

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

HÉBER SOARES CAIXETA

**MODELAGEM E AVALIAÇÃO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE
GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA INDÚSTRIA DE FIBRAS
SINTÉTICAS.**

Poços de Caldas/MG
2016

HÉBER SOARES CAIXETA

**MODELAGEM E AVALIAÇÃO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE
GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA INDÚSTRIA DE FIBRAS
SINTÉTICAS.**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG – *Campus* Poços de Caldas - MG. Área de concentração: Monitoramento Ambiental.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Neves Mendes
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Felipe Ramos Turci

C138m Caixeta, Héber Soares.

Modelagem e avaliação de redução de emissão de gases de efeito estufa em uma indústria de fibras sintéticas / Héber Soares Caixeta. – Poços de Caldas, 2016.

73 f. –

Orientadora: Patrícia Neves Mendes.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2016.

Bibliografia.

1. Mercado de emissão de carbono. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Modelagem de dados. 4. Monitoramento Ambiental. I. Mendes, Patrícia Neves. II. Título.

CDD: 628

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por colocar em meu caminho todas as pessoas que compartilharam desse momento de minha vida e me ajudaram.

À Universidade Federal de Alfenas, *campus* Poços de Caldas, e à Coordenação do Curso de Pós-Graduação, pela oportunidade oferecida.

Aos Professores Doutores Patrícia Neves Mendes, orientadora e Luiz Felipe Ramos Turci, coorientador, pela atenção, dedicação, confiança e conhecimento transmitido.

À empresa parceira do projeto, representada pelo funcionário Luciano Gileno, pelo apoio no fornecimento de dados e orientações.

Aos Professores Doutores do Programa de Pós Graduação que acrescentaram muitos conhecimentos e valores.

A Secretária da Pós Graduação do Mestrado em Ciências e Engenharia Ambiental, Kênia, pela assistência ao longo do mestrado.

À meus Pais, Silas e Neuza, meus irmãos, Niane e Silas Jr., a minha namorada, Sara, por todo apoio e paciência.

Aos amigos da Unifal, que compartilharam diversos momentos ao longo dos períodos letivos.

Aos companheiros de república que me suportaram ao longo da Graduação e posteriormente me abrigaram nos períodos finais do Mestrado.

CAIXETA, H. S. **Modelagem e avaliação de redução de emissão de gases de efeito estufa em uma indústria de fibras sintéticas**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2016.

RESUMO

O Protocolo de Kyoto é um acordo, que prevê metas de redução, criado por países industrializados para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEE), decorrente do desenvolvimento acelerados desses países. Em países em desenvolvimento o acordo tem a intenção de direcioná-los para um desenvolvimento sustentável de sua indústria. Muitos projetos de redução de GEE estão sendo elaborados, sendo que a troca de óleo combustível, o tratamento de resíduos sólidos e utilização de matéria prima reciclada são algumas das medidas que podem efetuar essa redução. A Empresa Parceira do projeto, que atua no ramo de fibras sintéticas e resina, tem essa preocupação com o desenvolvimento sustentável e tem tomado medidas para redução dos seus GEE. Por isso, o trabalho de tem como objetivo elaborar um inventário de carbono e analisar as emissões de GEE, antes e depois das medidas de redução, de uma indústria de fibras sintéticas e resina. Em dialogo com a Empresa Parceira foi possível identificar as fontes emissoras e as medidas de redução tomadas. Foram utilizadas metodologias de contabilização de GEE e avaliadores de qualidade de modelos para avaliação dos dados. De posse das emissões contabilizadas, através das metodologias, foi observado, através de análise estatística, que uma troca do tipo de combustível nas caldeiras de processamento de fluido quente, reduziu a emissão de gases da empresa. Essa redução torna viável a entrada da empresa no Mercado Voluntário de Carbono, porque gera uma receita maior do que o gasto para sua contabilização certificada, ou seja, lucro. Com os dados cedidos pela empresa foi proposto um modelo que descreve qual a relação da produção com a emissão de GEE, o que facilita previsões de futuros negócios e tomadas de decisão pela empresa. Por fim foi elaborada uma Linha de Base para contabilizar a redução de emissão devido a instalação de uma recicladora de PET, que pode aumentar a quantidade de emissões reduzidas pela empresa. A troca de óleo combustível foi relevante na redução de emissões, é viável a entrada da empresa no Mercado Voluntário de Carbono, pois o lucro foi provado, existe um modelo que representa a relação da produção pela emissão de gases, a reciclador tem um grande potencial de incrementar o total da contabilização de GEE e foi elaborado um tutorial do Inventário de Carbono da Empresa Parceira.

Palavras chaves: Mercado Voluntário de Carbono. Contabilização. Lucro. Modelo.

CAIXETA, H. S. **Modelagem e avaliação de redução de emissão de gases de efeito estufa em uma indústria de fibras sintéticas**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2016.

ABSTRACT

The Kyoto Protocol is an agreement on reduction targets created by industrialized countries to reduce greenhouse gas (GHG) emissions resulted from the rapid development of these countries. In developing countries, the agreement purpose is to direct them toward the sustainable development of their industry. Many GHG reduction projects are being developed, among which changing of fuel, solid waste treatment, use of recycled raw materials are some of the measures that can affect this reduction. This projects partner company, which operates in the field of synthetic fibers and resin, is concerned about sustainable development and has taken steps to reduce its GHG emissions. Therefore, this work aims to draw up company carbon inventory and analyze GHG emissions, before and after the reduction measures. In a dialogue with the partner company, it was possible to identify the sources of emissions and the reduction measures taken. GHG accounting methodologies, and model quality indicators were used to evaluate the ensembled data. Once in possession of the accounted emissions, statistical analysis showed that changing the type of fuel in hot fluid processing boilers reduced the company's GHG emissions. This reduction enables the company's entry into the Voluntary Carbon Market because it generates more revenues than expenses for its certified accounting, i.e., it is profitable. A model was proposed using the data given by the company, which describes the ratio of production to GHG emissions, facilitating future business forecasts and decision making by the company. Finally, a baseline was created to account for emission reductions due to the installation of a PET recycler, which can decrease the company's emissions. In summary, this work shows that changing fuel oil was relevant in reducing emissions; the company's entry into the Voluntary Carbon Market is feasible, because profitability has been proven; there is a model the represents the ratio of production to GHG emissions; the recycler has the potential to expand the total GHG account; and a tutorial of the Partner Company Carbon Inventory was prepared.

Keywords: Voluntary Carbon Market. Accounting. Profit. Model.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Gráfico da evolução histórica de transações no mercado voluntário de carbono entre 2005 e 2014. | 15 |
| Figura 2 - Municípios com coleta seletiva no Brasil. | 30 |
| Figura 3 - Evolução da reciclagem de PET no Brasil entre 2004 e 2012. | 30 |
| Figura 4 - Cadeia do ciclo de vida do PET reciclado. | 31 |
| Figura 5 - Evolução da emissão total de do tCO ₂ e entre 2007 e 2014. | 40 |
| Figura 6 - Representação gráfica da relação tonelada equivalente de carbono pela produção total entre os anos de 2007 e 2014. | 41 |
| Figura 7 - Cotação do Credito de Carbono, em Dólares, negociados no Mercado Voluntário entre 2005 e 2014. | 45 |
| Figura 8 - Gráfico da relação produção da linha L1 e geração de tCO ₂ e nos anos de 2013 e 2014. | 47 |
| Figura 9 - Visualização do modelo, disposição dos dados reais (preto) em relação aos dados gerados pelo modelo (vermelho). | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Geração de tCO ₂ e em cada fonte emissora da empresa entre 2007 e 2014..... | 39 |
| Tabela 2 - Dados da taxa de emissão tCO ₂ e/produção nos anos de 2007 a 2014..... | 40 |
| Tabela 3 - Correlação entre emissão individual de cada fonte e o total emitido entre 2007 e 2014. | 42 |
| Tabela 4 - Porcentagem de cada fonte em relação ao tCO ₂ e total entre 2007 e 2014. | 42 |
| Tabela 5 - ANOVA da taxa média de tCO ₂ e em função dos anos de produção..... | 43 |
| Tabela 6 - Comparação de médias. | 43 |
| Tabela 7 - Redução de emissão atribuída a mudança da matriz energética entre os anos de 2012 e 2014..... | 44 |
| Tabela 8 - Correlação entre a produção de cada produto e o total de tCO ₂ e entre os anos de 2007 e 2014..... | 46 |
| Tabela 9 - Correlação entre as linhas de produção e o total de tCO ₂ e entre os anos de 2007 e 2014. | 46 |
| Tabela 10- Modelos de emissão de tCO ₂ e em função da produção de cada linha. | 47 |
| Tabela 11- Valores de cada parâmetro e suas respectivas significâncias para cada modelo. .. | 48 |
| Tabela 12- Modelos de emissão de tCO ₂ e em função da produção total. | 48 |
| Tabela 13- Valores de cada parâmetro e suas respectivas significâncias para cada modelo em relação a produção total. | 48 |
| Tabela 14- Testes de análise de qualidade do modelo. | 49 |
| Tabela 15- Valores dos fatores usados no exemplo de calculo de BE _y , de uma linha de base. 50 | |
| Tabela 16- Valores dos fatores usados no exemplo de calculo de EC _y e FC _y , de uma linha de base. | 51 |
| Tabela 17- Valores dos fatores usados no exemplo de calculo de P _y , de uma linha de base... 51 | |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

| | |
|-------------------------|--|
| AIC | -Critério de Informação de Akaike |
| AND | -Autoridade Nacional Designada |
| BIC | -Critério de Informação Bayesiano |
| CE | -Comércio e Emissão |
| COP3 | -Conferência das Partes |
| DPR | -Desvio Padrão Residual |
| DW | -Teste de Durbin-Watson |
| GEE | -Gases de Efeito Estufa |
| GHG | - <i>Greenhouse Gas</i> |
| GLP | -Gás Liquefeito de Petróleo |
| IC | -Implementação Conjunta |
| IPCC | -Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas |
| logLik | -LogLikelihood |
| MDL | -Mecanismo de Desenvolvimento Limpo |
| MR | -Mercado Regulado de Carbono |
| MV | -Mercado Voluntário de Carbono |
| ONG | -Organização Não Governamental |
| PET | -Politereftalato de etileno |
| PK | -Protocolo de Kyoto |
| RCE | -Reduções Certificadas de Emissão |
| tCO_{2e} | -Toneladas equivalentes de Carbono |
| UNFCCC | - <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> |
| UQA | -Unidade de Quantidade Atribuída |
| URE | -Unidade de Redução de Emissão |
| VER | -Reduções de Emissões Voluntárias |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | JUSTIFICATIVA | 15 |
| 3 | OBJETIVOS | 18 |
| 3.1 | OBJETIVO GERAL..... | 18 |
| 3.2 | OBJETIVO ESPECÍFICO..... | 18 |
| 4 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 19 |
| 4.1 | PROTOCOLO DE KYOTO (PK) | 19 |
| 4.2 | CONTABILIZAÇÃO DE EMISSÃO DE GEE | 20 |
| 4.2.1 | Contabilização de GEE no Brasil e no mundo..... | 20 |
| 4.2.2 | Inventário de Carbono: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)..... | 21 |
| 4.2.3 | Inventário De Carbono: <i>GHG Protocol</i> | 22 |
| 4.3 | MERCADO DE CARBONO | 24 |
| 4.3.1 | Mecanismos de Flexibilização | 24 |
| 4.3.2 | Linha de Base | 26 |
| 4.3.3 | Créditos de Carbono | 27 |
| 4.3.4 | Mercado Regulado..... | 27 |
| 4.3.5 | Mercado Voluntário..... | 28 |
| 4.3.6 | <i>Standards</i> | 28 |
| 4.4 | IMPACTOS E RECICLAGEM DO PET | 29 |
| 4.4.1 | Reciclagem de PET no Brasil | 29 |
| 4.4.2 | Ciclo de vida do PET | 30 |
| 4.4.3 | Impacto da reciclagem no ciclo de vida do PET | 32 |
| 5 | METODOLOGIA..... | 33 |
| 6 | RESULTADOS..... | 38 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.1 | DEFINIÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO DE GEE | 38 |
| 6.2 | LEVANTAMENTO DE DADOS DAS FONTES DE EMISSÃO DE GEE..... | 38 |
| 6.3 | CONTABILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE tCO ₂ e | 39 |
| 6.4 | ANÁLISE DO IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO BPF POR GÁS NATURAL | 42 |
| 6.5 | ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA INGRESSO NO MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO | 44 |
| 6.6 | MODELAGEM DE EMISSÃO DE tCO ₂ e EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO | 45 |
| 6.7 | LINHA DE BASE PARA CÁLCULO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE PROMOVIDA PELA RECICLADORA DE PET..... | 50 |
| 7 | CONCLUSÃO | 52 |
| | REFERÊNCIAS | 53 |
| | APÊNDICE A – Tutorial da Ferramenta <i>GHG Protocol</i> | 57 |
| | APÊNDICE B – Linha de Base | 67 |

1 INTRODUÇÃO

Em 1997, na Conferência das Partes (COP3) no Japão, foi redigido, após intensas negociações, o Protocolo de Kyoto (PK), que estipula uma meta de redução de, em média, 5% nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em comparação às emissões de 1990, no período de 1990 a 2012. A meta de redução para cada um dos países signatários é proporcional a emissão de GEE do país ao longo dos anos, ou seja, quanto mais gases o país emitiu, maior é a sua meta de redução. Tal proporcionalidade torna o Protocolo de Kyoto um acordo de responsabilidade comum, porém diferenciada (UNFCCC, 1998).

Os países do Anexo I do PK são os países que juntos representavam 55% das emissões de GEE, e os quais são responsáveis por cumprirem a meta de redução, ficando aos demais países em a responsabilidade de participarem dessa redução de forma voluntária (UNFCCC, 1998). No segundo período de compromisso (2013-2020), após renovação do PK em 2012, as partes comprometeram-se a reduzir as emissões em pelo menos 18%, em média, em relação a 1990, porém o número de países que aderiram foi menor quando comparado ao primeiro acordo do PK (UNFCCC, 2013).

O PK também criou, como consequência de sua aplicação, uma nova atividade econômica, o Mercado de Carbono. Esse mercado possibilitou aos países do Anexo I do PK comercializarem os Créditos de Carbono que conseguiram além da sua meta de redução, ou seja, se um país conseguir reduzir em 20% suas emissões, a partir de 2013, ele poderá comercializar 2%, uma vez que a meta de redução estipulada pelo PK é de 18%. Esse Mercado de Carbono é chamado de Mercado Regulado de Carbono (MR) (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012).

Para participar do MR é necessário seguir algumas normas e alguns mecanismos que auxiliam tanto na contabilização dos GEE quanto na sua negociação. Os mecanismos são: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), Comércio de Emissão (CE), Implementação Conjunta (IC) (CGEE, 2010). Há uma longa sequência de normas exigidas para um projeto de MDL, tais como: elaborar o documento de concepção de Projeto (utilizando metodologias de linha de base e plano de monitoramento aprovado); validação (averiguar se o projeto está sujeito a regulamentação do PK); aprovação pela Autoridade Nacional Designada (AND); submissão do projeto ao Conselho Executivo para registro do mesmo; monitoramento; certificação (obtenção dos certificados de redução) (CGEE, 2010).

Nesse cenário, paralelo ao MR, surgiu Mercado Voluntário de Carbono (MV). No começo, o MV era usado principalmente pelos países não signatários ao PK, como os Estados Unidos e, ao passar do tempo, o MV tornou-se uma alternativa ao dispendioso MR. Governos de países em desenvolvimento e empresas privadas tem a oportunidade de participarem do Mercado de Carbono mundial, apesar de que esses créditos não valerem para as metas de redução dos países do Anexo I do PK (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012).

Para comércio desses ativos no MV é necessário que as reduções sigam regulamentos e metodologias desenvolvidas pelos *Standards*, que são entidades (independente do sistema das Nações Unidas) que fiscalizam os projetos de redução de GEE e certificam as toneladas equivalentes de carbono (tCO₂e) em créditos de carbono (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012).

O surgimento do MV possibilitou o comércio de um número significativo de ativos de carbono através de diversos agentes como governos, ONG e empresas. Mas, o que tornou o MV um mercado com credibilidade foi a comercialização de seus ativos via Bolsa de Valores, onde os ativos de carbono recebem um número de série das entidades certificadoras (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012). Dessa forma um ativo não poderá ser vendido duas vezes no mercado, dando ainda mais credibilidade ao mercado paralelo, que junto ao Mercado Regulado operam seguindo as mesmas bases conceituais (HAMRICK, 2015).

Com o passar dos anos, ferramentas foram surgindo ou se atualizando para contabilizar a emissão de GEE. Um exemplo é o caso do Programa Brasileiro *Greenhouse Gas (GHG) Protocol*, que tem como principal objetivo promover “uma cultura corporativa de caráter voluntário para identificação, o cálculo e a elaboração de inventários de emissões de GEE” (GHG-PROTOCOL, 2004, p. 9). Essa metodologia proporciona à empresa que a executa uma série de benefícios, como vantagens competitivas, melhoria nas relações com públicos de interesse, registro de dados e condições para participar nos mercados de carbono.

Seguindo essas premissas, este trabalho tem como objetivo principal elaborar um inventário de carbono, seguindo as orientações metodológicas do Programa Brasileiro *GHG Protocol*, a fim de contabilizar as reduções de GEE já realizadas pela empresa parceira do projeto e avaliar sua entrada no MV. A partir do inventário, objetiva-se a construção de um modelo matemático para previsão de emissão mensal. O cálculo de previsão de emissão é importante para subsidiar a empresa na assinatura de contratos de venda para empresas que definam metas de emissão para fornecedores. Além disso, objetiva-se contabilizar a redução

de emissão de GEE devido ao projeto para substituição de matéria-prima virgem por matéria-prima reciclada; o que requererá a elaboração de uma Linha de Base específica.

2 JUSTIFICATIVA

Sabe-se que existem diversas ferramentas que possibilitam uma empresa gerar renda através da redução dos GEE, podendo ser através da venda direta dos ativos de carbono ou créditos de carbono. Cada tCO₂e reduzida corresponde a um crédito de carbono; ou pela valorização das ações/ativos da empresa junta às bolsas de valores, e ainda podendo a empresa aproveitar-se do marketing ambiental que lhe cabe como empresa sustentável ou empresa com responsabilidade ambiental.

