

## VI-043 - REDUÇÃO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM UMA INDÚSTRIA DE FIBRAS SINTÉTICA

**Luiz Felipe Ramos Turci<sup>(1)</sup>**

Engenheiro eletricista, doutor em Ciência da Computação e Engenharia Eletrônica.

**Héber Soares Caixeta<sup>(2)</sup>**

Engenheiro de Minas, mestre em Ciência e Engenharia Ambiental.

**Patrícia Neves Mendes<sup>(3)</sup>**

Estatística, doutora em Estatística.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG. Rodovia José Aurélio Vilela 11999, Cidade Universitária, Poços de Caldas-MG CEP37715-400 – Tel: +55 (35) 36974748 – e-mail: luiz.turci@unifal-mg.edu.br.

### 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-CHAVE:** Gases de efeito estufa, inventário de carbono, crédito de carbono, garrafas PET.

### 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Em 1997, na Conferência das Partes (COP3) no Japão, foi redigido, após intensas negociações, o Protocolo de Kyoto (PK), que estipulava até 2012 uma meta de redução média de 5% nas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) em comparação às emissões de 1990. Os países do Anexo I do PK são os países que juntos representavam 55% das emissões de GEE, 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).

Uma consequência do PK foi a criação de uma nova mercadoria que pode ser negociada globalmente, os créditos de carbono, que representam toneladas de equivalente de dióxido de carbono, possuem um valor de

mercado semelhante a outras *commodities*, e podem ser comercializados entre os participantes do mercado (GUPTA, 2016). Esse Mercado de Carbono é chamado de Mercado Regulado de Carbono (MR) (PAIVA, 2012). A possibilidade de negociar esses créditos estende-se por outros países e empresas que desejam participar voluntariamente, com projetos de redução de emissão já implantados e menor burocracia para certificação do crédito (PAIVA, 2012). Os créditos obtidos a partir de projetos de adesão voluntária são negociados no Mercado Voluntário de Carbono (MV).

Um exemplo de projeto de redução de emissão é a troca de combustível, de óleo para gás natural, pode impulsionar uma redução de gases de uma empresa, para tanto há MDL criadas e aprovadas, como por exemplo, a (MDL-DCP) Versão 02, que trata desse assunto. Outro nicho para possibilidade de redução de emissão está na reciclagem de PET. Em 2014, são contabilizados no Brasil 846 municípios a mais do que em 1994 que praticam a coleta seletiva (CEMPRE, 2014). Em 2012 foram reciclados 331kt de PET, que é o dobro do reciclado em 2004 (ABIPET, 2012). A reciclagem de PET tem grande impacto na redução de emissão de GEE, porque a matéria prima oriunda de material reciclado gasta 1 MJ/kgPET produzido, ao passo que a matéria prima virgem gasta 39 MJ/kgPET (Arena, 2003). Além disso, a reciclagem de PET ajuda a controlar a quantidade de resíduo sólido dispensado, sendo que as embalagens plásticas depositadas no meio ambiente, lixão ou aterro contribuem com imissão equivalente a 1% e 3% da emissão gerada no ciclo de vida do PET. O transporte do produto da fabrica até o varejo e posteriormente até o seu local de descarte são responsáveis por 3% da emissão em todo o ciclo de vida do produto (DOMER et al., 2013).

Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da inserção de uma empresa ao MV, uma vez que ela possui projetos de redução que envolve troca de combustível de caldeiras e reciclagem de resíduos sólidos urbanos, ou seja, determinar se houve redução de emissão devido à troca de combustíveis, e se a implantação da recicladora dá possibilidade de redução de emissão.

## 2. METODOLOGIA E RESULTADOS

### 2.1 INVENTÁRIO DE EMISÃO DE CARBONO

O primeiro passo para a elaboração do inventário de emissão de carbono foi a identificação das possíveis fontes de emissão de GEE da empresa. Essas foram agrupadas conforme sugere a metodologia do GHG *Protocol*, em três escopos:

- Escopo I (emissões diretas): a) Combustão Estacionária: óleo BPF e gás natural usado nas caldeiras; b) Combustão Móvel: óleo diesel do caminhão de bomba de brigada contra incêndios e gás liquefeito de petróleo usado nas empilhadeiras;
- Escopo II (emissões indiretas): Uso de eletricidade da empresa;
- Escopo III (demais fontes indiretas): Queima de lodo, resultado de tratamento de efluentes, em fornos.

