

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**TCC**

**A ALTERAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA COMO  
PROCEDIMENTO PARA A REDUÇÃO DOS GEE NO SETOR  
DE CIMENTO E SUA RESPECTIVA VIABILIDADE  
ECONÔMICA**

Aluno: Caio de Mello Lopes

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto

São Carlos

2013



**Caio de Mello Lopes**

**A ALTERAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA COMO  
PROCEDIMENTO PARA A REDUÇÃO DOS GEE NO SETOR  
DE CIMENTO E SUA RESPECTIVA VIABILIDADE  
ECONÔMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia de  
São Carlos da Universidade de São Paulo  
para a obtenção do título de  
Engenheiro de Produção Mecânica.



LOPES, C. M. (2013). **A alteração da matriz energética como procedimento para a redução dos GEE no setor de cimento e sua respectiva viabilidade econômica.** Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

## **RESUMO DO PLANO INICIAL**

O setor industrial é atualmente o setor que demanda mais energia em seus processos, sendo que boa parte do seu consumo é constituída pelo uso de combustíveis fósseis, que contribuem para a elevação do efeito estufa. O presente trabalho tem como objetivo quantificar a potencial contribuição da alteração da matriz energética para a redução dos GEE no setor industrial de cimento, bem como analisar a viabilidade econômica da alteração de uma das fontes de energia desse setor. Para tanto, serão necessárias pesquisas de caráter bibliográfico exploratórias para caracterização inicial do setor de cimento e dos energéticos utilizados. Posteriormente, será utilizado o método *top-down* proposto pelo IPCC para quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> dos principais combustíveis utilizados no setor de estudo e as emissões de CO<sub>2</sub> supondo a mudança de uma das fontes energéticas do setor de cimento para efeito de comparação das emissões. Em seguida, será realizada a análise da viabilidade econômica da alteração de uma fonte de energia, por meio do Valor Presente Líquido (VPL), também conhecido como método do valor atual, análise da Taxa Interna de Retorno (TIR) e do período de *Payback*. Espera-se que os resultados obtidos contribuam para a análise das emissões de GEE e para a análise da viabilidade econômica da alteração de uma das fontes de energia do setor de cimento.

**Palavras-chave:** Gases do Efeito Estufa (GEE); *Top-Down*; VPL; TIR; *Payback*.



LOPES, C. M. (2013). The change in the energy matrix as a procedure for reducing GHG emissions in the cement sector and its corresponding economic viability. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

## **ABSTRACT**

The industrial sector is currently the industry that demands more energy in their processes, and much of its consumption is constituted by use of fossil fuels, which contribute to the increase in greenhouse effects. This study aims to quantify the potential contribution of the change in the energy matrix for GHG reduction in the cement industry, as well as analyzing the economic feasibility of changing one of the sources of energy in this sector. For this purpose, it will be necessary bibliographic research for initial characterization of the cement sector and the energy used. Later, we will use the top-down method proposed by the IPCC to quantify CO<sub>2</sub> emissions of the main fuels used in the sector of study and CO<sub>2</sub> emissions assuming the change of one of the energy sources of the cement industry for comparison of emissions. Then will be conducted a study about the economic feasibility of changing one energy source through the Net Present Value (NPV), also known as the present value method, analysis of the Internal Rate of Return (IRR) and Payback period. It is expected that the results will contribute to the analysis of GHG emissions and to analyze the economic feasibility of changing one of the energy sources of the cement sector.