Para justificar a execução deste projeto, mostra-se na Figura 1- Gráfico da evolução histórica de transações no mercado voluntário de carbono entre 2005 e 2014. a evolução do mercado voluntário de carbono no mundo. Apresenta um cenário quantitativo, indicando valores praticados no mercado de carbono e o volume de tCO₂e comercializado de 2005 a 2014, que totalizou um montante comercializado de mais de 4 bilhões de dólares no período (linha vermelha). Pode-se notar um crescimento das transações entre 2005 e 2011, período de validade do PK; mesmo depois de 2011, os montantes comercializados representaram altas cifras.

A seguir, apresenta-se um estudo de caso de venda de créditos de carbono, o Grupo Votorantim Cimento. Consideraram-se duas cotações. A primeira, de um Leilão de Venda de Reduções Certificadas de Emissão (RCE) realizado pela BM&FBovespa S.A. – Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros, no dia 12 de junho de 2012 sob o Edital nº 001/2012, o leilão iniciou com o preço mínimo de €2,70 t/CO₂e e fechou o pregão alcançando os €3,30 pela tCO₂e (BM&FBOVESPA, 2012). Uma consulta ao sítio de internet Investing.com (20/11/2014) foi especulado que o valor das Futuras Emissões de Carbono (CFL2Z4) alcançaria um valor de €6,98 por tCO₂e.

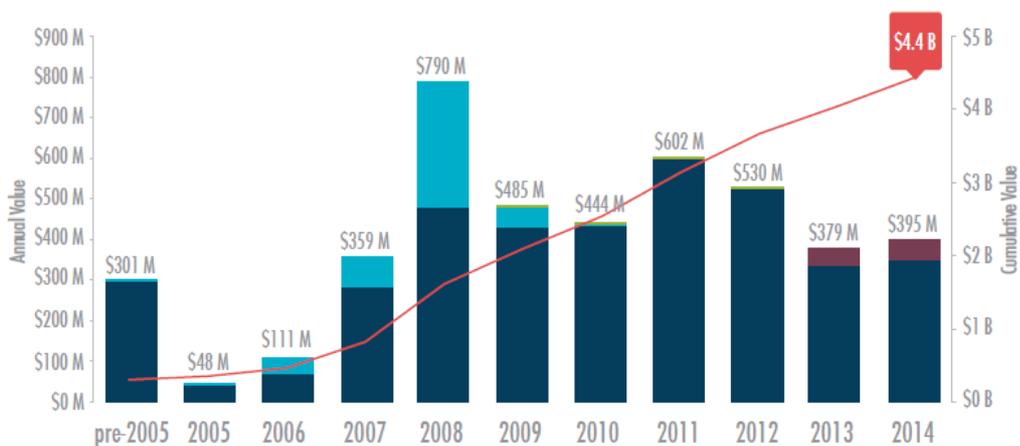


Figura 1- Gráfico da evolução histórica de transações no mercado voluntário de carbono entre 2005 e 2014.

Fonte: HAMRICK (2015, p. 5).

Com essa perspectiva sobre o valor comercializado dos créditos de carbono, avaliou-se um caso de projeto de redução de emissões. Usando a média anual estimada para redução de carbono em tCO₂e de uma empresa que adotou a MDL ACM0005 (metodologia já validada para cálculo de redução de emissão devido ao aumento da fração de aditivos na produção de cimento), assim tem-se um olhar mais claro sobre a perspectiva de valores que uma empresa pode alcançar adotando medidas de redução de GEE. Essa MDL foi desenvolvida pelo Grupo Votorantim Cimento com o intuito de ingressar no mercado de carbono regulado, então, para justificar o projeto de MDL, foi realizado um inventário de carbono (UNFCCC, 2005). Porém este não foi registrado no *GHG Protocol*, cabendo a hipótese de que se o relatório fosse desenvolvido seguindo a metodologia do Programa Brasileiro *GHG Protocol* e registrado seguindo as mesmas orientações a empresa poderia, ainda, valorizar suas ações junto a bolsa de valores, ampliando ainda mais sua capacidade lucrativa.

A estimativa de redução anual dessa metodologia para o projeto de redução de emissões da empresa ficou em torno das 285.687 tCO₂e. Cada tonelada de carbono equivalente corresponde a um crédito de carbono, se forem contabilizados a quantidade de créditos conseguidos pela empresa e multiplicá-los pelo valor comercializado pela BM&FBovespa S.A, de €3,30, pode-se estimar a quantia de aproximadamente €943.000,00 ou R\$2.418.000,00 anuais referente a comercialização dos créditos de carbono, seguindo a cotação de R\$2,5652 para cada Euro comercializado na data de 12 de junho de 2012, (BM&FBOVESPA, 2012). Quando calculado nos valores atuais, a quantidade de créditos conseguidos pela empresa e multiplicado pelo valor especulado pela Investing.com, de \$3,30, podemos estimar a quantia de aproximadamente \$943.000,00 ou R\$2.998.000,00 anuais referente à comercialização dos créditos de carbono, seguindo a cotação de R\$3,1792 para cada Dólar comercializado na data de 13 de outubro de 2016, segundo valor listado por Hamrick (2016).

Tendo os valores alcançados pelo Grupo Votorantim Cimento ao desenvolver uma metodologia de redução de GEE, percebe-se a importância financeira para empresas em desenvolver um inventário de carbono.

Dessa forma a elaboração do Inventário Corporativo de GEE é um dos passos mais importantes para conhecer o perfil de emissões de carbono da empresa parceira deste projeto. A partir desse diagnóstico, a precisão de estabelecer estratégias, planos e metas para redução e gestão das emissões de gases de efeito estufa tornam-se mais eficazes, além de mais

sustentáveis. Do ponto de vista econômico, o inventário de GEE permite a empresa vislumbrar oportunidades de negócios no mercado de carbono, regulado e voluntário (GHG-PROTOCOL, 2004).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Inventariar e analisar as emissões de GEE numa indústria de fibras sintéticas.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

A pesquisa realizada teve os objetivos específicos de:

- a) Elaborar um inventário parcial (das fontes de emissão relevantes) de emissão de GEE no período de 2007 a 2014;
- b) Elaborar tutorial para elaboração de inventário de emissão de GEE;
- c) Contabilizar as reduções de GEE já realizadas pela empresa participante a partir de uma metodologia apropriada;
- d) Analisar o impacto de mudanças na matriz energética da planta industrial na redução de emissão de GEE;
- e) Elaborar um modelo para estabelecer previsões e metas das emissões frente um possível aumento de produção.
- f) Desenvolver uma Linha de Base para cálculo de redução de emissão de GEE proporcionada pela unidade de processamento de reciclagem de garrafas PET.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 PROTOCOLO DE KYOTO (PK)

Os países signatários ao PK, ou seja, os países que tem metas de redução estão incluídos no Anexo I desse documento, assumiram o compromisso de reduzir, individual ou conjuntamente, as emissões antrópicas, expressas em dióxido de carbono equivalente, de GEE listados no Anexo B do PK, e de acordo com as disposições do Artigo 3 do PK ficam os mesmos países comprometidos em reduzir suas emissões, em média, em pelo menos 5% abaixo dos níveis de emissões registradas, no ano base, em 1990 até o ano de 2012 (UNFCCC, 1998).

Alguns desses países, listados para a adesão do comprometimento, foram Alemanha, Itália, Reino Unido, Austrália, Estados Unidos, Rússia e Japão. Porém, como o acordo não era obrigatório, alguns países com alta emissão, como Estados Unidos, tem metas mas não aderiram ao acordo. Há ainda alguns países em transição de mercado, que estão saindo do regime comunista para capitalista, que possivelmente entrarão no acordo, como a Rússia (UNFCCC, 2008).

Os gases que se enquadram no grupo dos GEE são: dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorcarbonetos (HFC), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆) dentre outros. Esses gases podem ser gerados em diferentes setores como energia (elétrica e combustível), processos industriais (processamento de metal e indústria química), agricultura e processamento de resíduos (UNFCCC, 1998).

No segundo compromisso (2013-2020) os países signatários comprometeram-se a reduzir suas emissões em 18%, em média, em relação ao ano base de 1990, no entanto, houve uma mudança nos países que aderiram ao compromisso, quando comparados aos países que aceitaram fazer parte do PK no primeiro momento (UNFCCC, 2013).

A adesão ao acordo do PK foi feita de forma voluntária. Sendo assim, surgiram três grupos com a responsabilidade de gestão de GEE em comum, porém formas de negociações diferentes dentro do Mercado de Carbono. Os grupos foram divididos em (CGEE, 2010):

- a) Mandatários: que são os países que propuseram o acordo e, por isso, veem-se na obrigação de cumpri-lo;

- b) Regulados (de adesão voluntária): que são os países que devido à alta emissão de GEE poderiam adentrar no acordo, mas a decisão fica a critério do próprio país - Esses dois primeiros grupos participam do MR;
- c) E por fim, o MV, do qual fazem parte os países em desenvolvimento, entidades governamentais ou empresas, que não possuem metas de redução, no PK, mas se interessam na gestão dos GEE.

O Artigo 6 do PK estabelece ainda a possibilidade de um país, que tenha dificuldade em cumprir o compromisso assumido sob o Artigo 3, de transferir ou adquirir de outros países/entidades, certificados que comprovam a redução de emissão de GEE (Brasil, [20--]).

4.2 CONTABILIZAÇÃO DE EMISSÃO DE GEE

4.2.1 Contabilização de GEE no Brasil e no mundo

A gestão e contabilizações de GEE são uma realidade, uma vez que existem entidades, companhias e empresas entre outros que se dão ao trabalho de efetuá-las.

No Rio de Janeiro, por exemplo, um estudo discute o potencial de redução de GEE que a cidade possui em uma escala nacional (fazendo uma redução, Brasil, Estado do Rio de Janeiro, cidade do Rio de Janeiro), no que diz respeito, primeiramente, ao tratamento e reciclagem de resíduos sólidos e, posteriormente, à forma de produção da energia elétrica (LOUREIRO; ROVERE; MAHLER, 2013).

Na Espanha, um estudo mostra uma comparação de dois cenários para observar a redução de GEE nas situações. O primeiro cenário é a construção e manutenção de asfaltos utilizando matéria prima virgem e combustíveis dos *off-road's* que emitem maior quantidade de GEE; já o segundo cenário é construído com uma simulação computacional. Neste a matéria prima para construção do asfalto é reciclada e os *off-road's* utilizados são abastecidos por um combustível com menor nível de emissão. No fim é visto uma redução de 34% de GEE em relação ao cenário base, caso o projeto utiliza-se do cenário dois (FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ et al., 2015).

Na África Ocidental, um estudo compara várias indústrias de processamento de caju e observa que elas têm diferentes quantidades de emissões ao longo do processamento do caju. Sabendo disso, fazem-se sugestões de mudança ao longo do processamento, como por

exemplo, todas as empresas assemelhem-se à empresa que emite menos, em relação ao beneficiamento do caju, a fim de obter redução de emissão (AGYEMANG; ZHU; TIAN, 2015).

Nesses estudos, para efetuar a contabilização das reduções de emissões é necessário seguir metodologias, isto é, linhas de bases de cálculos que possam converter todo tipo de redução de uso ou geração de fontes de emissão de GEE no seu equivalente em carbono, o tCO₂e (EGGLESTON et al., 2006).

4.2.2 Inventário de Carbono: Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC)

O IPCC é um órgão científico que tem como objetivo avaliar literaturas científicas, socioeconômicas e técnicas produzidas no mundo, com o intuito de entender o funcionamento das mudanças climáticas (IPCC, s.d.).

Devido à essência científica, o IPCC torna-se um confiável fornecedor de informações, relatórios e metodologias a quem deseja formular estudos e textos científicos até mesmo para contabilização GEE (IPCC, s.d.).

A ferramenta usada para identificar as oportunidades de redução e mitigação das emissões de GEE é chamada inventário de carbono. Essa possui várias formas de estruturação, uma vez que muitas são as fontes geradoras de GEE (GHG-PROTOCOL, 2004).

Em 2006, o IPCC lança o “*IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*”, uma nova coletânea de livros, com 5 Volumes, com o intuito de garantir dados e atualizações técnicas científicas para entendimento das metodologias de contabilização e emissão de GEE (EGGLESTON et al., 2006).

No Volume 1, chamado *General Guidance and Reporting*, é encontrada uma introdução às orientações do IPCC, com diretrizes de 2006, para elaboração de inventários nacionais de GEE realizadas a pedido da *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), com o intuito de atualizar as metodologias feitas no primeiro guia, em 1996.

O Volume 2 trata de contabilizações no setor energético, especificamente nas combustões estacionárias, combustões móveis, emissões fugitivas.

O Volume 3 trata de contabilizações em processos industriais e produtos usados nesses processos. Especificamente. Apresenta metodologias para cálculos de emissões em indústrias

mineiras, químicas, de metal e eletrônica; e sobre troca de substância nos processamentos e produtos usados.

O Volume 4 trata da contabilização de emissões na agricultura, no ambiente e outros usos da terra; com metodologias genéricas aplicáveis a várias categorias de uso de terras, a representação consistente das terras, as terras florestais, as terras de cultivo, as pastagens, os pântanos, os assentamentos ou acampamentos, e outras terras. Além de metodologias para emissões de gestão pecuária e estrume, das emissões de óxido nitroso (N₂O) de solos manejados e emissões de dióxido de carbono (CO₂) pela cal e uréia; e por fim, descreve sobre produtos de madeira abatida

Por fim, o Volume 5 trata de contabilizações devido a resíduos dispostos ou tratados. Especificamente, traz metodologias de cálculo de impacto do descarte de resíduos sólidos, de tratamento biológico de resíduos sólidos, da incineração e queima de resíduos a céu aberto e, do tratamento de águas residuais e descarga.

O GHG Protocol, apesar de não dispor sobre regras para mercado de redução de emissões, determina padrões técnicos para a quantificação de emissões.

4.2.3 Inventário De Carbono: *GHG Protocol*

Neste contexto de gestão dos GEE, surgiu também no Brasil o Programa Brasileiro *GHG Protocol*. Implementado pela Fundação Carlos Chagas com apoio de diversas entidades internacionais e nacionais, tendo como principal objetivo fomentar a elaboração de inventário de emissão de GEE através do treinamento técnico de identificação e cálculo das liberações de carbono (GHG-PROTOCOL, 2004).

O programa *GHG Protocol* entende que existem organizações de diferentes níveis de compreensão e amadurecimento sobre as mudanças climáticas. Apesar de não dispor sobre regras para mercado de redução de emissões, o programa determina padrões técnicos para a quantificação de emissões. Portanto, o programa estimula as empresas que estão iniciando suas operações no desenvolvimento de seu inventário de emissões de GEE, a publicarem um inventário parcial. Desde que, todas as especificações do Programa Brasileiro *GHG Protocol* sejam atendidas, principalmente no que se refere aos cálculos das fontes de energia utilizadas pela empresa (GHG-PROTOCOL, 2004).

O principal objetivo do *GHG Protocol* é desenvolver nas empresas, de forma voluntária, o costume de identificar, calcular e elaborar inventários de emissão de GEE.

Alguns dos objetivos específicos do programa é providenciar base para o objetivo geral, dissipando o *GHG Protocol* (que é baseado em técnicas internacionais credenciadas), e fomentar a qualificação de empresas, universidades e organizações no que diz respeito a elaboração de inventários de emissões de GEE (GHG-PROTOCOL, 2004).

Para facilitar a elaboração de inventários, o programa segue as identificações de fontes com possibilidade de redução em escopos, que funcionam da seguinte forma (GHG-PROTOCOL, 2004):

- a) Escopo 1: São contabilizações obrigatórias para um inventário, e trata de emissões diretas, como por exemplo, gás carbônico emitido pelo uso de combustível em um veículo automóvel da empresa;
- b) Escopo 2: São contabilizações também obrigatórias para o inventário, porém trata-se de emissões indiretas, como por exemplo, a energia elétrica utilizada na empresa. Ela não emite gás direto no meio ambiente, mas tem sua equivalência em gases devido a todo processamento que passa para chegar até a empresa;
- c) Escopo 3: Diferente das anteriores, são de contabilizações opcionais e indiretas, como por exemplo, emissão do mesmo produto, mas em outra empresa. Um passivo ambiental gerado pela empresa 1, repassado à empresa 2 pode ser contabilizado pela empresa 1, conforme este escopo.

O programa possui ferramenta própria para realização de inventário. Ao abrir a ferramenta é iniciada na seção Introdução das Abas Gerais, em que são registrados dados da empresa e o ano em que serão contabilizadas as fontes emissoras do inventário. Na seção Fatores de Conversão possui dados necessários para conversão de unidades dos dados das fontes emissores a fim de padronizar as unidades para o padrão da ferramenta. Na seção Fatores de Emissão são encontrados todos os fatores usados para calcular o tCO₂e em cada seção de cada escopo. Na seção Fatores Variáveis estão registrados fatores de tCO₂e que mudam durante os meses de um determinado ano. Ainda nas Abas Gerais é disponibilizado a seção Resumo em que consta o tCO₂e total e em cada escopo dos dados de entrada de fontes emissoras lançadas (GHG-PROTOCOL, 2004).

A ferramenta também conta com uma aba para cada Escopo (citados anteriormente). Essas seções serão utilizadas para preenchimento, com dados das fontes emissoras, e calculo da tCO₂e emitido da mesma (GHG-PROTOCOL, 2004).

A aba Escopo 1 possui seções como Emissões de Combustão Estacionária, em que se deve descrever qual a fonte de emissão, qual o combustível utilizado e a quantidade

consumida no ano, além da unidade na qual o combustível foi mensurado. Da mesma forma, seguem-se os procedimentos na seção de Combustão Móvel (combustão em veículos), Emissões Fugitivas, Processos Industriais, Atividades Agrícolas, Resíduos sólidos e Efluentes (GHG-PROTOCOL, 2004).

Já a aba do Escopo 2 apresenta somente duas seções, Compra de Energia Elétrica e Compra de Energia Térmica, em que o consumo mensal de energia deve ser informado.