Conhecidas as fontes e de posse dos consumos mensais de cada uma delas elaborou-se um inventário de carbono da empresa entre o ano base de 2008 e o ano fechado de 2014. Utilizando a metodologia do GHG *Protocol* foi possível quantificar a quantidade de tCO<sub>2</sub>e emitida pelas fontes constatadas na empresa. Com as tCO<sub>2</sub>e emitidas e as produções totais foi possível elaborar uma taxa de emissão, que é o resultado da divisão da tCO<sub>2</sub>e Total com o total da produção. A Figura 1 mostra a representação gráfica dessa taxa.

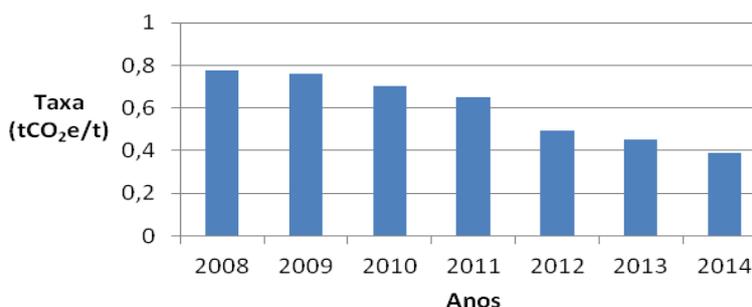


Figura Error! No sequence specified.- Representação gráfica das Taxas entre os anos de 2008 e 2014.

Na Figura 1 nota-se uma redução nos níveis da taxa e emissão de tCO<sub>2</sub>e a partir do ano de 2012. Sabe-se que a partir de 2012 a empresa começa a troca do combustível utilizado no funcionamento da caldeira.

## 2.2 SUBSTITUIÇÃO DE ÓLEO BPF POR GÁS NATURAL

A redução da taxa de emissão de tCO<sub>2</sub>e no mesmo ano em que houve a troca de combustível levanta a hipótese de que a troca do elemento consumido influencia na redução de emissão de GEE.

A fim de verificar essa hipótese utilizou-se análise de variância (ANOVA) com 5% de significância. A análise foi realizada utilizando-se dados mensais de emissão de tCO<sub>2</sub>e, considerou-se como tratamento a ano. Pelo teste F, rejeita-se a hipótese nula, assim, conclui-se que, com 5% de significância, há diferença estatística da taxa média de emissão de tCO<sub>2</sub>e ao longo dos anos. Com a hipótese nula rejeitada aplicou-se o teste *Scott-Knott* para comparação das médias, com o intuito de averiguar como os tratamentos diferenciam-se.

Observou-se que existem dois grupos distintos (2008 a 2011, e 2012 a 2014) em que os valores médios das taxas podem ser considerados estatisticamente semelhantes. Como o tratamento muda de grupo justamente no ano de 2012, no qual iniciou a troca do óleo BPF para o gás natural, conclui-se que a redução na taxa de emissão foi causada pela troca do combustível utilizado.

A seguir apresenta-se o cálculo estimado da redução de emissão de proporcionada pela troca de combustível de caldeira. Primeiramente separaram-se os dois grupos existentes e fez-se a média de cada um, gerando assim a taxa média A (tA), igual a 0,73, e a taxa média B (tB), igual a 0,46. Posteriormente multiplicaram-se as taxas médias pela produção dos três últimos anos, que resultou na quantidade de emissão, sendo que os valores relacionados a tA são apenas uma simulação e a tB uma estimativa da emissão real. A diferença entre as emissões resulta na redução obtida. O estudo encontra-se resumido na Tabela 1.

Nota-se que foram reduzidas aproximadamente 23,6 mil tCO<sub>2</sub>e pela troca do tipo de combustível.

**Tabela 1: Redução de emissão atribuída a mudança da matriz energética entre 2012 e 2014.**

Anos	tA*Produção (emissão simulada)	tB*Produção (emissão real)	Redução de emissão
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 <sub>2</sub> e)			23.622,54

## 2.3 RECICLADORA DE GARRAFA PET

Em 2014 a empresa implantou uma unidade de processamento de reciclagem (UPR) de garrafas PET, porque a resina PET reciclada pode vir a substituir a matéria prima virgem nas linhas de produção.