**Keywords:** Greenhouse gases; Top-Down; NPV; IRR; Payback.



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema representativo do efeito estufa (Efeito Estuda, 2012). ..... | 14 |
| Figura 2 – Importância relativa dos GEE (MCT, 2009).....                        | 15 |
| Figura 3 – Produção de cimento no Brasil (SNIC, 2011).....                      | 17 |
| Figura 4 – Matriz energética do setor de cimento. (BEN, 2011).....              | 18 |
| Figura 5 – Fluxo de Caixa (Autor, 2013) .....                                   | 24 |
| Figura 6 – Cálculo de Payback (Exemplo) (Autor, 2013).....                      | 26 |
| Figura 7 – Fluxo de Caixa do Projeto (Autor, 2013).....                         | 36 |
| Figura 8 – Cronograma das atividades do projeto (Autor, 2013).....              | 39 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....   | 11 |
| 1. INTRODUÇÃO.....  | 11 |
| 2. REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....   | 13 |
| 2.1. O efeito estufa.....   | 13 |
| 2.2. Caracterização do setor de cimento.....  | 15 |
| 3. MÉTODO.....  | 18 |
| 3.1. Método <i>TOP DOWN</i> .....   | 19 |
| 3.1.1 Consumo aparente de combustível.....  | 20 |
| 3.1.2 Conversão para uma unidade comum de energia.....                                | 20 |
| 3.1.3 Fatores de emissão de carbono.....  | 21 |
| 3.1.4 O carbono estocado.....   | 22 |
| 3.1.5 A combustão incompleta.....   | 22 |
| 3.1.6 Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO <sub>2</sub> ..... | 23 |
| 3.2. Valor Presente Líquido.....  | 23 |
| 3.3. Taxa Interna de Retorno (TIR).....   | 24 |
| 3.4. <i>Payback</i> ou <i>Payback</i> Simples.....                                    | 25 |
| 3.5. <i>Payback</i> Descontado.....   | 27 |
| 4. RESULTADOS .....   | 27 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....  | 36 |
| 6. PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA.....  | 38 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 39 |

## RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Após análise de dados relacionados aos níveis de consumo de combustíveis da indústria de cimento e aos potenciais impactos causados pela emissão de GEE deste setor, além de uma prévia análise dos dados de uma possível viabilidade econômica da alteração de uma das fontes de energia desse setor, caracterizou-se os temas de interesse do presente trabalho. Dessa forma, pesquisou-se sobre o efeito estufa causado pelas emissões de GEE, levando em consideração temas como o Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climática e o aquecimento global. Foram levantadas informações sobre a cadeia produtiva do setor de cimento, buscando caracterizá-la quanto aos níveis de consumo dos combustíveis em cada etapa do processo produtivo desta indústria.

Considerou-se a importância de informações sobre os combustíveis utilizados no setor industrial em estudo, sendo apresentadas as quantidades, em tep, do consumo de cada combustível.

Conseqüentemente, após ter sido realizada as pesquisas bibliográficas iniciais, realizou-se o inventário das emissões de CO<sub>2</sub> do setor industrial de cimento, para o ano de 2011, com o uso da metodologia *top-down* do IPCC. Constataram-se elevadas emissões causadas pelo consumo de coque de petróleo, correspondente a 95 % do total de gás carbônico emitido pelo setor de cimento.

Após isso, foi proposta a troca da fonte energética coque de petróleo por gás natural devido aos menores índices de emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, realizou-se um estudo de viabilidade econômica pelo método do valor presente líquido (VPL) referente aos fluxos de caixa de investimentos e retornos ocorridos caso fosse efetuada a mudança na matriz energética do setor. Além disso, para auxílio de estudo de viabilidade econômica, procurou-se calcular a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto e aplicou-se o método de *Payback* Simples e *Payback* Descontado.

### 1. INTRODUÇÃO

A atmosfera terrestre atual é composta em média de 78% de nitrogênio (N<sub>2</sub>); 21% de oxigênio (O<sub>2</sub>); 0,9% de argônio; 0,03% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e vapor d'água. Dentre esses o CO<sub>2</sub>, o vapor d'água e outros gases de menor concentração na atmosfera, como o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), contribuem de maneira significativa para o fenômeno natural de efeito estufa que tem mantido a temperatura

média global em torno de 15° Celsius (SUGUIO, 2008); sendo chamados de gases do efeito estufa (GEE).