Na aba Escopo 3 existem as seções relacionadas a emissões indiretas. Na primeira seção, Categorias de Escopo 3, são descritas 15 categorias para reporte (tipo de negociação na bolsa que envolve tramites a prazo e a vista) de emissões de escopo 3. Na segunda seção, Transporte & Distribuição (*upstream*), são contabilizados gastos com transporte de produtos que não são de propriedade e nem operados, mas comprados pela organização que está fazendo o inventário. Ainda nesta seção, resíduos sólidos gerados na operação, podem ser contabilizados, mesmo que esse esteja em propriedade de terceiros. Igualmente ocorre com a seção, Efluentes gerados na operação. A seção Viagens e negócios contabiliza a emissão de viagens de funcionários (nas diversas formas de locomoção). A última seção da aba, Transporte & Distribuição (*downstream*), é semelhante a segunda seção, mas é usada quando não há relação de compra ou aquisição de serviço pelo inventariante (GHG-PROTOCOL, 2004).

4.3 MERCADO DE CARBONO

4.3.1 Mecanismos de Flexibilização

Dada a dificuldade na manutenção do acordo de Kyoto, com a intenção de auxiliar e assegurar o bom funcionamento do mesmo, foi necessário a implantação de mecanismos que coordenem as atividades do mercado de carbono, sendo eles (GOULART; ALVIM, 2011):

- a) Comércio de Emissões (CE);
- b) Implementação Conjunta (IC);
- c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O CE é o mecanismo correspondente ao Artigo 17 do PK, o qual visa facilitar as negociações entre países que tenham sobra de certificados de redução de emissão, com aqueles que ainda não cumpriram com o estipulado no acordo (GOULART; ALVIM, 2011).

A IC é o mecanismo que permite que países do Anexo I do PK atuem em conjunto para atingirem suas metas de redução. Ou seja, se um país não conseguir atingir sua meta, esse pode firmar um acordo com outro que atingiu. A transferência de tecnologia e os investimentos estrangeiros são os principais benefícios desse mecanismo (GOULART; ALVIM, 2011).

Contudo, apesar dessas possibilidades de negociação e ação conjunta para se atingir metas de redução, os países devem primordialmente apresentar seus próprios projetos de redução de emissões. Nesse sentido, o MDL é o mecanismo em que países sem metas estabelecidas no PK elaboram e apresentam projetos de redução de emissão.

Os MDL devem ser legitimados para sua validação, sendo assim deve ser comprovado que o projeto resulte em redução de emissões de GEE, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do país elaborador e também deve evidenciar os benefícios que sejam quantitativos e de longo prazo associados a amenização das mudanças climáticas (LOPES, 2002).

Para uma MDL elegível é necessário que tenham (LOPES, 2002):

- a) Quantidades de emissão calculadas e registradas;
- b) Um sistema de contagem nacional de GEE;
- c) Um Registro Nacional;
- d) Um Inventário de Carbono enviado para Convenção das Quadro Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC).

Cada mecanismo de flexibilização gera seus próprios certificados, relacionados à quantidade de créditos de carbono contabilizados. Enquanto no CE apenas os países com meta de redução negociam seus certificados chamados Unidade de Quantidade Atribuída (UQA), na IC, os países do Anexo I do PK negociam (seus certificados) suas Unidade de Redução de Emissão (URE); e o MDL gera créditos carbono, com certificados RCE (CGEE, 2010).

A emissão de Certificados de Redução de Emissão (RCE) no MR passa por alguns passos com alto nível de burocracia. Primeiramente monta-se um projeto de redução de GEE (MDL), com isso, elabora-se o Documento de Concepção do projeto, o qual é avaliado, aprovado e monitorado (posteriormente à implementação) por Entidades Operacionais Designadas. Sendo validado, o projeto passa pelo Conselho Executivo para ser registrado e então, por fim, são gerados os RCE (CGEE, 2010).

4.3.2 Linha de Base

A linha de base é o cenário de um projeto de MDL, que se empenha em representar emissões de GEE de uma empresa. Sua maior importância está relacionada à quantificação de RCE do MDL. Esses certificados surgem da diferença das emissões de linha de base em relação às reduções de emissões verificadas devido ao exercício de um projeto MDL de redução de emissões (CGEE, 2010).

Para elaboração de uma Linha de Base é necessário uma gama de informações no que diz respeito a todo o processamento de uma empresa. Por exemplo, uma empresa produtora de fibras a partir de resina de PET que instala uma unidade de processamento de reciclagem de garrafas PET deve contabilizar suas emissões de linha de base, ou seja, suas emissões anteriores ao projeto de redução de emissão. Nesse caso em particular, deve-se contabilizar em suas emissões de linha de base:

- O consumo específico de energia no processo de craqueamento da matéria-prima PET, que pode ser encontrado no relatório *Tracking industrial energy efficiency and CO2 emission* (IEA, 2007);
- A energia elétrica consumida em processo de polimerização da matéria-prima PET, obtida em relatórios da UNFCCC (UNFCCC-CDM, 2012);
- A energia elétrica e os combustíveis fósseis utilizados no processo de produtivo das fibras – informações da própria empresa.

A conversão desse consumo energético em tCO₂e pode ser feita conhecendo-se as taxas de conversão apropriadas:

- Os fatores de degradação de PET, encontrado na literatura (DORMER et al., 2013);
- O fator de emissão para geração de eletricidade em relatórios da UNFCCC e outros (UNFCCC-CDM, 2015; WRI, 2003);
- O fator de emissão de CO₂ para combustível fóssil no capítulo 2, volume 2, das *Linhas de base* do IPCC (EGGLESTON et al., 2006).

Deve-se, então, contabilizar as emissões à posteriori da implementação da atividade do projeto de MDL. Para isso, precisa-se contabilizar adicionalmente o consumo de eletricidade e de combustível na unidade de processamento de reciclagem, obtidos em artigos técnicos sobre o assunto (ARENA; MASTELLONE; PERUGINI, 2003). Contudo, apesar desse consumo energético adicional, existe redução indireta de consumo de energia pela utilização

de matéria-prima reciclada em substituição à matéria-prima virgem que teoricamente deixaria de ser produzida. Por fim, tem-se ainda a opção de se considerar também as reduções por emissões indiretas, provenientes do não descarte na garrafa PET no meio ambiente. De posse dos resultados, calculam-se as reduções de emissões obtidas pelo projeto, assim completando a Linha de Base para uma unidade de processamento de reciclagem de garrafas PET.

O Apêndice B traz, de forma detalhada, uma linha de base para projeto MDL de uma unidade de processamento de reciclagem de garrafas PET.

4.3.3 Créditos de Carbono

Os créditos de carbono originam-se da necessidade de uma ação defensiva em relação a questão do aquecimento global, além de serem uma forma de incentivo aos que promovem a redução e contabilizam suas emissões (CGEE, 2010).

Um crédito de carbono equivale a uma tCO₂e reduzida. Outra interpretação seria a de que os créditos carbono podem ser traduzidos como câmbios de moeda por tCO₂e reduzidas (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012). Ou seja, os créditos de carbono, quando gerados, tornam-se ativos, passíveis de negociação (MACIEL et al., 2009).

As reduções de tCO₂e resultantes de um projeto de MDL geram créditos carbonos, que são nesse caso os RCE (cada RCE equivalente a uma tCO₂e), negociáveis no MR (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012). Esses têm utilidade de auxílio, às partes do Anexo I do PK, de atingir as metas de redução dos GEE (LOPES, 2002).

4.3.4 Mercado Regulado

O MR surgiu primeiramente chamado de Mercado de Carbono durante a ECO-92, realizada no Rio de Janeiro. Quando em 1997, no Japão, foram indicados alguns dos principais países que emitiam grande quantidade de GEE ao longo dos anos, a assumirem o acordo de redução do PK (CGEE, 2010). Assim, alguns dos principais países responsáveis pelo aquecimento global, se comprometeram em reduzir suas emissões de gases de efeito estufa, criando dessa forma, obrigações legais para empresas dentro de seus territórios que incluem o limite de emissões e a possibilidade de compra de créditos de carbono para compensar a emissão além da meta, no período de 2008-2012.

Entre os principais mercados de carbono regulados são encontrados: o de Kyoto, o *European Union Emission Trading Scheme* e o *European Credit Exchange* (ECX) (CGEE, 2010).

4.3.5 Mercado Voluntário

Até aqui, foi apresentado um pouco do mercado de carbono regulado pelo PK, tendo como seus principais agentes participativos países compromissados com a redução de emissões. Porém, em meio a esse cenário, o MV, inicialmente utilizado por empresas e indivíduos de países não signatários ao PK, como os Estados Unidos (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012).

O MV vem chamando atenção e crescendo, pelo fato de suas operações serem menos burocráticas, já que os projetos não necessitam do reconhecimento do MR e passam apenas por autoridade nacional, não necessitando de Entidade Operacional Designada e Conselho Executivo. Os ativos negociados no MV são as Reduções de Emissões Voluntárias (VER), também chamadas de créditos de carbono. Alguns dos principais MV são, por exemplo, o *Chicago Climate Exchange* (CCX) e BM&F Bovespa (CGEE, 2010).

Apesar desses créditos não serem válidos para redução de metas de países, muitas empresas têm se interessado em negociá-los. Assim como existe o MDL para organizar os procedimentos e normas de contabilização de GEE para o MR, os *Standards* são os responsáveis por essa gestão de créditos regulamentos no MV (PAIVA; GOULART; ANDRADE, 2012).

4.3.6 *Standards*

No MV, os *Standards* são os responsáveis por averiguar se os projetos de redução de emissão estão seguindo os procedimentos e critérios necessários para obtenção de créditos carbonos, que no MV são chamados de VER (CGEE, 2010).

Uma vantagem de elaboração de projetos nesse formato é a facilitação, uma vez que além das mesmas instituições certificadoras que atuam no MDL, fica incumbido a cada Comitê de *Standard* elaborar suas próprias regras de qualificação e credenciamento das

unidades certificadoras. Além disso, não é necessário passar o projeto por uma Autoridade Operacional Designada, como no MDL, facilitando a aceitação do mesmo (CGEE, 2010).

A maioria dos VER comercializados é gerada através do *Voluntary Carbon Standard, Standard* que aceita metodologias já validadas pelo MDL e adere regulamentos da ISO 14.064-2 como orientação (CGEE, 2010).

4.4 IMPACTOS E RECICLAGEM DO PET

4.4.1 Reciclagem de PET no Brasil

No ano de 2010 foi sancionada a Lei 12.305/2010 pelo presidente da república, visando um melhor controle da gestão dos resíduos sólidos do lixo urbano brasileiro. Mas antes disso, empresas que atuavam em diferentes setores e de diferentes magnitudes já geriam seus resíduos (BICCA NETO, 2015).

De acordo com a legislação supracitada, não só empresas, mas todos têm responsabilidades pelos resíduos, ou seja, o poder público, a população e as empresas (BICCA NETO, 2015). A vantagem desta gestão compartilhada é o sistema de logística reversa, que faz com que todo material produzido, após ser vendido e consumido, volte aos centros produtores, com o intuito de acrescentar valores ao material. Mas essa logística ainda não funciona (DE PAIVA; BATISTA, 2014).

A Figura 2 mostra como a coleta seletiva no Brasil vem crescendo ao longo dos anos, sendo que em dez anos, o número de municípios com coleta seletiva cresceu mais de 1000%. Particularmente, a evolução na reciclagem do PET no Brasil também acompanha esse crescimento (CONSULTING, 2012). A Figura 3 mostra dados da evolução de reciclagem do PET entre 2004 e 2012.

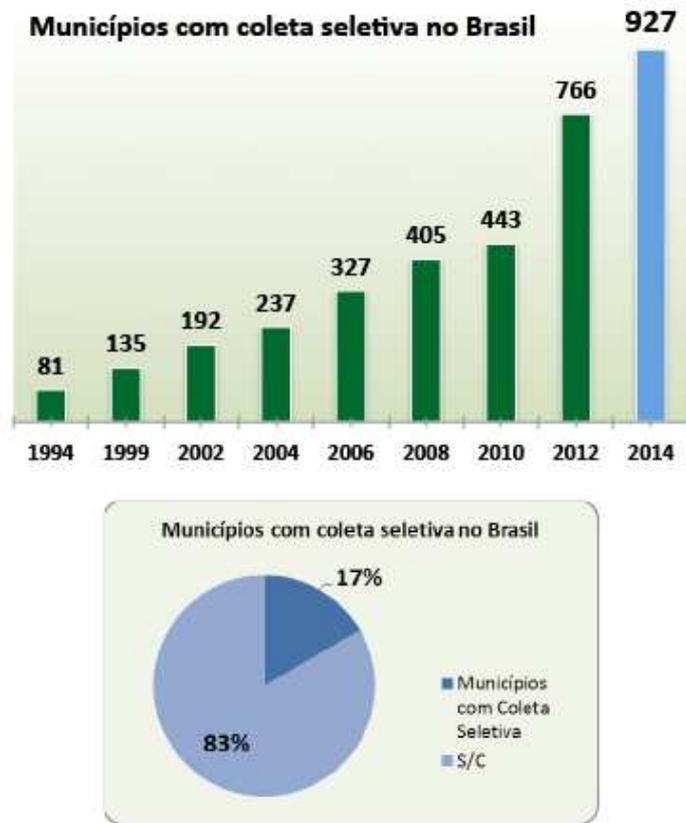


Figura 2- Municípios com coleta seletiva no Brasil.
Fonte: CEMPRE (2014)

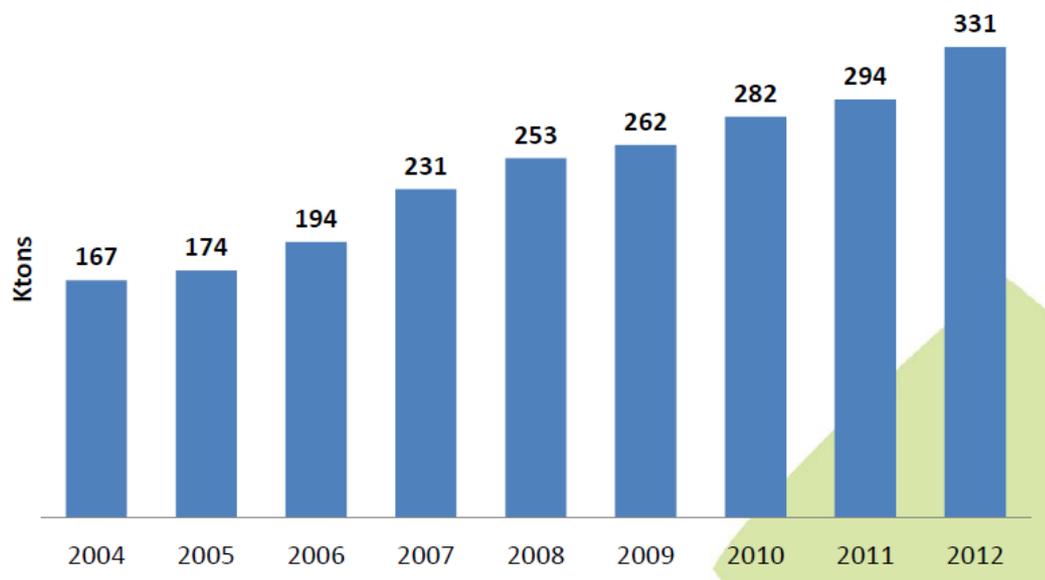


Figura 3- Evolução da reciclagem de PET no Brasil entre 2004 e 2012.
Fonte: CONSULTING (2012, p. 7).

4.4.2 Ciclo de vida do PET

Depois de produzido, vendido e consumido, o PET deve ser separado pelo consumidor, descartado para a coleta seletiva e, então, recolhido e transportado para reciclagem. Antes do processamento do material recolhido, este deve ser triado em centro de triagens e cooperativas de catadores, passar por processos de picotamento e/ou compactação e seguir em fardos para as unidades de processamento de reciclagem. O produto reciclado do processamento é então classificado conforme a norma vigente e por fim, cada tipo de material dentro da sua classificação é revendido em grandes lotes para ser reutilizado.

A Figura 4 representa como é, ou deve ser, o ciclo do PET reciclado, segundo a legislação de 2010.

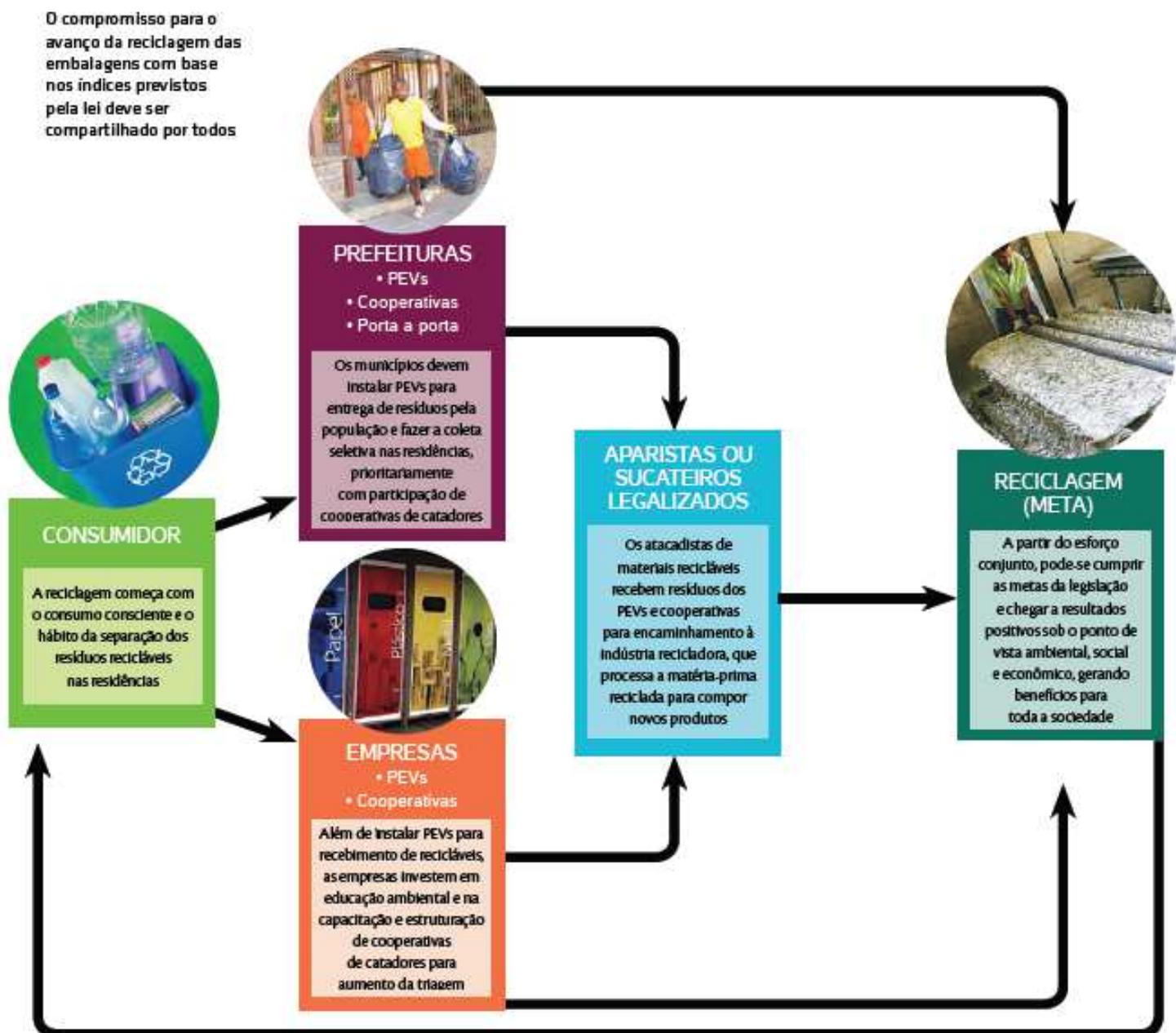


Figura 4- Cadeia do ciclo de vida do PET reciclado.
Fonte: BICCA NETO (2015, p. 34).

