z
Data unit:	-
Description:	Number of samples collected during the year x
Source of data:	Project participants
Monitoring frequency:	Continuously, aggregated annually
QA/QC procedures:	
Any comment:	This parameter only needs to be monitored if the waste prevented from disposal includes several waste categories j , as categorized in the tables for DOC_j and k_j .

References and any other information

Oonk H., Weenk A., Coops O., Luning L. (1994) Validation of landfill gas formation models; EWAB 9427; NOVEM, Utrecht, The Netherlands.

10.4. ANEXO IV – GWP dos GEEs

Annex C (informative)

Greenhouse gas global warming potentials

Table C.1 provides various GWPs for a 100-year time horizon published by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in their 1996 reporting guidelines for national GHG gas inventories^[6].

Table C.1 — GHG global warming potentials

Gas	Chemical formula	Global warming potential (from Reference [6])
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	21
Nitrous oxide	N ₂ O	310
Hydrofluorocarbons (HFCs)		
HFC-23	CHF ₃	11 700
HFC-32	CH ₂ F ₃	650
HFC-41	CH ₃ F	150
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1 300
HFC-125	C ₂ HF ₅	2 800
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1 000
HFC-134a	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1 300
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CHF ₂ CH ₂ F)	300
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃ (CF ₃ CH ₃)	3 800
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	140
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	2 900
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6 300
HFC 245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560
Hydrofluoroethers (HFEs)		
HFE-7100	C ₄ F ₉ OCH ₃	500
HFE-7200	C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅	100
Perfluorocarbons (PFCs)		
Perfluoromethane (tetrafluoromethane)	CF ₄	6 500
Perfluoroethane (hexafluoroethane)	C ₂ F ₆	9 200
Perfluoropropane	C ₃ F ₈	7 000
Perfluorobutane	C ₄ F ₁₀	7 000
Perfluorocyclobutane	c-C ₄ F ₈	8 700
Perfluoropentane	C ₅ F ₁₂	7 500
Perfluorohexane	C ₆ F ₁₄	7 400
Sulfur hexafluoride	SF ₆	23 900

10.5. ANEXO V – Temperaturas nos Ensaios de Pirólise

PLANILHA DE TESTE DE CARBONIZAÇÃO DE RESÍDUOS

DADOS GERAIS

EMPRESA:	ENGENHO NOVE
DATA:	20/11/2006
ORIGEM DO RESÍDUO:	RESÍDUO DE COURO
PESO:	34.700 G
DENSIDADE:	180,729 KG/M3

DADOS OPERACIONAIS:

IGNIÇÃO DO COMBUSTOR (HORA):	09:25 H
COMBUSTÍVEL UTILIZADO:	CAVACO DE MADEIRA
DENSIDADE DO RESÍDUO (ENTRADA):	180,729 KG/M3
DENSIDADE DO RESÍDUO (SAÍDA):	233,929 KG/3
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL:	140 KG

PERFIL DE TEMPERATURA (°C)				
HORA	REATOR	TOPO DO REATOR	POS-QUEIMA	EXAUSTAO
10:00	251	126	726	350
10:15	354	201	716	351
10:30	428	247	730	352
10:45	456	261	719	358
11:00	479	272	794	564
11:15	505	292	752	369
11:30	534	302	804	367
11:45	532	309	768	370
12:00	539	310	820	371
12:15	544	308	745	367
12:30	545	312	808	372
12:45	554	319	854	375
13:00	567	329	890	379
13:15	591	333	836	380
13:30	601	319	782	358
13:45	598	325	821	354
14:00	603	329	866	358
14:15	618	321	706	357
14:30	595	297	799	356
14:45	564	290	805	354
15:00	547	291	827	360
15:15	542	295	777	356
15:30	541	296	778	358
15:45	532	294	781	353
16:00	532	290	764	357

PERFIL DE TEMPERATURA (°C)				
HORA	REATOR	TOPO DO REATOR	PÓS-QUEIMA	EXAUSTÃO
16:15	533	294	779	350
16:30	533	296	784	344
16:45	534	294	779	345
17:00	536	301	775	340
17:15	533	294	786	344
17:30	536	294	778	346
17:45	528	301	762	344
18:00	561	303	772	345
18:15	619	301	786	346
18:30	634	305	807	346
18:45	642	304	801	345
19:00	656	306	787	343

PLANILHA DE TESTE DE CARBONIZAÇÃO DE RESÍDUOS

DADOS GERAIS

EMPRESA: ENGENHO NOVE
DATA: 21/11/2006
ORIGEM DO RESÍDUO: RESÍDUO DE COURO
PESO: 34.700 G
DENSIDADE:

DADOS OPERACIONAIS:

IGNIÇÃO DO COMBUSTOR (HORA): 09:40 H
COMBUSTÍVEL UTILIZADO: CAVACO DE MADEIRA
DENSIDADE DO RESÍDUO (ENTRADA): 34.700 GR
DENSIDADE DO RESÍDUO (SAÍDA): 6.900 GR
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL: 120 KG

PERFIL DE TEMPERATURA (°C)				
HORA	REATOR	TOPO DO REATOR	POS-QUEIMA	EXAUSTAO
10:00	215	130	676	350
10:15	323	214	680	332
10:30	364	247	701	345
10:45	412	267	699	353
11:00	447	276	696	357
11:15	461	282	690	349
11:30	475	288	746	354
11:45	490	294	765	361
12:00	502	298	771	357
12:15	505	290	770	351
12:30	505	293	756	348
12:45	504	296	762	348
13:00	505	296	777	350
13:15	510	246	767	352
13:30	498	281	757	338
13:45	490	281	775	342
14:00	494	287	773	346
14:15	500	291	761	345
14:30	505	291	765	342
14:45	511	294	762	344
15:00	517	296	779	345
15:15	521	292	770	344
15:30	523	292	760	343
15:45	525	293	762	344
16:00	528	293	755	344