Os resultados apresentados no último relatório do IPCC (2007), Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, confirmam que as causas do aquecimento global são atribuídas, em grande parte, as atividades humanas, principalmente, aquelas relacionadas à emissão de gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

Devido ao crescimento econômico observado no país e, conseqüentemente, ao aumento no consumo de energia, a concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE) vem aumentando em proporções nunca antes constatadas. Segundo Cardoso (2006), o CO<sub>2</sub>, como principal responsável pelo aumento do efeito estufa por atividades antrópicas, teve sua concentração elevada em 27% nos últimos cem anos, essencialmente pela queima de combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – na produção de energia.

Dentro do setor industrial, segundo o BEESP (2010), os maiores emissores de CO<sub>2</sub> no estado de São Paulo são, respectivamente: o setor de ferro gusa e aço, Indústrias Químicas, o setor de Alimentos e Bebidas e, em quarto lugar, o setor de cimento.

Entre os 10 setores contemplados no relatório do BEN (2011), o setor de cimento é o sétimo maior consumidor de energia. Desta forma, apesar de não estar entre os principais consumidores de energia, é um dos principais emissores de CO<sub>2</sub> por possuir uma matriz altamente dependente de combustível fóssil, entre eles, o coque de petróleo, o carvão mineral, o óleo combustível, entre outros. Deste modo, é de fundamental importância o estudo deste setor para diminuir a emissão de poluentes. Neste sentido, o presente trabalho tem como principal objetivo quantificar a potencial contribuição da alteração da matriz energética para a redução dos GEE no setor industrial de cimento, bem como analisar a viabilidade econômica da alteração de uma das fontes de energia desse setor.

Para a mensuração das emissões de CO<sub>2</sub>, por combustível, é utilizada a metodologia *top-down* adotada pelo IPCC. Nesse método, as estimativas das emissões são feitas com base nas quantidades de combustíveis utilizadas e o teor de carbono dos combustíveis. Essas quantidades de combustíveis serão fornecidas pelos dados de consumo energético do BEN (2011).

Portanto, será realizado um estudo bibliográfico exploratório do efeito estufa para melhor entendimento do tema abordado no trabalho, bem como um estudo bibliográfico para caracterização da cadeia produtiva do setor de cimento.

## 2. REVISAO BIBLIOGRAFICA

### 2.1. EFEITO ESTUFA

O Efeito Estufa consiste, basicamente, na ação do dióxido de carbono e outros gases sobre os raios infravermelhos refletidos pela superfície da terra, reenviando-os para ela, mantendo assim uma temperatura estável no planeta. Ao irradiarem a Terra, parte dos raios luminosos oriundos do Sol são absorvidos e transformados em calor, outros são refletidos para o espaço, mas só parte destes chega a deixar a Terra, em consequência da ação refletora que os GEE têm sobre tal radiação reenviando-a para a superfície terrestre na forma de raios infravermelhos.

Segundo Cardoso (2006), cerca de um quinto da radiação solar que atinge a terra é refletida de volta ao espaço pela própria atmosfera e pelas nuvens. O resto, basicamente em forma de luz visível, atravessa a atmosfera incólume e atinge o chão. Uma parte dessa energia é absorvida (pelo solo e pelas águas) e outra é refletida de volta na forma de radiação infravermelha, ou seja, calor. Os GEE deixam passar a radiação que chega, mas absorvem a radiação infravermelha que sai do solo, retendo uma parte do calor e impedindo que volte ao espaço.