4.4.3 Impacto da reciclagem no ciclo de vida do PET

O PET reciclado pode originar alterações no que diz respeito à emissão de GEE (DORMER et al., 2013), e gasto energético no ciclo de vida do PET (ARENA; MASTELLONE; PERUGINI, 2003).

O gasto energético para reprocessar o PET é de 1 MJ/kgPET em média (ARENA; MASTELLONE; PERUGINI, 2003), que é muito menor que o gasto para processar material virgem, que é cerca de 39,76 MJ/kgPET (APM, 2005).

Além disso, no que diz respeito ao fim da vida útil do PET, Fabi (2004) considera 0,76 kgCO₂ de emissão na decomposição do material no meio ambiente, que seria algo em torno de 1% da emissão total do ciclo de vida do material. Mas essa quantidade de redução pode ser estendida, isto é, dependendo da taxa de reciclagem do material, pode variar de 1% a 3% de redução referente a toda vida útil da embalagem (DORMER et al., 2013). Por exemplo, em relação à emissão de GEE no transporte de embalagens de frutas da fábrica para o local de varejo e mais o seu descarte, no fim de vida útil, a diferença de emissão é de aproximadamente 3% do total de carbono emitido pelo ciclo das embalagens (DORMER et al., 2013).

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho e conseqüente cumprimento dos objetivos específicos descritos anteriormente, foram seguidas as seguintes metodologias:

a) **Identificação do local de estudo:**

A empresa parceira do projeto, situada no município de Poços de Caldas, atua no ramo de desenvolvimento e produção de fibras, resina e polímeros de poliéster .

Até o ano de 2012, a empresa utilizava matéria prima virgem e reciclada (oriunda de outra unidade da empresa) na sua produção. No final do ano de 2013, ela começou um projeto de reciclagem visando utilizar material reciclado, produzido pela própria unidade, para a produção. Sendo assim, a matéria-prima para a fabricação de determinados produtos da empresa passou a contar com *flakes* de poliéster obtidos a partir da sua própria unidade de reciclagem de garrafas PET.

Dentre os produtos produzidos pela empresa, pode-se citar:

- Fibra Convencional: utiliza matéria prima virgem. É aplicada na indústria têxtil;
- Fibra Flexipoços: utiliza matéria prima reciclada. Aplicada também na indústria têxtil;
- Resina PET reciclada (SSP): essa utiliza matéria prima reciclada e tem aplicação na indústria de embalagens.

Ação importante a ser citada, é que em 2012 a empresa começou a alterar sua fonte de energia combustível, óleo BPF, para uma com menor emissão de gás carbono no meio ambiente, gás natural.

b) **Identificação das fontes emissoras de GEE:**

A fim de identificar as fontes de emissão de GEE da planta operacional estudada foram realizadas visitas *in loco* e reuniões com a gerência de produção da planta. Nessas reuniões, apresentaram-se à gerência da planta as fontes de emissão que são consideradas na metodologia *GHG Protocol* para elaboração de inventário de GEE corporativo (GHG-PROTOCOL, 2004) para, então, a partir de discussões e visitas, definirem-se as fontes de emissão de GEE que seriam consideradas.

c) **Coleta de dados:**

Os dados mensais das diferentes fontes de emissão de GEE identificadas na empresa foram levantados junto a própria, bem como os dados de produção mensal de cada produto fabricado em cada uma de suas linhas de produção. Os dados foram contabilizados desde o ano de 2007, ano em que houve o fechamento de uma linha de produção; passando por 2012,

ano em que houve mudanças na matriz energética da linha de produção; a 2014, ano em que a recicladora de garrafas PET entrou em atividade. Nessa coleta de dados está incluso a quantificação do lodo industrial residual do tratamento de efluentes (passivo ambiental), sendo assim uma emissão indireta de GEE, a qual é uma responsabilidade da empresa.

d) Inventários de emissões de GEE:

A contabilização das emissões de GEE em termos de tCO₂e foi feita utilizando-se a metodologia adotada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol (GHG-PROTOCOL, 2004). Particularmente, foi utilizada a ferramenta de cálculo fornecida pelo Programa Brasileiro GHG *Protocol* em sua versão v2013.1.

A ferramenta, contudo, não tem metodologia própria para contabilizar algumas emissões indiretas. Sendo assim foram utilizadas metodologias do IPCC, vide Apêndice B (EGGLESTON et al., 2006):

1. Para contabilização a emissão devido à incineração do lodo industrial produzido foram utilizadas as metodologias de inventário do IPCC volume 5, capítulo 5. As equações e tabelas de dados utilizados foram equações 5.1, 5.4, 5.5 e tabelas 5.2, 5.3 e 5.6 respectivamente.
2. Para contabilização a emissão devido a emissões diretas oriundas da combustão do gás liquefeito de petróleo (GLP) foram também utilizadas as metodologias de inventário do IPCC volume 2, capítulo 3. As equações e tabelas de dados utilizados foram equações 3.3.1, 3.4.1 e tabelas 3.2.1 e 3.2.2 respectivamente.

Poder-se-ia quantificar no inventário as emissões indiretas: a) causadas pelos veículos de fornecedores; b) causadas pelos veículos de funcionários e visitantes; c) causadas na produção dos insumos consumidos pela empresa; d) causadas pelo descarte de resíduos sólidos em aterro. Contudo, há dois problemas em considerar essas emissões no inventário: 1) a ausência de dados que permitam quantificação dessas emissões; 2) o risco, principalmente nas emissões dos itens a), c) e d) desta observação, de que essas emissões sejam duplamente contabilizadas em inventários distintos. Assim, sendo, as emissões indiretas listadas não foram contabilizadas.

e) Análise da contribuição de fontes de emissão:

Contabilizadas as emissões totais de tCO₂e para cada fonte de emissão em cada um dos 8 anos analisados, pode-se analisar a contribuição de cada uma das fontes com relação à

emissão total a partir de: análise percentual e análise de correlação linear ou de Pearson. Os maiores percentuais e maiores valores positivos de correlação indicam maiores contribuições de uma dada fonte de emissão na emissão total. Os cálculos foram realizados no *software* Calc.

f) Análise do impacto da substituição de óleo BPF por gás natural

O impacto na variação de emissão de GEE resultante da substituição do óleo BPF pelo gás natural na matriz energética da planta foi analisado a partir de análise de variância (ANOVA) seguida pelo teste de comparação de médias de Scott-Knott. Os testes foram realizados ao nível de significância de 5%, considerando-se como valores observados as taxas de emissão mensal de tCO₂e (calculadas dividindo-se a emissão mensal total de tCO₂e pela produção mensal total), e como tratamento, o ano considerado (resultando num total de 8 tratamentos, de 2007 a 2014). A análise foi feita no *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

g) Análise de viabilidade para ingresso no mercado voluntário de carbono

Considerando-se a possibilidade de que a substituição do óleo BPF pelo gás natural na matriz energética da planta tenha resultado no decaimento da taxa de emissão de GEE, analisou-se a viabilidade para ingresso no mercado voluntário de carbono a partir do cálculo estimado da receita que a empresa teria com a possível venda de créditos de carbono. A estimativa da receita com a venda de créditos de carbono entre os anos de 2012 e 2014 (após substituição do óleo BPF pelo gás natural) foi calculada pela Equação 1.

$$R = Co * Ca * \sum_{i=2012}^{2014} (tA - tB) * P_i, \quad (1)$$

em que:

R: receita em reais;

Ca: cotação do euro em reais;

Co: cotação do crédito de carbono em euros;

tA: taxa média de emissão de tCO₂e nos anos em que se utilizou combustível A;

tB: taxa média de emissão de tCO₂e nos anos em que se utilizou combustível B;

P_i: produção total nos anos fechados do projeto.

h) Modelagem:

Utilizando mínimos quadrados não-linear generalizados (AGUIRRE, 2007) foram ajustados os modelos matemáticos propostos que relacionam a produção mensal da empresa com a emissão mensal de tCO₂e.

Contudo, primeiramente, para definir as variáveis independentes do modelo fez-se uma análise de correlação da emissão de tCO₂e em relação à quantidade produzida de cada produto (variáveis P1, P2 e P3), e à quantidade produzida em cada linha de produção

(variáveis L1 e L2). Considerou-se também o número de variáveis envolvidas em cada um dos casos, no sentido de que, preferencialmente, escolhe-se trabalhar com um modelo com o menor número de variáveis e parâmetros possíveis.

Definidas as variáveis independentes, para escolher entre os modelos matemáticos propostos, foram gerados gráficos a partir de dados mensais da emissão total de tCO₂e em relação à produção por linha, com o intuito de obter indícios do comportamento qualitativo dessas relações e tomar uma decisão sobre quais modelos matemáticos adotar.

Realizou-se o teste de Durbin-Watson (DW) (Durbin; Watson, 1951) em todos os modelos propostos, a fim de se verificar a hipótese nula de que os erros do modelo seriam independentes, contra a hipótese alternativa de que estes erros possuem uma autocorrelação de primeira ordem. O teste é dado pela seguinte Equação 2:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2}, \quad (2)$$

sendo:

e_t o residuo no tempo t ;

e_{t-1} o residuo no tempo $t-1$;

n , o número de observações da amostra.

Aceitando-se a hipótese nula, conclui-se que os erros do modelo são independentes, ou seja, não há uma correlação temporal entre as observações sucessivas obtidas ao longo do tempo.

Alguns avaliadores da qualidade de ajuste foram aplicados para a comparação entre os modelos e posterior escolha do melhor modelo:

- Critério de informação de Akaike- AIC (Akaike, 1974), que pode ser representado pela seguinte Equação 3:

$$AIC = -2 \ln L(\hat{\gamma}) + 2(p), \quad (3)$$

sendo:

p o número de parâmetros a serem estimados no modelo ;

$L(\hat{\gamma})$, o máximo da função de verossimilhança.

Este critério é usado para comparar três ou mais modelos ou quando se tem modelos não-aninhados. Quanto menor o seu valor, melhor o modelo.

- Critério de informação Bayesiano- BIC (Schwarz, 1978), pode ser representado pela Equação 4:

$$BIC = -2 \ln L(\hat{\gamma}) + p \ln(n), \quad (4)$$

O BIC também pode ser usado na comparação de vários modelos, quando esses são não-aninhados. Quanto menor o seu valor, melhor o modelo.

- Desvio Padrão Residual- DPR pode ser estimado pela Equação 5:

$$DPR = \sqrt{\frac{QME}{n-p}}, \quad (5)$$

sendo:

QME o quadro médio do erro;

Quanto menor o valor do DPR, menor o desvio, então melhor o modelo.

- LogLikelihood- LogLik pode ser estimado pela Equação 6:(RODRÍGUES, 2007)

$$\log L(y; \theta) = \sum_{i=1}^n \log f_i(y_i; \theta), \quad (6)$$

sendo:

y o conjunto de n observações independentes;

θ o parâmetro desconhecido dependente dos dados y, chamado função *likelihood*;

$f_i(y_i; \theta)$ é a função densidade de probabilidade (*pdf*) relacionado aos dados de y e θ .

i) Linha de base para a Recicladora de garrafas PET (vide Apêndice B):

A estimativa da redução de emissão de GEE (em termos de tCO₂e) promovida pela empresa ao utilizar material reciclável em substituição à matéria-prima virgem (resina PET) pode ser feita considerando-se as reduções de emissão relacionadas ao fato de não se deixar com que a garrafa PET seja descartada no meio ambiente, e à diminuição do uso de matéria prima virgem, tendo como consequência a possibilidade de redução das emissões devido à não produção da mesma. Contudo, deve-se considerar também a emissão gerada pela operação da própria recicladora. Então, a partir de uma extensa pesquisa bibliográfica, e baseando-se em outras linhas de base (como, por exemplo, linha de base da MDL do projeto “Substituição de óleo combustível por gás natural na Solvay Indupa do Brasil S.A”) (UNFCCC-CDM, 2012), elaborou-se uma linha de base para a recicladora de garrafa PET nos moldes das linhas de base da UNFCCC.

6 RESULTADOS

6.1 DEFINIÇÃO DAS FONTES DE EMISSÃO DE GEE

A fim de identificar as fontes de emissão de GEE da planta operacional estudada foram realizadas visitas *in loco* e reuniões com a gerência de produção da planta. Nessas reuniões, apresentaram-se à gerência da planta as fontes de emissão que consideradas na metodologia *GHG Protocol* de inventário de GEE corporativo (GHG-PROTOCOL, 2004), então, a partir de discussões e visitas, chegou-se ao consenso sobre as fontes de emissão apresentadas a seguir.

De acordo com os limites operacionais as fontes de emissão identificadas dividem-se em (ABNT, 2007):

1. Escopo I (diretas): combustão de óleo BPF, gás natural, óleo diesel, e gás liquefeito de petróleo (GLP);
2. Escopo II (indiretas): uso de eletricidade;
3. Escopo III (demais fontes indiretas): queima do lodo residual de tratamento de efluentes em fornos.

Obs. 1: Os veículos da empresa são: um caminhão do corpo de bombeiros, raramente utilizado; uma caminhonete de manutenção; uma ambulância; todos movidos à diesel. A partir do *start-up* da Recicladora, a frota passou a contar com mini-carregadeiras (alugadas) para manuseio dos fardos de garrafas, também movidas a diesel. Além disso, há também carregadeiras movidas a GLP.

Obs. 2: A planta realiza tratamento aeróbio dos efluentes domésticos e industriais. De acordo com metodologia para efluentes industriais (EGGLESTON et al., 2006), contabiliza-se apenas as emissões de tratamentos anaeróbio.

6.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DAS FONTES DE EMISSÃO DE GEE

Os dados de consumo mensal de óleo BPF, gás natural, óleo diesel, GLP, eletricidade; bem como a quantidade de lodo industrial incinerado, entre os meses de janeiro de 2007 e dezembro de 2014, foram fornecidos pela empresa (os dados não foram apresentados neste trabalho, pois foram considerados como informação sigilosa).

A empresa forneceu também os dados de produção mensal de cada um de seus três produtos no mesmo período (vide item “a” da Metodologia); os dados não constam no trabalho, pois foram consideradas informações sigilosas.

6.3 CONTABILIZAÇÃO DAS EMISSÕES DE tCO₂e

Utilizando-se os dados cedidos pela empresa (os dados não foram apresentados, pois foram considerados como informação sigilosa) e aplicando-se as metodologias destacadas no capítulo 5, obteve-se a contabilização de emissão de tCO₂e mensal entre os meses de janeiro de 2007 e dezembro de 2014 (os dados não foram apresentados, pois foram considerados como informação sigilosa). O Apêndice A traz um tutorial detalhado sobre como fazer a contabilização das emissões de tCO₂e utilizando as metodologias apresentadas. Além disso, o Anexo I do PK traz os relatórios de inventário de emissões anual gerado pela ferramenta do GHG *Protocol* para cada um dos anos inventariados.

A Tabela 1 apresenta a quantidade anual de toneladas equivalentes de CO₂ gerada a partir de cada fonte de emissão da empresa (consumo de eletricidade; queima de óleo BPF, gás natural, GLP e diesel; e queima do lodo residual do tratamento de efluentes) de 2007 à 2014. A Figura 5 ilustra a evolução do total de tCO₂e emitido ao longo desses anos.

Tabela 1- Geração de tCO₂e em cada fonte emissora da empresa entre 2007 e 2014.

| Total de tCO ₂ e | | | | | | | |
|-----------------------------|----------|-----------|-------------|--------|--------|-------|-----------|
| Ano | Elétrica | Óleo BPF | Gás natural | Diesel | GLP | Lodo | Total |
| 2007 | 1,54 | 44.334,83 | - | - | - | - | 44.336,36 |
| 2008 | 1,56 | 26.764,88 | - | - | 33,67 | - | 26.800,12 |
| 2009 | 0,50 | 20.402,16 | - | 53,54 | 126,98 | - | 20.583,18 |
| 2010 | 1,24 | 21.653,14 | - | 12,02 | 116,61 | - | 21.783,01 |
| 2011 | 0,70 | 21.807,58 | - | 50,08 | 142,49 | - | 22.000,85 |
| 2012 | 1,40 | 3.730,91 | 8.851,02 | 37,66 | 125,15 | - | 12.746,13 |
| 2013 | 2,26 | - | 12.616,84 | 25,17 | 170,47 | - | 12.814,73 |
| 2014 | 3,51 | - | 12.716,41 | 37,42 | 210,75 | 48,34 | 13.016,42 |

Fonte: Próprio autor.

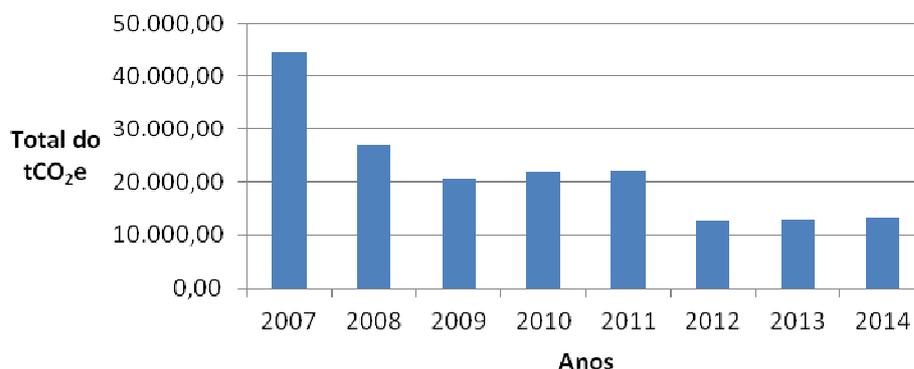


Figura 5- Evolução da emissão total de do tCO₂e entre 2007 e 2014.