Como não se encontram metodologias para o cálculo de redução de emissões advindo de UPR de garrafa PET, propõe-se a linha de base metodológica a seguir com a simulação de sua aplicação.

Primeiramente deve-se calcular as emissões de linha de base BE<sub>y</sub>, ou seja, emissão ocorrida na produção da matéria prima virgem. Há algumas pressuposições para o cálculo de emissões de linha de [1]: 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 (UNFCC-CDM, 2010); b) Energia de processo assumida para a polimerização sob alta pressão é suprida com energia elétrica; o valor padrão é de 4GJ/t (1,11 MWh/t) (UNFCC-CDM, 2012); 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.

$$BE_y = Q_y * L * (SEC_{BI} * EF_{el,y} + SFC_{BI} * EF_{FF,CO2}), \quad \text{equação (1)}$$

em que:

- BE<sub>y</sub>:** Emissão base de emissão no ano y (tCO<sub>2</sub>/ano);  
**Q<sub>y</sub>:** Quantidade de material reciclado no ano y (t/ano), Q<sub>y</sub>=360t/a (Cooperativa ACAMAR);  
**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 (sugere-se usar 0,75 (DORMER, 2013));  
**SEC<sub>BI</sub>:** Consumo elétrico específico para a produção de material virgem (Mwh/t); usar o valor especificado igual a 1.110Mwh/t;  
**EF<sub>el,y</sub>:** Fator de emissão para a geração de eletricidade (tCO<sub>2</sub>/MWh), dado pela “ferramenta para calcular o fator de emissão de um sistema elétrico” (UNFCC-CDM, 2015), equivalente a 0.8tCO<sub>2</sub>/MWh;  
**SFC<sub>BI</sub>:** Consumo específico de combustível para a produção de material virgem (GJ/t); usar valores especificados igual a 15GJ/t;  
**EF<sub>FF,CO2</sub>:** Fator de emissão CO<sub>2</sub> para combustível fóssil (tCO<sub>2</sub>/GJ), igual a 0.0153tCO<sub>2</sub>/GJ (EGGLESTON, 2006).

Utilizando a Equação (1) e assumindo os valores conforme foram descritos, chega-se a um valor de BE<sub>y</sub> igual a 239.822 tCO<sub>2</sub>e/ano em 2014.

O próximo passo é calcular o valor da emissão gerada pela unidade de processamento de reciclagem, o Pe<sub>y</sub>.

$$PE_y = (EC_y * EF_{el} + FC_y * NCV_{FF} * EF_{FF,CO2}) + (Q_y * (SEC_{proc} * EF_{el,y})), \quad \text{equação (2)}$$

em que:

- PE<sub>y</sub>:** Emissão do projeto (UPR) no ano y (tCO<sub>2</sub>/ano);  
**EC<sub>y</sub>:** Consumo de eletricidade da UPR ponderada pela quantidade de PET (MWh/t) no ano y, sendo de 4,23 MWh/t;  
**FC<sub>y</sub>:** Consumo de combustível da UPR, ponderada pela quantidade de PET (unidades de massa ou volume/t) no ano y, sendo 1536,00;  
**NCV<sub>FF</sub>:** Valor calorífico líquido do combustível fóssil consumido na UPR no ano y (GJ/unidades de massa ou volume) equivalendo a 48GJ/unidade de massa ou volume no ano (EGGLESTON, 2006);  
**EF<sub>FF,CO2</sub>:** Fator de emissão de CO<sub>2</sub> do combustível fóssil consumido na UPR (tCO<sub>2</sub>/GJ) (EGGLESTON, 2006);  
**SEC<sub>proc</sub>:** Consumo específico de eletricidade para processamento/fabricação, usar 0,5 MWh/t (1,8 GJ/t) (IEA, 2007).