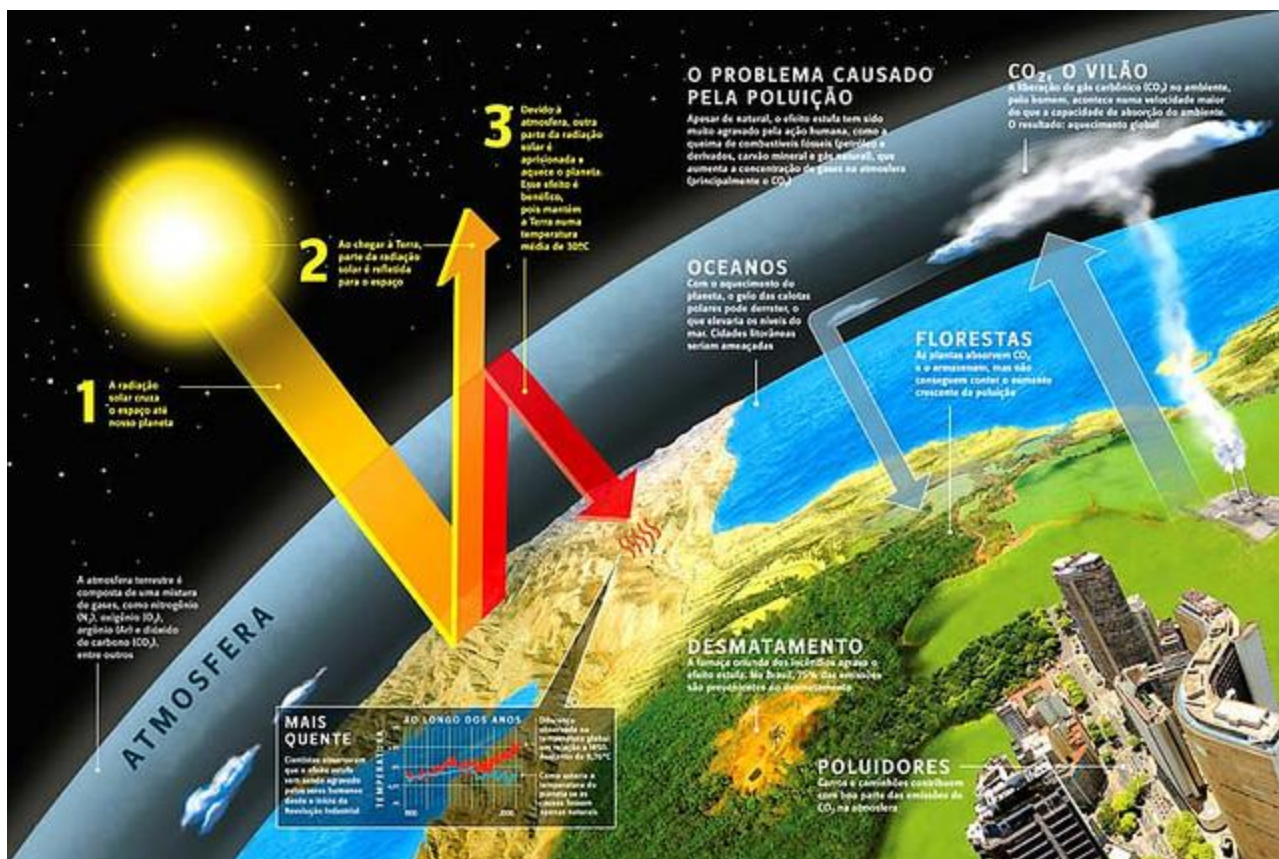


Figura 1 – Esquema representativo do efeito estufa.  
Fonte: Efeito Estufa

Desde a Revolução Industrial a humanidade vem emitindo uma quantidade descontrolada de GEE através das indústrias, do transporte, da agricultura, da pecuária, da produção de energia elétrica e do desmatamento. Esse aumento nas concentrações dos GEE na atmosfera causa o desequilíbrio no fenômeno, efeito estufa, e nosso planeta vêm se aquecendo muito rapidamente.

O gás carbônico (CO<sub>2</sub>) atua como o principal gás do efeito estufa segundo o IPCC (2007). A Figura 2 compara a importância relativa dos GEE mostrando que a participação do CO<sub>2</sub> cresceu de 69% para 72% com decréscimo na participação de metano (20% para 18%) e de N<sub>2</sub>O (11 para 10%). A participação dos outros gases é muito reduzida (0,2%).