Fonte: Próprio autor

Observando a Figura 5 nota-se uma tendência de redução nas emissões de tCO₂e ao longo dos anos. Contudo, para se verificar a realidade dessa redução foi necessário confrontá-la com a evolução da produção da planta analisada.

Nota-se que a produção total não apresenta a mesma tendência de redução (os dados não foram apresentados, pois foram considerados como informação sigilosa). Observa-se na Tabela 2, a relação tonelada equivalente de carbono pela produção total a cada ano; a Figura 6 apresenta a representação gráfica dessa relação tonelada equivalente de carbono pela produção total a cada ano.

Tabela 2- Dados da taxa de emissão tCO₂e/produção nos anos de 2007 a 2014.

| tCO ₂ e / Produção | |
|-------------------------------|-----------|
| Ano | Taxa |
| 2007 | 1,436338 |
| 2008 | 0,7744015 |
| 2009 | 0,7597116 |
| 2010 | 0,7015371 |
| 2011 | 0,650989 |
| 2012 | 0,4934093 |
| 2013 | 0,4547767 |
| 2014 | 0,3895129 |

Fonte: Próprio autor.

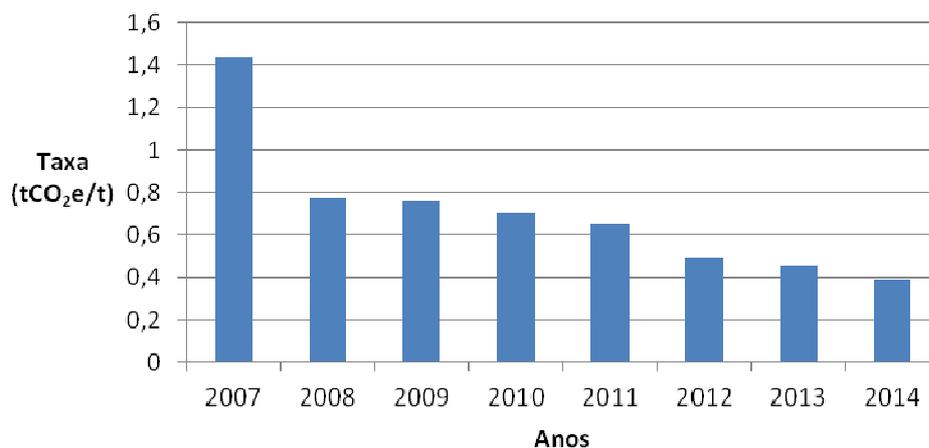


Figura 6- Representação gráfica da relação tonelada equivalente de carbono pela produção total entre os anos de 2007 e 2014.

Fonte: Próprio autor.

Observa-se na Figura 6, que há uma queda na taxa de emissão de toneladas equivalentes de carbono entre 2007 e 2008 que pode ser explicada pela interrupção de uma das linhas de produção da planta. A partir de 2008, contudo, não houve nenhuma alteração drástica nas linhas de produção. Acredita-se que uma possível razão para o decaimento da taxa de emissão nos anos seguintes deva-se a alterações na matriz energética da planta industrial.

De posse da produção total e do total de emissão da empresa foi elaborada uma relação entre as toneladas equivalentes de carbono pela produção total a cada ano (taxa).

Através da análise desta taxa, levantou-se a hipótese de que a substituição do tipo de combustível pudesse reduzir a emissão de GEE (os dados não foram apresentados, pois foram considerados como informação sigilosa).

As Tabelas 3 e 4 trazem, respectivamente, valores das correlações entre as emissões individuais de cada fonte emissora em relação ao total de tonelada de carbono emitido; e os valores das respectivas porcentagens de contribuição de cada fonte em relação ao total de tCO₂e emitido. Como se pode ver, as maiores correlações positivas entre as emissões parciais por fonte de emissão e a emissão total de tCO₂e ocorrem para o óleo BPF e o gás natural, seguido pela eletricidade. Além disso, em média, a emissão causada pelo consumo de óleo BPF e gás natural corresponde a 99,29% ± 0,57 da emissão total.

Tabela 3- Correlação entre emissão individual de cada fonte e o total emitido entre 2007 e 2014.

| Ano | Correlação | | | | |
|------|------------|----------|-------------|--------|--------|
| | Elétrica | Óleo BPF | Gás natural | Diesel | GLP |
| 2007 | 0,194 | 1,000 | - | - | - |
| 2008 | 0,916 | 1,000 | - | - | -0,092 |
| 2009 | 0,368 | 1,000 | - | -0,872 | 0,178 |
| 2010 | -0,276 | 1,000 | - | -0,554 | 0,216 |
| 2011 | 0,074 | 1,000 | - | -0,863 | 0,328 |
| 2012 | -0,004 | 0,723 | 0,322 | -0,699 | 0,637 |
| 2013 | 0,529 | - | 1,000 | 0,089 | 0,062 |
| 2014 | 0,894 | - | 0,998 | -0,555 | 0,419 |

Fonte: Próprio autor

Obs: As correlações foram calculadas utilizando os dados mensais, (os dados não foram apresentados, pois foram considerados como informação sigilosa).

Tabela 4- Porcentagem de cada fonte em relação ao tCO₂e total entre 2007 e 2014.

| Ano | % | | | | | |
|------|----------|----------|-------------|--------|-------|-------|
| | Elétrica | Óleo BPF | Gás natural | Diesel | GLP | Lodo |
| 2007 | 0,003 | 99,997 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | - |
| 2008 | 0,006 | 99,912 | 0,000 | 0,000 | 0,082 | - |
| 2009 | 0,002 | 99,331 | 0,000 | 0,261 | 0,406 | - |
| 2010 | 0,006 | 99,588 | 0,000 | 0,055 | 0,352 | - |
| 2011 | 0,003 | 99,343 | 0,000 | 0,228 | 0,425 | - |
| 2012 | 0,011 | 29,370 | 69,676 | 0,296 | 0,646 | - |
| 2013 | 0,018 | 0,000 | 98,909 | 0,197 | 0,876 | - |
| 2014 | 0,027 | 0,000 | 98,243 | 0,289 | 1,067 | 0,373 |

Fonte: Próprio autor

Como se pode observar, o óleo BPF e, posteriormente o gás natural, estão diretamente correlacionados com as emissões de tCO₂e, contribuindo com quase 100% da emissão total. Essas informações adicionais permitiram conjecturar que a razão para a redução da taxa de emissão de GEE tenha sido a mudança do combustível de caldeira de óleo BPF para gás natural em 2012.

6.4 ANÁLISE DO IMPACTO DA SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO BPF POR GÁS NATURAL

A influência da substituição do óleo BPF pelo gás natural no decaimento da taxa de emissão de GEE foi analisada utilizando-se análise de variância (ANOVA). Considerou-se cada ano de produção como um diferente tratamento a fim de avaliar a hipótese nula de que a

taxa média de emissão é estatisticamente igual para todos os tratamentos. Adotou-se 5% de nível de significância; a análise foi feita no *software R*.

De acordo com o resultado da ANOVA, vide Tabela 5, pelo teste F, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, existe diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ao nível de 5% de significância.

Tabela 5- ANOVA da taxa média de tCO₂e em função dos anos de produção.

| Fonte de variação | GL | SQ | QM | Fc | P |
|-------------------|----|---------|--------|--------|----------|
| Tratamento | 7 | 92,884 | 13,269 | 46,399 | 6,93E-24 |
| Resíduo | 88 | 25,166 | 0,029 | | |
| Total | 95 | 118,050 | | | |

Fonte: Próprio autor

em que:

GL: Grau de liberdade;
SQ: Soma de quadrados;
QM: Quadrado médio;
Fc: Valor F calculado;
P: P(Ft>Fc);
Ft: valor F tabelado.

Uma vez rejeitada a hipótese nula, aplicou-se o teste de comparação de médias *Scott-Knott* para verificar como os tratamentos se diferenciavam. A Tabela 6 traz o resultado do teste com os valores médios das taxas de emissão nos 8 anos analisados.

Tabela 6- Comparação de médias.

| Tratamento | Média | Grupo |
|------------|----------|-------|
| 2007 | 1,452628 | a |
| 2008 | 0,785023 | b |
| 2009 | 0,766956 | b |
| 2010 | 0,705425 | b |
| 2011 | 0,652985 | b |
| 2012 | 0,521318 | c |
| 2013 | 0,458616 | c |
| 2014 | 0,392275 | c |

Fonte: Próprio autor

Observou-se que os tratamentos foram agrupados em três distintos grupos cujos valores médios de taxa de emissão são considerados estatisticamente iguais. O tratamento

2007 é o único que pertence ao grupo a; isso já era esperado, pois como foi dito, de 2007 para 2008, uma linha de produção foi desativada. Tem-se, então o grupo b de 2008 a 2011, e o grupo c de 2012 a 2014. Coincidentemente, de 2008 a 2011 usava-se óleo BPF como combustível das caldeiras, ao passo que de 2012 a 2014 houve a substituição do óleo BPF pelo gás natural. Além disso, a taxa média de emissão do grupo b (tA) é de 0.73, ao passo que a taxa média de emissão do grupo c (tB) é de 0.46. Assim sendo, conclui-se que o decaimento da taxa de emissão a partir de 2012 deve-se à substituição do óleo BPF pelo gás natural.

6.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA INGRESSO NO MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO

A redução na taxa de emissão de GEE analisada na seção anterior foi resultado de uma ação da empresa a fim de reduzir impactos ambientais. Com essa redução, acreditou-se ser possível que a empresa participe do mercado voluntário de créditos carbono, mas para isso foi necessário um estudo sobre a viabilidade de ingresso nesse mercado.

A partir de ambas as taxas de emissão média (tA e tB) da planta estudada, e do total produzido pela planta, fez-se uma estimativa da emissão média de tCO₂e entre 2012 e 2014. Os valores de emissão de tCO₂e calculados utilizando-se a taxa tA são apenas uma simulação da emissão caso a empresa tivesse utilizado óleo BPF como combustível de caldeira; já os valores de emissão de tCO₂e calculados utilizando-se a taxa tB representam uma estimativa da emissão real. A diferença entre os valores calculados representam, então, uma estimativa da redução de emissão de tCO₂e. Os valores calculados podem ser observados na Tabela 7; que traz também o valor estimado da receita que a empresa poderia obter com a venda dos créditos de carbono associados à redução de emissão de tCO₂e, cujo valor aproxima-se de R\$248.000,00.

Tabela 7- Redução de emissão atribuída a mudança da matriz energética entre os anos de 2012 e 2014.

| Anos | tA*Produção (simulação) | tB*Produção (real) | Diferença |
|------|----------------------------|-----------------------|-----------|
| 2012 | 18.795,86 | 11.815,99 | 6.979,87 |
| 2013 | 20.502,29 | 12.888,74 | 7.613,55 |
| 2014 | 24.314,24 | 15.285,12 | 9.029,12 |
| | Total (tCO ₂ e) | | 23.622,54 |
| | US\$ (1) | | 77.954,38 |

Fonte: Hamrick (2016, p. 1)

⁽¹⁾ Com base na cotação do Crédito de Carbono Voluntário (US\$3,30).

A Figura 7 mostra a oscilação da cotação do crédito de carbono comercializado no MV. Em preto o valor do crédito carbono em Dólares:

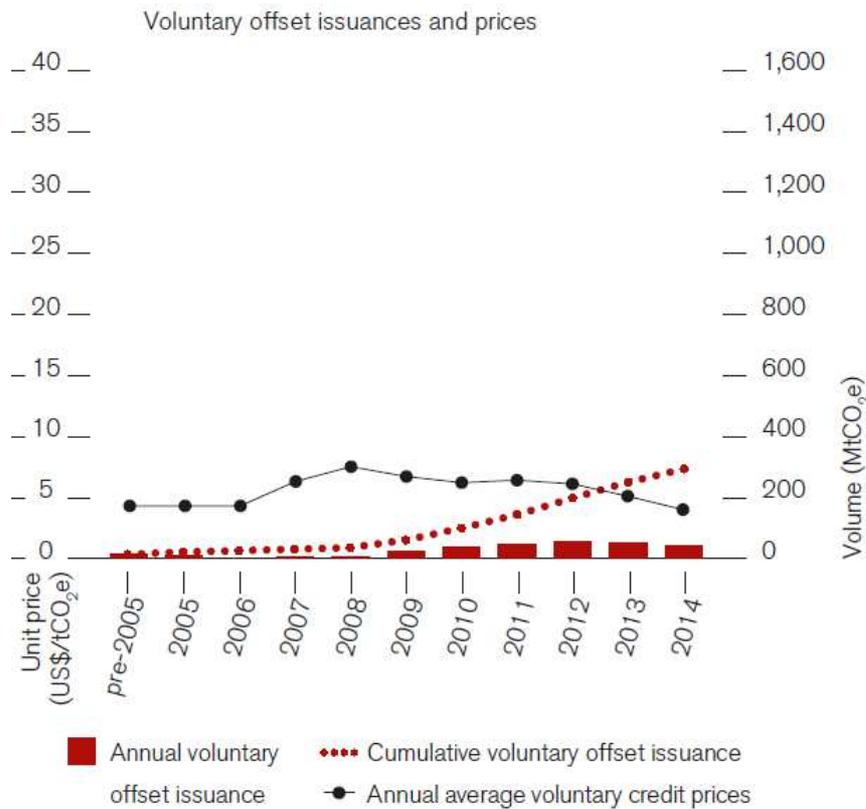


Figura 7- Cotação do Crédito de Carbono, em Dólares, negociados no Mercado Voluntário entre 2005 e 2014.

Fonte: KOSSOY e PESZKO (2015, p. 37)

6.6 MODELAGEM DE EMISSÃO DE tCO₂e EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO

Sabendo que a produção dos produtos estão diretamente relacionados com a geração GEE, a elaboração de um modelo que descreva essa relação possibilita a realização de previsão emissão mensal de tCO₂e, e portanto, o estabelecimento de metas de redução de emissão de tCO₂e.

A princípio, poder-se-ia modelar a relação de emissão mensal de tCO₂e com a quantidade produzida de cada produto mensalmente, ou modelar a relação de emissão mensal tCO₂e com a quantidade produzida em cada linha de produção mensalmente. Primeiramente, então, feito uma análise de correlação para decidir se a modelagem seria feita da relação às linhas de produção ou aos produtos. As Tabelas 8 e 9 mostram as correlações do total de tCO₂e emitido com a quantidade produzida de cada produto e de cada linha, respectivamente; sendo que a linha de produção um (L1) é a soma da produção dos produtos

um (P1) e três (P3), e a linha de produção dois (L2) é constituída apenas da produção do produto dois (P2). As correlações foram calculadas utilizando-se os dados mensais disponíveis nos Apêndices A, Tabelas A2 e A3.

Observando-se os valores de correlação nota-se uma alta correlação positiva do produto P1 e da linha L1. O produto P3 ocasionalmente também apresenta alta correlação positiva. Como a linha L1 produz os produtos P1 e P3, então, optou-se por modelar a relação entre a geração de tCO₂e com quantidade produzida nas linhas de produção; e assim também obter-se-ia um modelo com uma variável a menos.

Tabela 8- Correlação entre a produção de cada produto e o total de tCO₂e entre os anos de 2007 e 2014.

| Correlação | | | |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Anos | tCO ₂ e x P1 | tCO ₂ e x P2 | tCO ₂ e x P3 |
| 2007 | 0,070 | 0,481 | -0,124 |
| 2008 | 0,588 | 0,666 | -0,203 |
| 2009 | 0,977 | -0,005 | 0,643 |
| 2010 | 0,833 | 0,356 | 0,130 |
| 2011 | 0,919 | 0,198 | 0,800 |
| 2012 | 0,812 | 0,503 | 0,338 |
| 2013 | 0,886 | 0,209 | 0,142 |
| 2014 | 0,943 | 0,160 | 0,951 |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9- Correlação entre as linhas de produção e o total de tCO₂e entre os anos de 2007 e 2014.

| Correlação | | |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| Anos | tCO ₂ e x L1 | tCO ₂ e x L2 |
| 2007 | 0,006 | 0,481 |
| 2008 | 0,534 | 0,666 |
| 2009 | 0,985 | -0,005 |
| 2010 | 0,927 | 0,356 |
| 2011 | 0,924 | 0,198 |
| 2012 | 0,792 | 0,503 |
| 2013 | 0,865 | 0,209 |
| 2014 | 0,954 | 0,160 |

Fonte: Próprio autor.

Como não existiam modelos matemáticos prévios sobre a geração mensal de tCO₂e em relação à produção mensal da empresa, viu-se necessário elaborar alguns modelos matemáticos que expressem, da melhor forma possível, a relação dessas duas variáveis. Para escolher esses modelos matemáticos, foi gerado gráfico a partir de dados mensais da emissão total de tCO₂e em relação à produção da linha L1 (linha que tem maior correlação com a

emissão total de tCO₂e) com o intuito observar o comportamento qualitativo dessa relação e tomar uma decisão sobre quais modelos matemáticos adotar. O gráfico pode ser observado na Figura 8.