PERFIL DE TEMPERATURA (°C)				
HORA	REATOR	TOPO DO REATOR	PÓS-QUEIMA	EXAUSTÃO
16:15	529	292	859	347
16:30	539	301	759	344
16:45	539	293	775	330
17:00	546	296	822	341
17:15	557	294	789	341
17:30	561	294	805	338
17:45	561	290	802	3335
18:00	558	284	859	338
18:15	558	291	767	336
18:30	556	289	758	333
18:45	550	283	778	328
19:00	489	273	751	310

10.6. ANEXO VI - Produção de Lixo Urbano

TABLE 2.3
MSW COMPOSITION DATA BY PERCENT - REGIONAL DEFAULTS

Region	Food waste	Paper/cardboard	Wood	Textiles	Rubber/leather	Plastic	Metal	Glass	Other
Asia									
Eastern Asia	26.2	18.8	3.5	3.5	1.0	14.3	2.7	3.1	7.4
South-Central Asia	40.3	11.3	7.9	2.5	0.8	6.4	3.8	3.5	21.9
South-Eastern Asia	43.5	12.9	9.9	2.7	0.9	7.2	3.3	4.0	16.3
Western Asia & Middle East	41.1	18.0	9.8	2.9	0.6	6.3	1.3	2.2	5.4
Africa									
Eastern Africa	53.9	7.7	7.0	1.7	1.1	5.5	1.8	2.3	11.6
Middle Africa	43.4	16.8	6.5	2.5		4.5	3.5	2.0	1.5
Northern Africa	51.1	16.5	2	2.5		4.5	3.5	2	1.5
Southern Africa	23	25	15						
Western Africa	40.4	9.8	4.4	1.0		3.0	1.0		
Europe									
Eastern Europe	30.1	21.8	7.5	4.7	1.4	6.2	3.6	10.0	14.6
Northern Europe	23.8	30.6	10.0	2.0		13.0	7.0	8.0	
Southern Europe	36.9	17.0	10.6						
Western Europe	24.2	27.5	11.0						
Oceania									
Australia and New Zealand	36.0	30.0	24.0						
Rest of Oceania	67.5	6.0	2.5						
America									
North America	33.9	23.2	6.2	3.9	1.4	8.5	4.6	6.5	9.8
Central America	43.8	13.7	13.5	2.6	1.8	6.7	2.6	3.7	12.3
South America	44.9	17.1	4.7	2.6	0.7	10.8	2.9	3.3	13.0
Caribbean	46.9	17.0	2.4	5.1	1.9	9.9	5.0	5.7	3.5

2.2.1 Municipal Solid Waste (MSW)

Municipal waste is generally defined as waste collected by municipalities or other local authorities. However, this definition varies by country. Typically, MSW includes:

- Household waste;
- Garden (yard) and park waste; and
- Commercial/institutional waste.

The regional default composition data for MSW is given in Section 2.3.1.

Default data

Region-specific default data on per capita MSW generation and management practices are provided in Table 2.1. These data are estimated based on country-specific data from a limited number of countries in the regions (see Annex 2A.1). These data are based on weight of wet waste³ and can be assumed to be applicable for the year 2000. Waste generation per capita for subsequent or earlier years can be estimated using the guidance on how to estimate historical emissions from SWDS in Chapter 3, Section 3.2.2, and the methods for extrapolation and interpolation using drivers in Chapter 6, Time Series Consistency, in Volume 1, General Guidance and Reporting.

Region	MSW Generation Rate ^{1,2,3} (tonnes/cap/yr)	Fraction of MSW disposed to SWDS	Fraction of MSW incinerated	Fraction of MSW composted	Fraction of other MSW management, unspecified ⁴
Asia					
Eastern Asia	0.37	0.55	0.26	0.01	0.18
South-Central Asia	0.21	0.74	-	0.05	0.21
South-East Asia	0.27	0.59	0.09	0.05	0.27
Africa⁵	0.29	0.69	-	-	0.31
Europe					
Eastern Europe	0.38	0.90	0.04	0.01	0.02
Northern Europe	0.64	0.47	0.24	0.08	0.20
Southern Europe	0.52	0.85	0.05	0.05	0.05
Western Europe	0.56	0.47	0.22	0.15	0.15
America					
Caribbean	0.49	0.83	0.02	-	0.15
Central America	0.21	0.50	-	-	0.50
South America	0.26	0.54	0.01	0.003	0.46
North America	0.65	0.58	0.06	0.06	0.29
Oceania⁶	0.69	0.85	-	-	0.15

¹ Data are based on weight of wet waste.

² To obtain the total waste generation in the country, the per-capita values should be multiplied with the population whose waste is collected. In many countries, especially developing countries, this encompasses only urban population.

³ The data are default data for the year 2000, although for some countries the year for which the data are applicable was not given in the reference, or data for the year 2000 were not available. The year for which the data are collected, where available, is given in the Annex 2A.1.

⁴ Other, unspecified, includes data on recycling for some countries.

⁵ A regional average is given for the whole of Africa as data are not available for more detailed regions within Africa.

⁶ Data for Oceania are based only on data from Australia and New Zealand.

³ Wet waste is not treated before measuring, while dry weight is estimated after drying waste under certain temperature, ventilation and time conditions before measuring. In the conversions in this Volume (see e.g., Table 2.4) the assumption is that no moisture is left in the dry matter.