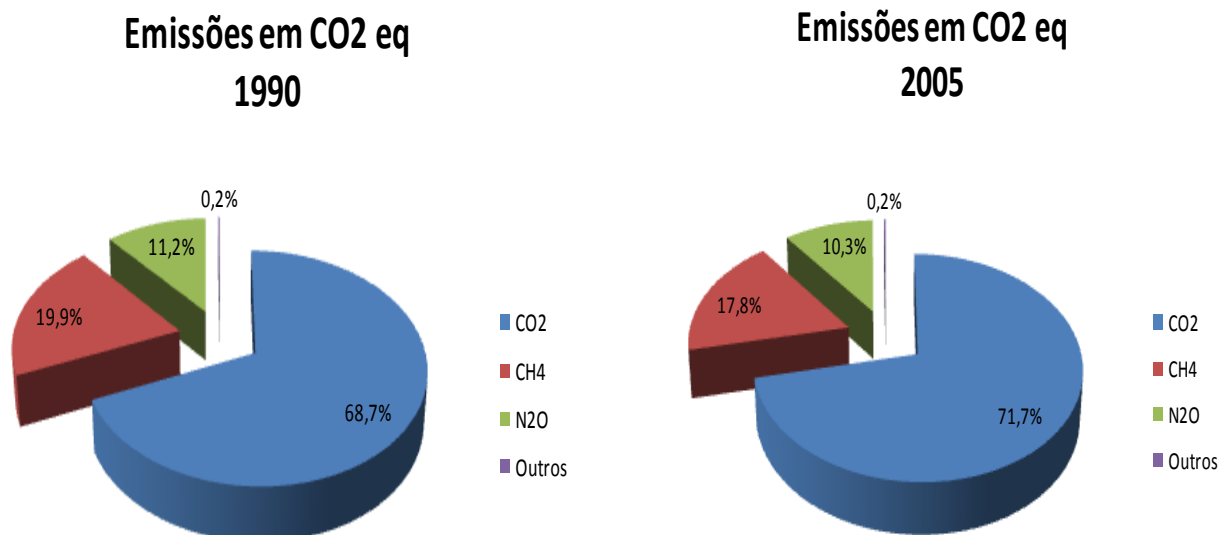


Figura 2 – Importância relativa dos GEE.  
Fonte: MCT (2009)

Nesse contexto, o setor de cimento atua como o quarto maior emissor de CO<sub>2</sub> dentro do setor industrial, segundo o BEESP (2010), demonstrando sua potencial contribuição para o agravamento do efeito estufa e, conseqüentemente, do aquecimento global.

Dados como os descritos acima ressaltam a importância do estudo do setor de cimento na busca de uma possível alteração na sua matriz energética como solução para a redução na emissão de CO<sub>2</sub> realizada pela indústria em questão.

## 2.2. CARACTERIZAÇÃO DO SETOR DE CIMENTO

A busca do homem por um material de ligação para as construções data de épocas remotas que, após sucessivas pesquisas e avanços, chegou-se ao cimento *portland*. Hoje, quase toda a produção de cimento no mundo é do tipo *portland* (SNIC, 2012).

O cimento *portland* é o produto de uma atividade integrada de exploração e beneficiamento de substâncias minerais (calcário e argila), sua transformação química em clínquer (cimento não pulverizado) e posterior moagem. Desse modo, sua cadeia produtiva é dividida em seis etapas, segundo SNIC (2012):

- Extração de matéria prima: ocorre a extração do calcário;

- Britagem: o calcário é reduzido a um diâmetro máximo de 25mm;
- Moagem da mistura crua: as matérias primas (calcário, argila e areia) são transformadas em pó;
- Homogeneização da mistura crua: mistura uniforme com composição química para ir ao forno;
- Calcinação (clínquer): Aquecimento da farinha crua a 1450° C dando origem ao clínquer;
- Moagem do clínquer: adição de gesso completando a fabricação do cimento.

Segundo Worrell, Martin e Price (1999), a produção de clínquer é a etapa que mais consome energia em toda a cadeia produtiva do cimento, chegando a utilizar mais de 90% de todo consumo de energia da indústria.

Nessa etapa da cadeia produtiva, a maior parte do uso da fonte energética é para geração de energia térmica, mais especificamente nos fornos de clínquer onde ocorre o aquecimento da farinha crua (JACOTT;COMUNES,2003).

No caso do Brasil, de acordo com Kim e Worrell (2002), houve uma grande contribuição no aumento da emissão de CO<sub>2</sub> decorrente da mudança do mix de fontes energéticas, diminuindo o uso de biomassa (carvão vegetal) e aumentando o uso de petróleo (coque de petróleo) na produção do clínquer.