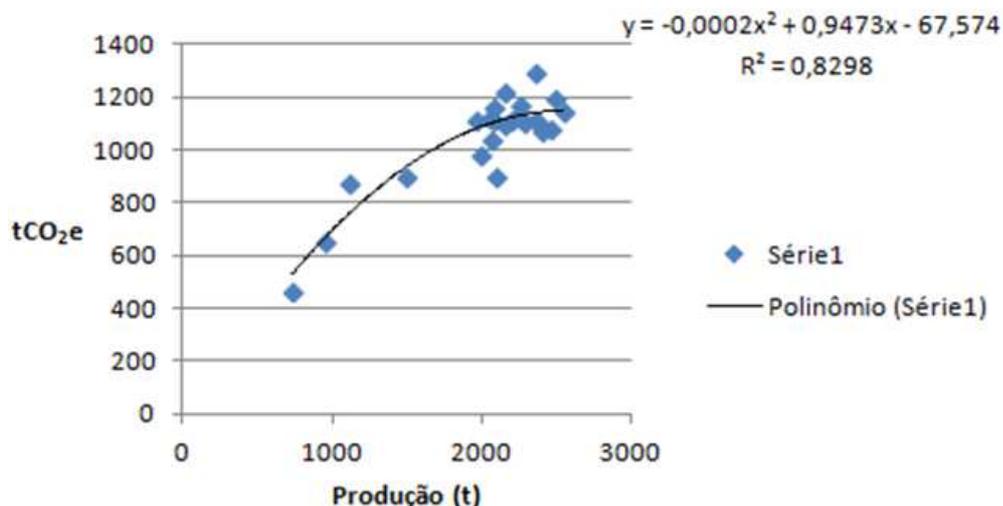


Figura 8- Gráfico da relação produção da linha L1 e geração de tCO₂e nos anos de 2013 e 2014.
Fonte: Próprio autor

Verifica-se que o ajuste de uma possível curva de tendência resulta numa equação polinomial de segunda ordem. Assim, os modelos matemáticos propostos, vide Tabela 10, baseiam-se em relações lineares e quadráticas da produção nas linhas L1 e L2. Vale observar que o estudo de modelagem utilizou apenas dados dos anos de 2013 e 2014, quando a empresa já tinha substituído totalmente o óleo BPF por gás natural; além disso, não foram utilizados dados de meses em que a empresa realizou testes de operação da recicladora de PET.

Tabela 10- Modelos de emissão de tCO₂e em função da produção de cada linha.

| Modelos | Equações |
|---------|-------------------------|
| 1 | $A(L1) + B(L2) + C$ |
| 2 | $A(L1^2) + B(L2^2) + C$ |
| 3 | $A(L1^2) + B(L2) + C$ |
| 4 | $A(L1^2) + B(L1) + C$ |
| 5 | $A(L1) + B(L2^2) + C$ |
| 6 | $A(L2) + B(L2^2) + C$ |

Fonte: Próprio autor

Utilizando o método de mínimos quadrados generalizados não linear, particularmente usando a função `gnls` do pacote `nlme` do software R, foi possível estimar os parâmetros (A, B, C) de cada modelo. A Tabela 11 traz o valor estimado de cada parâmetro de cada modelo, bem como o nível de significância (p) associado.

Tabela 11- Valores de cada parâmetro e suas respectivas significâncias para cada modelo.

| Modelos | A | p | B | p | C | p |
|---------|--------|--------|---------|--------|-----------|--------|
| 1 | 0,2575 | 0,0005 | -0,0022 | 0,9865 | 488,7196 | 0,0010 |
| 2 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0002 | 0,4799 | 737,1767 | 0,0000 |
| 3 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0039 | 0,9757 | 738,6572 | 0,0000 |
| 4 | 0,0002 | 0,1882 | -0,5959 | 0,3503 | 1330,2891 | 0,0503 |
| 5 | 0,2514 | 0,0003 | 0,0002 | 0,5298 | 494,0295 | 0,0007 |
| 6 | 0,3916 | 0,5380 | -0,0005 | 0,7685 | 1006,3273 | 0,0000 |

Fonte: Próprio autor.

Como se pode observar a partir dos dados da Tabela 11, o parâmetro B tem alto valor p para qualquer um dos modelos propostos, isso está de acordo com a baixa correlação entre a geração de tCO₂e e a produção da linha L2 obtida anteriormente; ou seja, em outras palavras pode-se dizer que a produção da linha L2 pode ser admitida como uma pequena variação aleatória, isto é, um erro experimental que pode ser incorporado ao termo constante do modelo. Assim sendo, novos modelos foram propostos relacionando a geração de tCO₂e com a produção total T (das linhas L1 e L2 somadas), vide Tabela 12.

Tabela 12- Modelos de emissão de tCO₂e em função da produção total.

| Modelos | Equações |
|---------|---------------------|
| 1 | $A(T) + C$ |
| 2 | $A(T^2) + B(T) + C$ |
| 3 | $A(T^2) + C$ |

Fonte: Próprio autor

A Tabela 13 traz o valor estimado de cada parâmetro de cada modelo, bem como o nível de significância (p) associado.

Tabela 13- Valores de cada parâmetro e suas respectivas significâncias para cada modelo em relação a produção total.

| Modelos | A | p | B | p | C | p |
|---------|------------|--------|---------|--------|----------|--------|
| 1 | 0,2003 | 6e-04 | - | - | 583,3569 | 1e-04 |
| 2 | 0,0001 | 0,5872 | -0,0733 | 0,4295 | 865,3684 | 0,1198 |
| 3 | 4.6959e-05 | 5e-04 | - | - | 789,0371 | 1e-10 |

Fonte: Próprio autor

Como se pode observar a partir dos dados da Tabela 13, o modelo 2 tem alto valor p para todos os parâmetros, assim, concluiu-se que o modelo não é representativo. A fim de selecionar o modelo que mais representativo dentre os dois modelos estatisticamente

significativos foram utilizados também os seguintes testes e avaliadores de qualidade para avaliação da qualidade de ajuste dos modelos: teste de Durbin-Watson - DW (Durbin; Watson, 1951) para autocorrelação residual, critério de informação de Akaike - AIC (Akaike, 1974), critério de informação Bayesiano - BIC, (Schwarz, 1978) e Desvio Padrão Residual - DPR. A Tabela 14 mostra os resultados de cada modelo nos cinco tipos de testes diferentes.

Tabela 14- Testes de análise de qualidade do modelo.

| Modelo | AIC | BIC | logLik | DPR | p (DW) |
|--------|----------|----------|-----------|----------|--------|
| 1 | 171,4783 | 173,6024 | -82,73914 | 64,62198 | 0,272 |
| 3 | 171,1219 | 173,246 | -82,56093 | 63,85878 | 0,172 |

Fonte: Próprio autor

Os resultados dos testes de qualidade indicam o modelo 3 como o melhor modelo, pois o modelo obteve melhores indicadores em todos os testes: menor valor AIC e BIC, maior valor logLik, menor valor DPR, e alto valor p para o teste DW. Na Figura 9, pode-se observar os dados de emissão de tCO₂e em função da produção total, bem como o comportamento do modelo (vermelho).

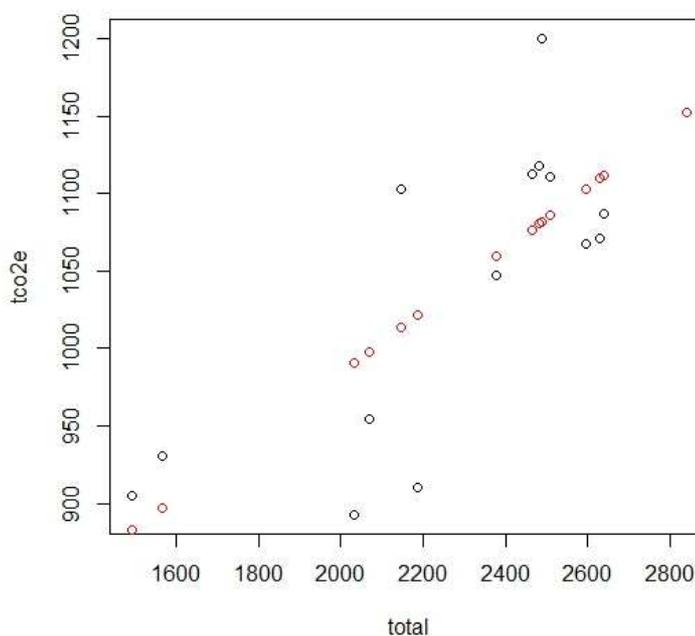


Figura 9- Visualização do modelo, disposição dos dados reais (preto) em relação aos dados gerados pelo modelo (vermelho).

Fonte: Próprio autor

O uso do modelo auxiliará a empresa nas decisões de planos de metas de redução de emissões de GEE no sentido de que o modelo permite realizar projeções de emissões; por exemplo, se a empresa mantiver a produção mensal média dos anos de 2012 a 2014 (1044,34 t), num horizonte de 10 anos, estima-se a emissão de um total de 100830,33 tCO₂e.

6.7 LINHA DE BASE PARA CÁLCULO DE REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GEE PROMOVIDA PELA RECICLADORA DE PET

Deparando-se com estimativas de emissão de longo prazo como esta obtida a partir do modelo criado, fica evidente a necessidade de proposição de medidas de mitigação de emissões de GEE. Com este objetivo, a empresa implantou uma unidade de processamento de reciclagem de garrafas PET a fim de obter resina PET reciclada e substituir, mesmo que parcialmente, a matéria prima virgem em suas linhas de produção.

Até onde se sabe, não existe na literatura uma linha de base metodológica para cálculo de redução de emissão de GEE promovida por recicladoras de garrafas PET. Assim sendo, propôs-se a linha de base metodológica descrita no Apêndice B. A seguir, apresenta-se a aplicação dessa linha de base para o primeiro ano de funcionamento da recicladora de garrafas PET (2014) – sabe-se que a capacidade instalada não atinge 12.000 toneladas por ano de produto, oriundo da reciclagem de PET.

Ao iniciar os cálculos é necessário calcular emissões de linha de base, para produção que utiliza resina virgem, utilizando-se a Equação AB.1.

Assumindo os valores conforme a Tabela 15 chega-se a um valor de BE_y igual a 239.822 tCO₂/ano de emissões de linha de base para o ano de 2014.

Tabela 15- Valores dos fatores usados no exemplo de cálculo de BE_y de uma linha de base.

| Fator | Valor | Fonte |
|----------------|-----------------------------|--|
| Q_y | 360 t/a | (ACAMAR, 2016) |
| L | 0,75 | (DORMER et al., 2013) |
| SEC_{BI} | 1.110 Mwh/t | (UNFCCC-CDM, 2012) |
| $EF_{el,y}$ | 0.8 tCO ₂ /MWh | (UNFCCC-CDM, 2015; WRI, 2003) |
| SFC_{BI} | 15 GJ/t | (UNFCCC-CDM, 2012) |
| EF_{FF,CO_2} | 0.0153 tCO ₂ /GJ | (EGGLESTON et al., 2006) (Chapter 2: Energy) |

Fonte: Próprio autor

O próximo passo é calcular as emissões da unidade de processamento de reciclagem; utiliza-se para tal fim a Equação AB.2. Para encontrar os valores de EC_y e FC_y , fatores necessários na Equação AB.2, são usadas as Equações AB.3 e AB.4; a Tabela 16 possui os valores dos fatores utilizados nestas duas equações.

Tabela 16- Valores dos fatores usados no exemplo de cálculo de EC_y e FC_y de uma linha de base.

| Fator | Valor | Fonte |
|------------|--|--|
| EC_T | 30,75 MWh/a | (informação verbal) ¹ |
| FC_T | 11158,34 Unidades de volume/a | (informação verbal) ¹ |
| $Q_{s,y}$ | Relação com a Q_y : 41% papel, papelão; 14% metal; 15% plástico; 5% vidro; 1% alumínio; 6% PET | (CALDERONI, 2003) PET: (RODRIGUES et al., 2010) |
| $\$y$ | R\$ 800,00/t | (MINEIRO, s.d.) |
| $\$_{s,y}$ | R\$ 400,00/t papel, papelão; R\$ 180,00/t metal; R\$ 500,00/t plástico; R\$ 130,00/t vidro; R\$ 3000,00/t alumínio | (CALDERONI, 2003) |

Fonte: Próprio autor

Os demais fatores utilizados na Equação AB.2 estão definidos na Tabela 17.

Tabela 17- Valores dos fatores usados no exemplo de cálculo de P_y , de uma linha de base.

| Fator | Valor | Fonte |
|--------------|--|--|
| EC_y | 4,23 MWh/t | Próprio autor |
| FC_y | 1536,00 unidades de massa ou volume/t | Próprio autor |
| NCV_{FF} | 48 GJ/unidades de massa ou volume no ano | (EGGLESTON et al., 2006). (Chapter 2: Energy) |
| SEC_{proc} | 0,5 GJ/t | (IEA, 2007) |

Fonte: Próprio autor

Sendo assim, encontra-se um valor de 1.275 tCO₂/ano de emissões na unidade de processamento de reciclagem no ano de 2014 para PE_y .

Para o cálculo das reduções de emissões indiretas (devido à substituição de matéria-prima virgem por reciclada; e devido ao fato da garrafa PET não ser mais descartada no meio ambiente, lixões e outros) é utilizada a Equação AB.5.

Sendo %MA um valor de 1% ou 0,014 kgCO₂/kg (DORMER et al., 2013) e TET de 3% ou 0,051 kgCO₂/kg (DORMER et al., 2013), obtém-se um a valor de DE_y igual a 3.358 tCO₂/ano.

Por fim, utilizando-se a Equação AB.6 tem-se o valor de redução de emissão, ER_y no ano de 2014 no valor de 241.904 tCO_{2e}. Note que o valor aproxima-se a 2000 tCO_{2e}, mostrando um grande potencial de inserção do projeto no MV.

¹ Dados sobre a coleta de recicláveis no município de Lavras fornecidos pela empresa Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Lavras (ACAMAR), em fevereiro de 2016.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho realizaram-se os inventários de emissões de carbono equivalente de uma empresa de fibras na região de Poços de Caldas entre 2007 e 2014. A elaboração do inventário seguiu metodologias sugeridas pelo IPCC e pelo programa GHG Protocol. Um tutorial para elaboração de futuros inventários foi produzido e encontra-se no Apêndice A.

A partir da análise dos inventários pode-se averiguar que o óleo BPF (posteriormente gás natural) utilizado nas caldeiras era o principal emissor de tCO₂e. Análises estatísticas revelam que houve diminuição de emissão de gases quando o combustível utilizado passou para gás natural (esses dois combustíveis representam aproximadamente 99% da emissão da empresa). Essa redução da emissão pode gerar créditos de carbono à empresa. Com valores atuais da cotação dos créditos carbonos foi possível constatar que a entrada no Mercado Voluntário de Carbono pode ser uma boa alternativa para a empresa maximizar seus lucros (aproximadamente R\$248.000,00), ao passo que além das ações vendidas existe a possibilidade de ampliar os parceiros de negócios.

Analisando-se as emissões da empresa por linha de produção constatou-se que uma das linhas apresenta maior taxa de emissão de carbono equivalente. A partir dos dados de emissão foram gerados modelos a fim de possibilitar a realização de previsão de emissões por parte da empresa. Dentre os modelos sugeridos encontrou-se o que melhor se adequa aos dados, porém ainda vê-se a possibilidade de melhorar esse resultado utilizando a função de densidade de probabilidade, com o intuito de elaborar um modelo probabilístico da relação produção por linha e emissão de tCO₂e.

Com a recicladora, a empresa tem a possibilidade de contabilizar créditos carbonos proveniente da reciclagem para incorporar aos demais. Para tanto foi elaborada uma linha de base capaz de efetuar os cálculos do PET reciclado da empresa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Gases de efeito estufa: especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro, 2007.

AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

AGYEMANG, M.; ZHU, Q.; TIAN, Y. Analysis of opportunities for greenhouse emission reduction in the global supply chains of cashew industry in West Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 149-161, Dec. 2015.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, Boston, v. 19, n. 6, p. 716-723, dec. 1974.

ARENA, U.; MASTELLONE, M. L.; PERUGINI, F. Life cycle assessment of a plastic packaging recycling system. **Department of Environmental Sciences, II University of Naples**, Caserta, v. 8, n. 2, p. 92-98, Feb. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PET (ABIPET). **9º Censo de Reciclagem de PET no Brasil: O ano 2012**. [S.l.], 2013.

ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS (APM). **Eco-profiles of the European Plastics Industry: Polyethylene Terephthalate (PET) (Blottle grade)**. Brussels, 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto: Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil**, p. 29. s.d.

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Editora Humanitas, 2003.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **MANUAL DE CAPACITAÇÃO: Mudança climática e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo**. Brasília, 2010.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Ciclosoft**. 2014. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclosoft/id/2>>. Acesso em: 11 Maio 2016.

ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 16., 2014, São Paulo. **Anais...** São Paulo: XVI ENGEMA, 2014.

DORMER, A. et al. Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 133-141, 13 Jan. 2013.

DURBIN, J.; WATSON, G. S. Testing for serial correlation in least squares regression, II. **Biometrika**, v. 38, n.1-2, p. 159-179, June 1951.

EGGLESTON, H. S. et al. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Japão: IGES, 2006.

FABI, A. R. **Comparação do consumo de energia e emissão de CO₂ entre garrafas de PET e de vidro, utilizando análise ambiental de ciclo de vida**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, G. et al. Opportunities for GHG emissions reduction in road projects: a comparative evaluation of emissions scenarios using CO₂NSTRUCT. **Journal of Cleaner Production**, v. 104, p. 156-167, May 2015.

GREENHOUSE GAS PROTOCOL (GHG-PROTOCOL). **Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa, Segunda Edição**. São Paulo: Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP, 2004.

GOULART, B. S.; ALVIM, A. M. Comercialização de créditos de carbono e seu impacto econômico e social. **A Revista Acadêmica da FACE**, Porto Alegre, v. 22, n. 1, p. 72-88, June 2011.

HAMRICK, K. **State of the voluntary carbon markets**. Washington: Ecosystem Marketplace, 2015.

HAMRICK, K. **Raising ambition: state of the voluntary carbon markets**. Washington: Ecosystem Marketplace, 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Sobre: O que é o IPCC? 2015. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acesso em: 10 Mar. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking industrial energy efficiency and CO₂ emission**. Paris, 2007.

INVESTING.COM. **Cotações**. 2014. Disponível em: <<http://www.investing.com/commodities/carbon-emissions>>. Acesso em: 20 Nov. 2014.

KOSSOY, A.; PESZKO, G. **State and Trends of Carbon Pricing**. Washington: World Bank and Ecofys, 2015.

LOPES, I. V. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 2002.

LOUREIRO, S. M.; ROVERE, E. L. L.; MAHLER, C. F. Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro. **Waste Management**, v. 33, p. 1302-1312, Mar. 2013.

MACIEL, C. V. et al. Crédito de Carbono: comercialização e contabilização a partir de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. **Revista de Informação Contábil (RIC)**, v. 3, n. 1, p. 89-112, Jan./Mar. 2009.

MERCADO MINEIRO. **Pesquisa do quilo da Latinha de Alumínio, Papel e Garrafa PET para reciclagem (compra)**. 2016. Disponível em: <<http://www.mercadomineiro.com.br/pesquisa/lata-aluminio-pet-papel-pesquisa-precos>>. Acesso em: 29 maio 2016.