Contudo, para encontrar os valores de EC<sub>y</sub> e FC<sub>y</sub> é necessário utilizar a Equação 3 e 4 mostradas a seguir.

$$EC_y = EC_T \times \frac{Q_y * S_y}{\sum_s [Q_{s,y} * S_{s,y}]}, \quad \text{equação (3)}$$

$$FC_y = FC_T \times \frac{Q_y * S_y}{\sum_s [Q_{s,y} * S_{s,y}]}, \quad \text{equação (4)}$$

em que:

- 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<sub>T</sub>:** Consumo total de eletricidade da unidade de reciclagem no ano y (Mwh/y), sendo 30,75MWh/a;  
**FC<sub>T</sub>:** Consumo total de combustível da unidade de reciclagem no ano y (unidade de massa ou volume/y) sendo de 58,34 (CALDERONI);

- $Q_{s,y}$ : Quantidade de material tipo  $s$  segregado na unidade de reciclagem no ano  $y$  (t/y), tendo relação com a  $Q_y$ : 41% papel, papelão; 14% metal; 15% plástico; 5% vidro; 1% alumínio; 6% PET
- $\$y$ : Preço médio de venda do PET no ano  $y$ , sendo de R\$ 800,00/t (MINEIRO);
- $\$_{s,y}$ : Preço médio de venda do material tipo  $s$  segregado no ano  $y$ , sendo 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).

Utilizando os valores especificados acima, encontra-se um  $PE_y$  de 1275 tCO<sub>2</sub>/ano).

A última contabilização de emissão é com respeito a 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.

$$DE_y = \%MA \times (BE_y + Q_y * TET), \quad \text{equação (5)}$$

em que:

- $DE_y$ : Redução da emissão de tCO<sub>2</sub>e pelo não descarte do PET em aterro;
- $\%MA$ : % de emissão de tCO<sub>2</sub>e 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) (DORMER);
- TET: Taxa de emissão devido ao transporte para o aterro (usar 0,051 tCO<sub>2</sub>e/t ou 3% da pegada de carbono) (DORMER).

Sendo  $\%MA$  um valor de 1% ou 0,014 kgCO<sub>2</sub>/kg e TET de 3% ou 0,051 kgCO<sub>2</sub>/kg obtém-se um a valor de  $DE_y$  igual a 3.358 tCO<sub>2</sub>/ano. Finalmente o valor de redução de emissão é obtido com o uso de uma UPR é dado pela Equação 6. O  $ER_y$  chega a um valor de aproximadamente 241.904 de tCO<sub>2</sub>e no ano.

$$ER_y = BE_y - PE_y + DE_y, \quad \text{equação (6)}$$

em que  $ER_y$ : Redução de emissão no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e)

## CONCLUSÃO

Neste trabalho inventariaram-se as emissões de GEE de uma empresa na região de Poços de Caldas entre 2008 e 2014.

O inventário mostrou uma redução na taxa de emissão de GEE desse empresa. Estudos estatísticos comprovaram que essa redução ocorreu devido à troca de combustível de caldeira de óleo BPF para gás natural, resultando numa redução de emissão de 23,6 mil tCO<sub>2</sub>e no período analisado.

Além disso, a empresa implantou em 2014, uma recicladora de garrafa PET, o que dá possibilidade de redução de emissão. Aqui, propôs-se uma metodologia para cálculo da redução de emissão proporcionada pela recicladora; acompanhado de um estudo de caso, a recicladora mostra um potencial de redução de 241.904 de tCO<sub>2</sub>e para 360t/ano de PET reciclado.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da FAPEMIG, CAPES, CNPq.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Kyoto Protocol to the United Nations Framework. 1998.
2. 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. 2013.
3. GUPTA, A. Chapter 1 – Climate Change and Kyoto Protocol: An Overview. Handbook of Environmental and Sustainable Finance, Shimla, p. 3 - 23, Fevereiro 2016.
4. 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, v. 8 , 2012, Bahia.
5. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). Ciclossoft. 2014.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PET (ABIPET). 9º Censo de Reciclagem de PET no Brasil: O ano 2012. 2013.
7. 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.
8. DORMER, A. et al. *Carbon footprint analysis in plastics manufacturing. Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 133-141, 13 Jan. 2013.
9. 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. 2010.
10. 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. 2012.
11. 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. 2015.
12. EGGLESTON, H. S. et al. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 2: Energy. Japão: IGES, 2006.
13. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Tracking industrial energy efficiency and CO2 emission. Paris, 2007.
14. CALDERONI, S. Os Bilhões Perdidos no Lixo. São Paulo: Editora Humanitas, 2003.
15. MINEIRO, M. Pesquisa do quilo da Látex de Alumínio, Papel e Garrafa PET para reciclagem (compra). Site do Mercado Mineiro, 2016.