Vale mencionar, ainda, que a implantação da indústria de cimento no Brasil se divide em duas fases: fase pioneira e fase industrial. De acordo com o objetivo do trabalho em questão, destaca-se a importância do estudo da fase industrial do setor.

Segundo SNIC (2012), em 1925 e 1926 foram instaladas duas fábricas no Brasil, uma em São Paulo e outra no Espírito Santo e, dessa forma, inaugurava-se a chamada fase industrial do cimento brasileiro.

A década de oitenta correspondeu a um período de estagnação da produção de cimento, refletindo a estagnação dos setores de construção civil e obras públicas. Só a partir de 1995 esses patamares foram superados, chegando a ter fortes crescimentos nos próximos períodos. A partir de 2000 a produção sofreu queda resultante da instabilidade

econômica e, desde 2004, o consumo se estabilizou indicando uma retomada (CBIC, 2004).

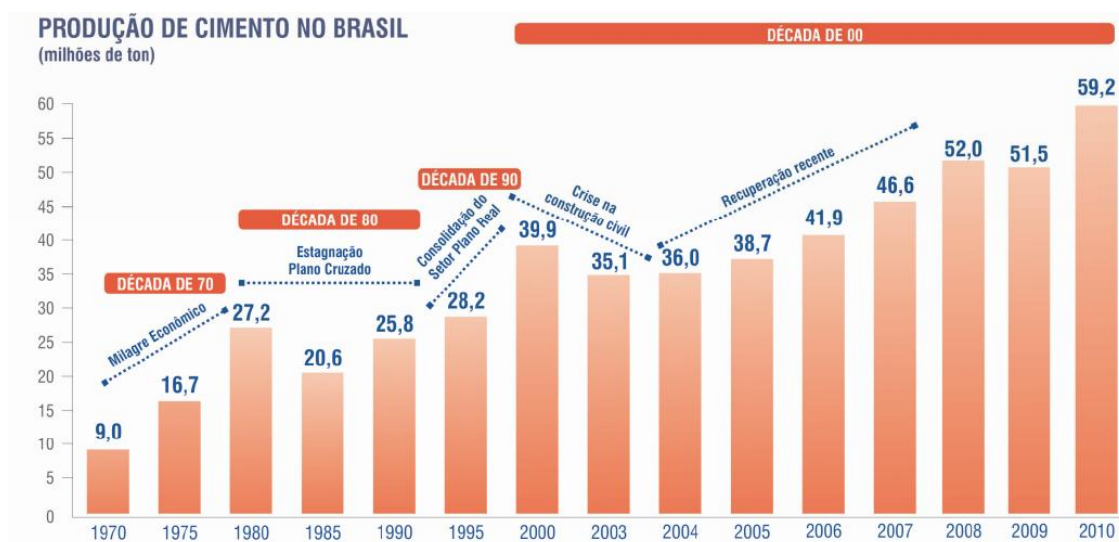


Figura 3 – Produção de cimento no Brasil.  
Fonte: SNIC (2011).

Na atual conjuntura, deve-se observar que devido ao *boom* em infra-estrutura e construção civil há uma grande demanda de cimento. Devido a essa demanda, que ainda deverá aumentar com a Copa do Mundo e as Olimpíadas, o setor de cimento terá possibilidade de grande crescimento (ISTO É DINHEIRO, 2011).