BICCA NETO, V. **CEMPRE REVIEW 2015**. São Paulo: Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), 2015.

PAIVA, D. S.; GOULART, R. C.; ANDRADE, J. C. S. **Estrutura e funcionamento do mercado brasileiro voluntário de carbono**. In: Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 8, 2012, Bahia.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2014. Vienna: Disponível em: <http://www.R-project.org>. 2013. Acesso em: 20 Nov. 2014.

RODRÍGUEZ, G. **Appendix A: review of likelihood theory**. Princeton University, 2007.

RODRIGUES, J. et al. **Proposta de Implantação de um Centro de Triagem de Materiais Recicláveis Junto ao Aterro Sanitário de Cachoeira Paulista - SP**. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) – Departamento de Economia, Contabilidade, administração e Secretariado, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2010.

SÃO PAULO (Município). Prefeitura Municipal. Secretaria. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Prefeitura arrecada R\$ 4,5 milhões em leilão de créditos de carbono**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/27/2014/01/06junho12.pdf>>. Acesso em: 13 Novembro 2014.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. **Annals of Statistics, Hayward**, v.6, n.2, p.461-464, Mar. 1978.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Kyoto Protocol to the United Nations Framework**. [S.l.], 1998.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Proposta de projeto MDL do Grupo Votorantim Cimento**. 2005.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Kyoto Protocol Reference Manual: on Accounting of Emissions and Assigned Amount**. Bonn, 2008.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its eighth session, held in Doha from 26 November to 8 December 2012. Addendum 01**. [S.l.], 2013.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (UNFCCC-CDM). **AMS-III.AJ. EB70, Annex 28 - Small-scale Methodology: Recovery and recycling of materials from solid wastes - Version 4.0**. [S.l.], 2012.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (UNFCCC-CDM). **EB87, Annex 9 - Methodological Tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system - Version 5.0.** [S.l.], 2015.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **The GHG Protocol for Project Accounting.** Conches-Geneva, 2003.

APÊNDICE A – Tutorial da Ferramenta GHG Protocol

1 DOWNLOAD DA FERRAMENTA

Entrar no site da GHG-Protocol <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/>> e acessar “Método e Ferramentas” conforme a Figura 10.



Figura 10- Acessar Método e Ferramenta
Fonte: GHG-Protocol (2004).

Feito isso se deve entrar em “Conheça o Registro Público de Emissões” conforme a Figura 11.



Figura 11- Acessar Conheça o Registro Público de Emissões.
Fonte: GHG-Protocol (2004).

Feitos os dois primeiros passos deve-se entrar em “Ferramenta de Calculo” como mostra a Figura 12.



Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol

Conheça as especificações da metodologia GHG Protocol desenvolvidas pelo Programa Brasileiro para adaptar sua aplicação ao contexto brasileiro.

Ferramenta de Cálculo

[A ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol visa auxiliar os gestores no processo de elaboração do inventário de GEE, oferecendo opções de cálculo para diversas fontes.](#)

Verificação

O objetivo principal da verificação por terceira parte é assegurar a credibilidade do inventários de GEE de uma organização. Conheça as Especificações de Verificação desenvolvidas pelo Programa Brasileiro GHG Protocol.

Figura 12- Acessar Ferramenta de Cálculo.
Fonte: GHG-Protocol (2004).

Para finalizar é necessário fazer download da “Ferramenta intersetorial” conforme mostra a Figura 13.

Ferramenta de Cálculo

17/12/2014

COMPARTILHE  Tweet  Facebook  Email

As ferramentas de cálculo do Programa Brasileiro GHG Protocol visam auxiliar os gestores no processo de elaboração do inventário de GEE:



- [Ferramenta intersetorial \(download\)](#)

- [Ferramenta auxiliar para o cálculo de distâncias aéreas \(download\)](#)

Figura 13- Fazer download da Ferramenta intersetorial.
Fonte: GHG-Protocol (2004).

2 UTILIZANDO A FERRAMENTA

2.1 DADOS DA EMPRESA

Ao abrir a ferramenta, a primeira planilha apresentada ao abrir é a “Introdução”, conforme a Figura 14, nessa deve ser preenchida o nome e endereço da empresa, o ano do inventariado (de qual ano são os dados a serem utilizados), nome e telefone do responsável e a data em que se preencheu a ferramenta.

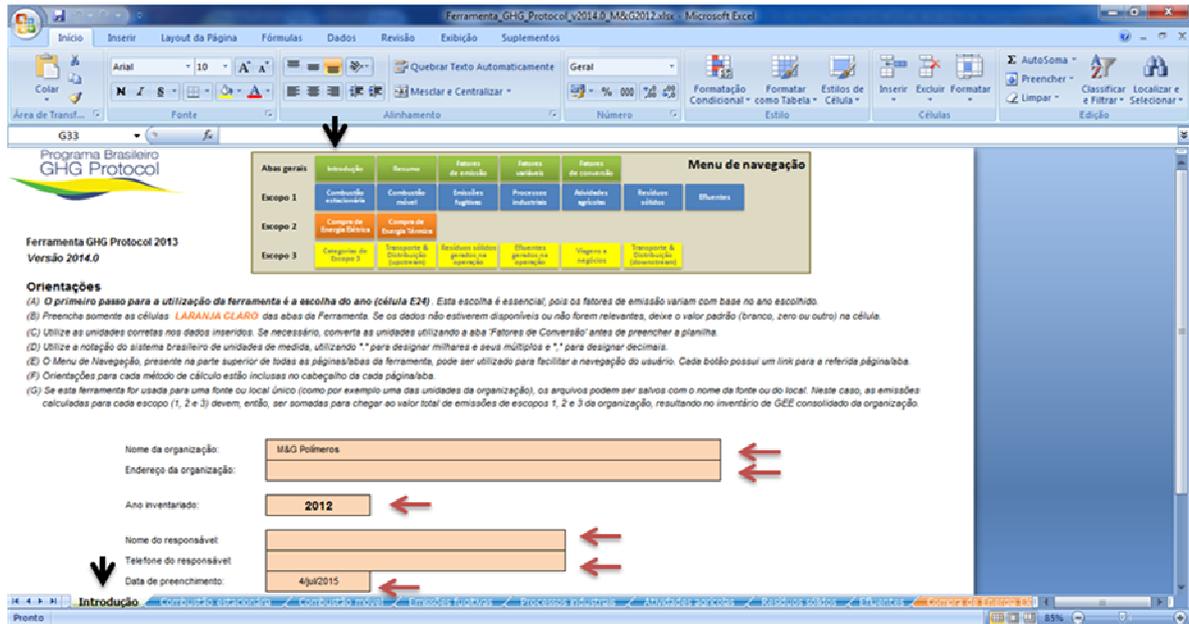


Figura 14- Introdução, setas para orientar em qual planilha está trabalhando (preto) e os locais de preenchimento (vermelho).

Fonte: GHG-Protocol (2004).

2.2 COMBUSTÃO ESTACIONÁRIA



Figura 15- Planilha combustão estacionária no menu de navegação.

Fonte: GHG-Protocol (2004).

Na planilha Combustão Estacionária, na Figura 15, deve ser registrada qual a fonte, o combustível utilizado e quantidade anual consumida. Particularmente, na M&G as fontes são a Caldeira, que utilizam Óleo BPF e Gás Natural Seco, além da Bomba de brigada contra incêndios, que utiliza Óleo Diesel (comercial). Esses dados devem ser preenchidos na Tabela 1 da planilha conforme o exemplo ilustrado na Figura 16.

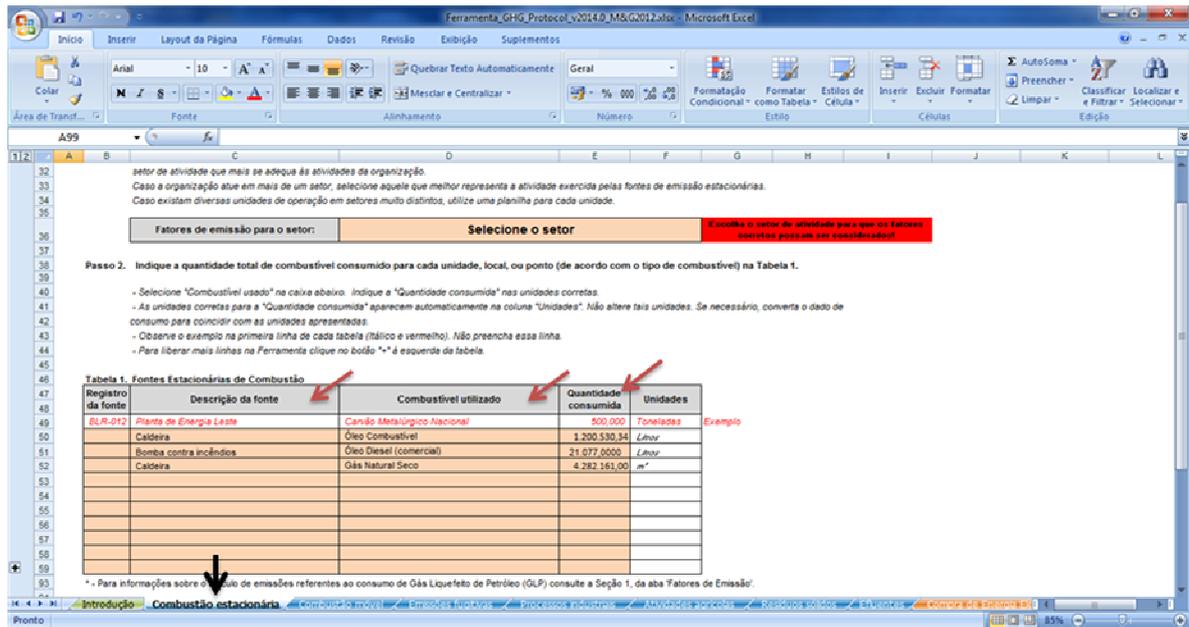


Figura 16- Combustão estacionária, setas indicando os locais a serem preenchidos (vermelho) e a planilha em que se encontra (preta).
Fonte: GHG-Protocol (2004).

2.3 COMBUSTÃO MÓVEL



Figura 17- Planilha combustão móvel no menu de navegação.
Fonte: GHG-Protocol (2004).

Na planilha Combustão, Figura 17, móvel é necessário ir até a Tabela 2 e dar entrada com os dados da fonte, ou seja, qual o veículo utilizado, como também o combustível e sua quantidade consumida, seja essa mensal ou anual. No caso da M&G o combustível das empilhadeiras é o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). Lembrando que a Ferramenta 2013 não efetua os cálculos como a de Ferramenta 2014, sendo necessária uma nova metodologia assim como foi feito para o lodo, que será apresentado no capítulo 2.4 RESÍDUOS SÓLIDOS. A Figura 18 mostra como é à disposição dos dados na ferramenta.

107 Tabela 2. Cálculo de emissões por tipo de combustível

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

364

365

366

367

368

369

370

371

372

373

374

375

376

377

378

379

380

381

382

383

384

385

386

387

388

389

390

391

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

402

403

404

405

406

407

408

409

410

411

412

413

414

415

416

417

418

419

420

421

422

423

424

425

426

427

428

429

430

431

432

433

434

435

436

437

438

439

440

441

442

443

444

445

446

447

448

449

450

451

452

453

454

455

456

457

458

459

460

461

462

463

464

465

466

467

468

469

470

471

472

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

486

487

488

489

490

491

492

493

494

495

496

497

498

499

500

501

502

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

520

521

522

523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

538

539

540

541

542

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

595

596

597

598

599

600

601

602

603

604

605

606

607

608

609

610

611

612

613

614

615

616

617

618

619

620

621

622

623

624

625

626

627

628

629

630

631

632

633

634

635

636

637

638

639

640

641

642

643

644

645

646

647

648

649

650

651

652

653

654

655

656

657

658

659

660

661

662

663

664

665

666

667

668

669

670

671

672

673

674

675

676

677

678

679

680

681

682

683

684

685

686

687

688

689

690

691

692

693

694

695

696

697

698

699

700

701

702

703

704

705

706

707

708

709

710

711

712

713

714

715

716

717

718

719

720

721

722

723

724

725

726

727

728

729

730

731

732

733

734

735

736

737

738

739

740

741

742

743

744

745

746

747

748

749

750

751

752

753

754

755

756

757

758

759

760

761

762

763

764

765

766

767

768

769

770

771

772

773

774

775

776

777

778

779

780

781

782

783

784

785

786

787

788

789

790

791

792

793

794

795

796

797

798

799

800

801

802

803

804

805

806

807

808

809

810

811

812

813

814

815

816

817

818

819

820

821

822

823

824

825

826

827

828

829

830

831

832

833

834

835

836

837

838

839

840

841

842

843

844

845

846

847

848

849

850

851

852

853

854

855

856

857

858

859

860

861

862

863

864

865

866

867

868

869

870

871

872

873

874

875

876

877

878

879

880

881

882

883

884

885

886

887

888

889

890

891

892

893

894

895

896

897

898

899

900

901

902

903

904

905

906

907

908

909

910

911

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

923

924

925

926

927

928

929

930

931

932

933

934

935

936

937

938

939

940

941

942

943

944

945

946

947

948

949

950

951

952

953

954

955

956

957

958

959

960

961

962

963

964

965

966

967

968

969

970

971

972

973

974

975

976

977

978

979

980

981

982

983

984

985

986

987

988

989

990

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

Figura 18- Combustão móvel, setas indicando os locais a serem preenchidos (vermelho) e a planilha em que se encontra (preta).
Fonte: GHG-Protocol (2004).

2.4 RESÍDUOS SÓLIDOS



Figura 19- Resíduos sólidos no menu de navegação.
Fonte: GHG-Protocol (2004).

Em resíduos sólidos, Figura 19, é necessário expandir a opção Incineração, mas como não havia uma metodologia para medição dos resíduos sólidos incinerados, deve-se fazer a contabilização das toneladas dos gases CO_2 , N_2O e CH_4 para que a ferramenta forneça a tCO_2e .

Foi utilizada uma metodologia do IPCC para o cálculo das quantidades desses gases que deve seguir os seguintes passos

1. Obter informações do site IPCC pelo site, Figura 20:
 - a. <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>>
 - b. Entrar no volume 5 (Waste);
 - c. Entrar Chapter 5 (Incineration and Open Burning of Waste);

- 2006 IPCC Guidelines Top
- Vol.1 GGR
- Vol.2 Energy
- Vol.3 IPPU
- Vol.4 AFOLU
- Vol.5 Waste



2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 5 Waste

| Chapter | Chapter Name |
|---------|---|
| - | Cover Page of Volume 5 |
| 1 | Introduction |
| 2 | Waste Generation, Composition, and Management Data |
| 3 | Solid Waste Disposal *1 IPCC Waste Model (MS Excel) |
| 4 | Biological Treatment of Solid Waste *9 |
| 5 | Incineration and Open Burning of Waste |
| 6 | Wastewater Treatment and Discharge *1 |
| Annex 1 | Worksheets *6 |

- *1: Corrected chapter(s) as of April 2007.
*6: Corrected chapter(s) as of August 2011.
*9: Corrected chapter(s) as of July 2015.

Figura 20- Acessar metodologia do IPCC.
Fonte: IPCC (2006).

2. Acessar as formula e coeficientes, necessários para o cálculo, para a contabilização dos gases.

a. Para o CO₂:

Utilizar a equação 5.1 conforme a Figura 21.

EQUATION 5.1

CO₂ EMISSION ESTIMATE BASED ON THE TOTAL AMOUNT OF WASTE COMBUSTED

$$CO_2 \text{ Emissions} = \sum_i (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \cdot 44/12$$

Figura 21- Equação utilizada para o cálculo da emissão de CO₂.
Fonte: IPCC (2006).

$$CO_2 \text{ Emissions} = \sum_i (SW_i * dm_i * CF_i * FCF_i * OF_i) * 44/12$$

CO₂ emissão é a quantidade de emissão no ano do inventário (Gg/ano)

SW_i é a quantidade total de resíduos sólidos incinerados (Gg/ano)

dm_i é o teor da matéria seca (Gg/ano)¹

CF_i é a fração de carbono na matéria seca²

FCF_i é a fração de carbono fóssil no total de carbono³

OF_i é o fator de oxidação⁴

44/12 é fator de conversão de C para CO₂

i é o tipo de resíduos incinerados

¹Após a saída do geotube a porcentagem de água do lodo é de 60%, então o fator é 0,4

²Encontrado na linha Total carbon content in % of dry weight e coluna Industrial Waste

³Encontrado na linha Fossil carbon fraction in % of total carbon content e coluna Industrial Waste

⁴Encontrado na linha *Oxidation factor in % of carbon input – incineration* e coluna *Industrial Waste*

Segue a Figura 22, utilizada para atribuir os fatores citados anteriormente à equação da Figura 21.

| TABLE 5.2 DEFAULT DATA FOR CO ₂ EMISSION FACTORS FOR INCINERATION AND OPEN BURNING OF WASTE | | | | | | |
|---|---------------------------|------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Parameters | Management practice | MSW | Industrial Waste (%) | Clinical Waste (%) | Sewage Sludge (%) Note 4 | Fossil liquid waste (%) Note 5 |
| Dry matter content in % of wet weight | | see Note 1 | NA | NA | NA | NA |
| Total carbon content in % of dry weight | | see Note 1 | 50 | 60 | 40 – 50 | 80 |
| Fossil carbon fraction in % of total carbon content | | see Note 2 | 90 | 40 | 0 | 100 |
| Oxidation factor in % of carbon input | incineration | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | Open-burning (see Note 3) | 58 | NO | NO | NO | NO |

NA: Not Available, NO: Not Occurring

Note 1: Use default data from Table 2.4 in Section 2.3 Waste composition and equation 5.8 (for dry matter), Equation 5.9 (for carbon content) and Equation 5.10 (for fossil carbon fraction).

Note 2: Default data by industry type is given in Table 2.5 in Section 2.3 Waste composition. For estimation of emissions, use equations mentioned in Note 1.

Note 3: When waste is open-burned, refuse weight is reduced by approximately 49 to 67 percent (US-EPA, 1997, p.79). A default value of 58 percent is suggested.

Note 4: See Section 2.3.2 Sludge in Chapter 2.

Note 5: The total carbon content of fossil liquid waste is provided in percent of wet weight and not in percent of dry weight (GIO, 2005).