Nesse contexto de crescimento, é de grande importância o estudo do setor em questão, visto que este possui uma matriz energética na qual boa parte é composta por combustíveis fósseis altamente emissores de CO<sub>2</sub>.

|                          |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 10 <sup>3</sup> tep (toe) |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
| FONTES                   | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | SOURCES                   |
| GÁS NATURAL              | 24    | 28    | 14    | 20    | 17    | 18    | 24    | 25    | 15    | 23    | NATURAL GAS               |
| CARVÃO MINERAL           | 190   | 135   | 211   | 38    | 6     | 66    | 60    | 62    | 57    | 62    | STEAM COAL                |
| LENHA                    | 9     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | FIREWOOD                  |
| ÓLEO DIESEL              | 23    | 25    | 26    | 31    | 35    | 33    | 41    | 43    | 42    | 45    | DIESEL OIL                |
| ÓLEO COMBUSTÍVEL         | 229   | 134   | 91    | 22    | 23    | 23    | 26    | 29    | 29    | 8     | FUEL OIL                  |
| ELETRICIDADE             | 375   | 343   | 328   | 323   | 345   | 354   | 371   | 411   | 400   | 431   | ELECTRICITY               |
| CARVÃO VEGETAL           | 211   | 207   | 247   | 284   | 249   | 261   | 222   | 249   | 55    | 63    | CHARCOAL                  |
| COQUE DE PETRÓLEO        | 2.198 | 2.125 | 1.726 | 1.696 | 1.881 | 2.031 | 2.300 | 2.561 | 2.736 | 3.161 | PETROLEUM COKE            |
| OUTRAS NÃO ESPECIFICADAS | 132   | 136   | 165   | 234   | 275   | 300   | 330   | 362   | 335   | 350   | OTHERS                    |
| TOTAL                    | 3.381 | 3.132 | 2.808 | 2.648 | 2.831 | 3.087 | 3.373 | 3.742 | 3.668 | 4.141 | TOTAL                     |

Figura 4 – Matriz energética do setor de cimento.

Fonte: BEN (2011).

Diante destes dados apresentados, o presente trabalho tem como objetivo quantificar a potencial contribuição da alteração da matriz energética para a redução dos GEE no setor industrial de cimento, bem como analisar a viabilidade econômica da alteração de uma das fontes de energia desse setor.

### 3. MÉTODO

Com o objetivo de se obter embasamento teórico para realização do presente trabalho, foi elaborada, inicialmente, uma pesquisa de caráter exploratório sobre o efeito estufa, seguido de um levantamento bibliográfico do setor de cimento.

A seguir, através do método *top down*, descrito no item 3.1, foi possível quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> do setor de cimento. Estes dados auxiliaram na análise de uma possível alteração da matriz energética deste setor.

A partir dos dados de emissões de cada uma das fontes energéticas utilizadas, será proposta, posteriormente, a alteração da fonte mais poluente por um energético mais limpo e a respectiva viabilidade econômica desta substituição. Para tal análise, será utilizado o método VPL (valor presente líquido) descrito no item 3.2, da TIR descrito no item 3.3 e do *Payback* descrito no item 3.4 e 3.5.

### 3.1. MÉTODO *TOP DOWN*

Segundo o MCT (2006), as emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis pela abordagem *top-down* do IPCC abrange as seguintes etapas:

1) Determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais;

2) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ);

3) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível;

4) Determinação da quantidade de carbono de cada combustível destinada a fins não energéticos e a dedução dessa quantidade do carbono contido no consumo aparente, para se computar o conteúdo real de carbono possível de ser emitido;

5) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão;

6) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO<sub>2</sub>.

A equação geral da metodologia para emissões anuais de CO<sub>2</sub> pode ser descrita pela seguinte equação:

$$\omega = 10^{-3} \cdot [(\theta \cdot \varphi \cdot \gamma) - \eta] \cdot \lambda \cdot 44/12 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$\omega$  = emissão anual real de CO<sub>2</sub> (Gg CO<sub>2</sub>)

$\theta$  = consumo aparente do combustível no país

$\varphi$  = fator de conversão da unidade original para terajoules (TJ/unidades originais)

$\gamma$  = fator de emissão de carbono por unidade de energia contida no combustível (t C/TJ)

$\eta$  = quantidade anual de carbono estocada em produtos não energéticos (t C)

$\lambda$  = fração do carbono realmente oxidado na combustão

A equação está definida com base no cálculo das emissões de determinado setor industrial, levando em consideração seu consumo no país. Como o que se procura no presente trabalho é uma representação do setor industrial de cimento, é necessária a obtenção de dados referentes ao estudo em questão.