References: GPG2000 (IPCC, 2000), Lead Authors of the 2006 *Guidelines*, Expert judgement.

Figura 22- Tabela dos fatores necessários para completar a equação de emissão do CO₂.
Fonte: IPCC (2006).

b. Para o CH₄:

Utilizar a equação 5.4 conforme a Figura 23

| |
|--|
| <p>EQUATION 5.4</p> <p>CH₄ EMISSION ESTIMATE BASED ON THE TOTAL AMOUNT OF WASTE COMBUSTED</p> $CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$ |
|--|

Figura 23- Equação utilizada para o cálculo da emissão de CH₄.
Fonte: IPCC (2006).

$$CH_4 \text{ Emissions} = \sum_i (IW_i * EF_i) * 10^{-6}$$

CH₄ emissão é a quantidade de emissão no ano do inventário (Gg/ano)

IW_i é a quantidade total de resíduos sólidos incinerados (Gg/ano)

EF_i é o fator de emissão agregado a CH₄, (kg CH₄/ Gg de resíduos) ¹

10⁻⁶ é fator de conversão de quilogramas para Megagramas

i é o tipo de resíduos incinerados

¹Encontrado na linha *Continuous incineration* (porque se trata de uma incineração contínua na cimenteira) – stoker e coluna do fator de emissão.

Segue a Figura 24, utilizada para atribuir os fatores citados anteriormente da equação da Figura 23.

| TABLE 5.3 CH ₄ EMISSION FACTORS FOR INCINERATION OF MSW | | |
|---|--------------------------------|---|
| Type of incineration/technology | | CH ₄ Emission Factors (kg/Gg waste incinerated on a wet weight basis) |
| Continuous incineration | stoker | 0.2 |
| | fluidised bed ^{Note1} | ~0 |
| Semi-continuous incineration | stoker | 6 |
| | fluidised bed | 188 |
| Batch type incineration | stoker | 60 |
| | fluidised bed | 237 |

Note 1: In the study cited for this emission factor, the measured CH₄ concentration in the exhaust air was lower than the concentration in ambient air.
Source: Greenhouse Gas Inventory Office of Japan, GIO 2004.

Figura 24- Tabela dos fatores necessários para completar a equação de emissão do CH₄.
Fonte: IPCC (2006).

c . Para o N₂O:

Utilize a equação 5.5 conforme a Figura 25.

| EQUATION 5.5 N ₂ O EMISSION ESTIMATE BASED ON THE WASTE INPUT TO THE INCINERATORS | |
|---|--|
| $N_2O \text{ Emissions} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$ | |

Figura 25- Equação utilizada para o cálculo da emissão de NO₂.
Fonte: IPCC (2006).

$$N_2O \text{ Emissions} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6}$$

N₂O emissão é a quantidade de emissão no ano do inventário (Gg/ano)

IW_i é a quantidade total de resíduos sólidos incinerados (Gg/ano)

EF_i é o fator de emissão agregado a N₂O, (kg N₂O / Gg de resíduos) ¹

10⁻⁶ é fator de conversão de quilogramas para Megagramas

i é o tipo de resíduos incinerados

¹Encontrado na linha Industrial waste – all types of incineration e coluna do fator de emissão.

Segue a Figura 26, utilizada para atribuir os fatores citados anteriormente à equação da Figura 25.

| Type of waste | Technology / Management practice | Emission factor (g N ₂ O / t waste) | weight basis |
|-------------------------------|---|--|--------------|
| MSW | continuous and semi-continuous incinerators | 50 | wet weight |
| MSW | batch-type incinerators | 60 | wet weight |
| MSW | open burning | 150 | dry weight |
| Industrial waste | all types of incineration | 100 | wet weight |
| Sludge (except sewage sludge) | all types of incineration | 450 | wet weight |
| Sewage sludge | incineration | 990 | dry weight |
| | | 900 | wet weight |

Source: Expert judgement by lead authors of this chapter of 2006 Guidelines

Figura 26- Tabela dos fatores necessários para completar a equação de emissão do N₂O.
Fonte: IPCC (2006).

Com a quantidade de gases emitidos é possível agora preencher a planilha Resíduos Sólidos. A Figura 27 mostra as células que devem ser preenchidas.

The screenshot shows a software interface for 'Incineration'. It includes a table with the following columns: CO₂ (t), CH₄ (t), N₂O (t), and CO₂e (t). The row 'Emissões de totais por incineração' is highlighted in black. Red arrows point to the CO₂, CH₄, and N₂O columns, indicating where data should be entered. A black arrow points to the 'Emissões de totais por incineração' row.

Figura 27- Resíduos Sólidos, setas indicando os locais a serem preenchidos (vermelho) e a planilha em que se encontra (preta).
Fonte: GHG-Protocol (2004).

2.5 COMPRA DE ENERGIA ELÉTRICA

| Abas gerais | Introdução | Resumo | Fatores de emissão | Fatores variáveis | Fatores de conversão | Menu de navegação | |
|-------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|--|-----------|
| Escopo 1 | Combustão estacionária | Combustão móvel | Emissões fugitivas | Processos industriais | Atividades agrícolas | Resíduos sólidos | Efluentes |
| Escopo 2 | Compra de Energia Elétrica | Compra de Energia Térmica | | | | | |
| Escopo 3 | Categorias de Escopo 3 | Transporte & Distribuição (upstream) | Resíduos sólidos gerados na operação | Efluentes gerados na operação | Viagens a negócios | Transporte & Distribuição (downstream) | |

Figura 28- Compra de energia elétrica no menu de navegação.
Fonte: GHG-Protocol (2004).

Em Compra de energia elétrica, Figura 28, é necessário expandir a opção Sistema Interligado Nacional (SIN), e preencher, na Opção 1 (Tabela 1), os campos Registro da fonte, Descrição da fonte e o total de energia utilizada em cada mês ou seu total anual. O preenchimento citado acima é ilustrada a seguir na Figura 29.

APÊNDICE B – Linha de Base

Projeto de recuperação e reciclagem de garrafas PET na indústria de fibras de poliéster

Tecnologia/medições

1. *Definição da Linha de Base:* Esta metodologia abrange um projeto de recuperação e reciclagem de garrafas politereftalato de etileno (PET) processadas em produtos intermediários ou finais, como resina plástica, que pode substituir matéria-prima virgem utilizada pela empresa, resultando em economia (mesmo que indireta) de energia, e redução de emissão de gases de efeito estufa.

Algumas definições úteis na interpretação desta metodologia:

Reciclagem mecânica: processos físicos/mecânicos pelos quais os materiais plásticos (como o PET) são obtidos de resíduos sólidos urbanos (RSU) através de separação, limpeza e compactação para futuro processamento de obtenção de produtos intermediários/finais que podem substituir matéria-prima virgem na cadeia industrial. O processo pode ser realizado manualmente ou por meio de equipamentos de triagem que lavam, secam, fazem a compactação, a trituração e a pelletização.

Unidade de reciclagem: instalações onde os materiais recicláveis dos RSU são recolhidos, classificados e preparados² em mercadorias comercializáveis para o processamento em locais únicos ou múltiplos.

Unidade de processamento: incluem processos industriais para transformar os materiais recicláveis obtidos das instalações de reciclagem em produtos intermediários/finais como, por exemplo, resina plástica.

Condições para a aplicação da metodologia:

- A. Deve ser possível medir diretamente e registrar a saída final da unidade de reciclagem, ou seja, o peso de garrafas PET que estão deixando a unidade de reciclagem (em base

² Utilizar água quente para limpar o plástico, com o intuito de desagregar materiais estranhos é uma parte essencial desta atividade.

seca)³; ou equivalentemente, o peso em garrafa PET que está entrando à unidade de processamento.

- B. A redução das emissões pode ser reivindicada em relação à diferença no uso da energia na produção de matéria-prima virgem e matéria-prima reciclada; além da redução relativa ao impacto de descarte de garrafa PET;
 - C. As reduções de emissão desta metodologia são contabilizadas para a unidade de processamento. Para que não exista dupla contagem de redução de emissões, deve haver um acordo contratual entre a unidade de processamento e a unidade de reciclagem para que a última não faça reivindicação de redução de emissões. Também em contrato deve ser provado que o material reciclado segue somente para processamento e não para outros fins, como fonte energética.
 - D. Demonstrar o percentual dos produtos manufaturados que foram produzidos a partir de matéria-prima oriunda da reciclagem de garrafa PET recolhidas no país, ou em outros países que não são do Anexo- I do Protocolo de Quito;
2. As medidas tomadas tem a intenção de indicar o total de redução de emissões de tCO₂e anuais da empresa.

Limite

3. O limite do projeto está relacionado aos ambientes de:
- a. Unidade de reciclagem;
 - b. Unidade de processamento;
 - c. Produção de material virgem;

Linha de Base

4. As emissões de linha de base são referentes à utilização de energia para produção da matéria-prima virgem utilizada pela indústria na produção de fibras de poliéster, que neste caso, é o politereftalato de etileno, mesma matéria-prima utilizada na produção de garrafa PET.
5. Pressuposições conservadoras para o cálculo de emissões de linha de base relacionada à produção da matéria virgem [1]:

³ Se vários processos ou instalações estão envolvidos considerar o peso final do material limpo e seco.

- a. Supõe-se que o gás natural fornece a energia necessária para o processo de craqueamento térmico para produzir etileno; um consumo específico de energia padrão utilizado deve ser de 15 GJ/t [1];
 - b. Energia de processo assumida para a polimerização sob alta pressão é suprida com energia elétrica; os valor padrão é de 4GJ/t (1,11 MWh/t) [2];
 - c. As demais etapas de produção, relacionadas à pelletização da matéria-prima virgem em flocos (fusão, formação, pelletização, empacotamento, etc) requerem quantidades relativamente insignificantes de energia, sendo assim ignoradas.
6. Emissões de linha de base para a produção de resina virgem são calculadas conforme a equação (AB.1).

$$BE_y = Q_y * L * (SEC_{Bl} * EF_{el,y} + SFC_{Bl} * EF_{FF,CO2}), \quad (AB.1)$$

em que:

- BE_y : Linha de base de emissão no ano y (tCO₂/ano);
- Q_y : Quantidade de material reciclado no ano(t/ano);
- L: Fator de ajuste bruto para compensar a degradação levando em conta a qualidade e a perda de material no processamento do produto final utilizando material reciclado (usar 0,75 [3]);
- SEC_{Bl} : Consumo elétrico específico para a produção de material virgem (Mwh/t); usar o valor especificado no parágrafo 5 (ii);
- $EF_{el,y}$: Fator de emissão para a geração de eletricidade (tCO₂/MWh), dado pela “ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema elétrico” [4], ou pela ferramenta do *GHG Protocol* [5]. Para material virgem proveniente de mais de um país que não é do Anexo-I, utiliza-se média ponderada dos fatores de emissões da rede, usando dados do mercado dos últimos três anos anteriores à data de início do projeto;
- SFC_{Bl} : Consumo específico de combustível para a produção de material virgem (GJ/t); usar valores especificados no parágrafo 5 (i);
- $EF_{FF,CO2}$: Fator de emissão CO₂ para combustível fóssil (tCO₂/GJ), vide [6].

Emissões da atividade de projeto

7. As emissões do projeto incluem emissões na unidade de reciclagem⁴ e na unidade de processamento⁵⁶; e podem ser calculadas a partir da equação (AB.2).

$$PE_y = (EC_y * EF_{el} + FC_y * NCV_{FF} * EF_{FF,CO_2}) + (Q_y * (SEC_{proc} * EF_{el,y})), \quad (AB.2)$$

em que:

- PE_y : Emissão do projeto no ano y (tCO₂/ano);
- EC_y : Consumo de eletricidade da unidade de reciclagem ponderada pela quantidade de PET (MWh/t) no ano y;
- FC_y : Consumo de combustível da unidade de reciclagem, ponderada pela quantidade de PET (unidades de massa ou volume/t) no ano y;
- NCV_{FF} : Valor calorífico líquido do combustível fóssil consumido na unidade de reciclagem no ano y (GJ/unidades de massa ou volume) [6];
- EF_{FF,CO_2} : Fator de emissão de CO₂ do combustível fóssil consumido na unidade de reciclagem (tCO₂/GJ) [6];
- SEC_{proc} : Consumo específico de eletricidade para processamento/fabricação, usar 0,5 MWh/t (1,8 GJ/t) [7].

8. O consumo energia elétrica e combustível da unidade de reciclagem (EC_y , FC_y) deve ser baseado no monitoramento do consumo de energia da unidade de reciclagem. As emissões do projeto serão atribuídas a cada unidade de massa de PET em relação aos preços de mercado, ou seja, as repartições das emissões serão proporcionais aos preços de plásticos, metais, orgânicos, vidros, papéis e etc. os preços de mercado podem ser monitorados ou determinados a cada período de crédito. Esta regra só pode ser aplicada se houver informação transparente sobre os preços de mercado disponível.

As equações (AB.3, AB.4) podem ser utilizadas para alocar emissões do projeto a cada unidade de massa de material segregado s pelos preços do mercado.

$$EC_y = EC_T \times \frac{Q_y * s_y}{\sum_s [Q_{s,y} * s_{s,y}]}, \quad (AB.3)$$

$$FC_y = FC_T \times \frac{Q_y * s_y}{\sum_s [Q_{s,y} * s_{s,y}]}, \quad (AB.4)$$

em que:

⁴ Emissões associadas ao transporte de PET da unidade recicladora para posterior processamento/fabricação sob a atividade do projeto são consideradas como equivalentes às emissões correspondentes ao transporte de matéria-prima virgem utilizada pela empresa na fabricação de seus produtos, portanto, ignorado nesta metodologia.

⁵ Considera-se que a matriz energética da unidade de processamento está restrita à energia elétrica. Caso contrário, a equação (AB.2) necessitará de termos adicionais.

⁶ Os dados de consumo da matriz energética da unidade de processamento poderão ser revisados a partir de estudos de série de dados fornecido pela empresa.

- s : Índice para cada matéria segregada na unidade de reciclagem com preço de mercado, incluindo *PET* e outros itens comercializáveis, como produtos orgânicos e vidros;
- EC_T : Consumo total de eletricidade da unidade de reciclagem no ano y (MWh/y);
- FC_T : Consumo total de combustível da unidade de reciclagem no ano y (unidade de massa ou volume/y);
- $Q_{s,y}$: Quantidade de material tipo s segregado na unidade de reciclagem no ano y (t/y);
- $\$y$: Preço médio de venda do PET no ano y ;
- $\$_{s,y}$: Preço médio de venda do material tipo s segregado no ano y .

Redução indireta de emissão

9. A redução indireta de emissão pelo fato de deixar de descartar o PET no meio ambiente, lixões ou aterros, tanto em relação ao transporte, quanto em relação ao tempo e impacto de degradação, pode ser calculada pela equação (AB.5).

$$DE_y = \%MA \times (BE_y + Q_y * TET) \quad (AB.5)$$

em que:

- DE_y : Redução da emissão de tCO₂e pelo não descarte do PET em aterro;
- $\%MA$: % de emissão de tCO₂e do PET que é disposto em aterro em relação à emissão do PET considerando todo seu ciclo de vida (usar de 1% a 3% da pegada de carbono) [3];
- TET : É a taxa de emissão devido ao transporte para o aterro (usar 0,051 tCO₂e/t ou 3% da pegada de carbono) [3,8].

Redução das emissões

10. As reduções de emissões obtida pela atividade do projeto podem ser determinadas a partir da equação (AB.6).

$$ER_y = BE_y - PE_y + DE_y \quad (AB.6)$$

em que:

- ER_y : Redução de emissão no ano y (tCO₂e)

Monitoramento

12. Os seguintes parâmetros devem ser monitorados e registrados durante o período de contabilização de créditos de carbono.

Tabela AB.1- Parâmetros a serem monitorados durante o período de contabilização de crédito carbono.

| No. | Parâmetro | Descrição | Unidade | Monitoramento/ frequência de registros | Métodos e procedimentos de medição |
|-----|-------------------------|---|---------|---|--|
| 1 | | Resíduo sólido municipal | t | Anualmente | Quantidade e distancia de transporte |
| 2 | $Q_{i,y}$ e $Q_{s,y}$ | Quantidade de cada um dos materiais segregados a partir da unidade de reciclagem com um preço de mercado, Incluindo PET e outros itens comercializáveis, tais como produtos orgânicos, vidro, etc | t | Registro no momento do envio de cada remessa com unidade de reciclagem para processamento / instalação / fabrica ou outros clientes | Pesagem direta e registro do peso, verificação cruzada com os registros da empresa, por exemplo, faturas. - Para PET, a uma verificação cruzada com a massa de produto(s) utilizado pela unidade de processamento/ fabricação usando registros de produção ⁷ |
| 3 | EC_y | Consumo de eletricidade da unidade recicladora no ano y | MWh | Contínuo | Medição com equipamentos calibrados |
| 4 | FC_y | Consumo de combustível fóssil da unidade recicladora no ano y | MJ | | Peso ou volume & densidade e valor calorífico |
| 5 | $\$_{i,y}$ e $\$_{s,y}$ | Preço de venda do plástico tipo <i>i</i> ou materiais no ano y | \$ | De acordo com o parágrafo 8 | Verificação cruzada com as faturas das vendas / recibos |

⁷ Isto é para assegurar que o PET reciclado são mais utilizados e substituem matéria-prima virgem.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA PARA A ELABORAÇÃO DO APÊNDICE B

- [1] UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (UNFCCC-CDM). **AMS-III.AJ. EB70, Annex 28 - Small-scale Methodology: Recovery and recycling of materials from solid wastes**. [S.l.], 2010.
- [2] UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (UNFCCC-CDM). **AMS-III.AJ. EB70, Annex 28 - Small-scale Methodology: Recovery and recycling of materials from solid wastes - Version 4.0**. [S.l.], 2012.
- [3] DORMER, A. et al. Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 133-141, 13 Jan. 2013.
- [4] UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (UNFCCC-CDM). **EB87, Annex 9 - Methodological Tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system - Version 5.0**. [S.l.], 2015.
- [5] WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **The GHG Protocol for Project Accounting**. Conches-Geneva, 2003.
- [6] EGGLESTON, H. S. et al. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 2: Energy**. Japão: IGES, 2006.
- [7] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Tracking industrial energy efficiency and CO2 emission**. Paris, 2007.
- [8] FABI, A. R. **Comparação do consumo de energia e emissão de co2 entre garrafas e pet e de vidro, utilizando análise ambiental de ciclo de vida**. 2004. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.