### 3.1.1. O CONSUMO APARENTE DE COMBUSTIVEL

De acordo com Simões (2003), o consumo aparente representa a quantidade de combustível disponível no país. Será utilizado nesta pesquisa o consumo direto do setor em estudo, com o objetivo de representar as emissões específicas desse segmento industrial.

O consumo será obtido em unidades físicas tais como m<sup>3</sup>, litros, toneladas, etc. Os dados a respeito do consumo final e por combustível de cada setor podem ser encontrados no BEN (2011).

Serão utilizados como referência os consumos dos principais combustíveis utilizados na produção industrial e o consumo total do setor.

### 3.1.2. CONVERSÃO PARA UMA UNIDADE COMUM DE ENERGIA

A conversão do consumo aparente de cada combustível, medido na sua unidade original, para uma unidade comum de energia, é efetuada multiplicando-se o consumo aparente pelo poder calorífico inferior do combustível (PCI). A unidade comum de energia adotada pelo IPCC (1996) é o terajoule (TJ). O uso do PCI do combustível, ao invés do seu poder calorífico superior (PCS), é necessário, pois os fatores de emissão de carbono recomendados pelo IPCC, em quantidade de carbono por unidade de energia, são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível.

O conteúdo energético dos combustíveis pode ser obtido no BEN em toneladas equivalentes de petróleo (tep), tendo como base os seus PCSs. Para realizar a conversão em TJ utiliza-se a seguinte fórmula:

$$\text{Fator de Conversão} = 45,217 \times 10^{-3} \cdot \text{fator de correção}$$

Em que o fator de correção é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos (MCT, 2006).

### 3.1.3. FATORES DE EMISSÃO DE CARBONO

Os fatores de emissão de carbono (Carbon Emission Factors - CEFs) representam a quantidade de carbono contida no combustível por unidade de energia (MCT, 2006). Os valores utilizados serão coletados no MCT (2006), que são os valores recomendados pelo IPCC (1996), com algumas exceções.

Tabela 1 - Fatores de emissão de carbono empregados

|                  | Combustível                                 | Fator de emissão |
|------------------|---|------------------|
| Fósseis líquidos | Petróleo                                    | 20               |
|                  | Líquidos de gás                             | 17,2             |
|                  | Gasolina                                    | 18,9             |
|                  | Querosene de aviação                        | 19,5             |
|                  | Querosene iluminante                        | 19,6             |
|                  | Óleo diesel                                 | 20,2             |
|                  | Óleo combustível                            | 21,1             |
|                  | GLP   | 17,2             |
|                  | Nafta                                       | 20               |
|                  | Asfalto                                     | 22               |
|                  | Lubrificantes                               | 20               |
|                  | Coque de petróleo                           | 27,5             |
|                  | Gás de refinaria                            | 18,2             |
|                  | Outros produtos secundários de petróleo     | 20               |
|                  | Outros produtos não energéticos de petróleo | 20               |
| Fósseis sólidos  | Carvão metalúrgico                          | 25,8             |
|                  | Carvão vapor                                | 25,8             |
|                  | Alcatrão                                    | 25,8             |
|                  | Coque                                       | 29,5             |
| Fósseis gasosos  | Gás natural (seco)                          | 15,3             |
| Outras Primárias | Outras primárias fósseis                    | 20               |
| Biomassa sólida  | Lenha queima direta                         | 29,9             |
|                  | Lenha carvoejamento                         | 29,9             |
|                  | Bagaço de cana                              | 29,9             |
|                  | Resíduos vegetais                           | 29,9             |
|                  | Carvão vegetal                              | 29,9             |
|                  | Biomassa líquida                            | Caldo de cana    |
|                  | Melaço                                      | 20               |
|                  | Álcool anidro                               | 14,81            |
|                  | Álcool hidratado                            | 14,81            |
|                  | Lixívia                                     | 20               |
| Biomassa Gasosa  |   | 30,6             |

Fonte: MCT (2006)

### 3.1.4. O CARBONO ESTOCADO

Nem todo combustível suprido a um país destina-se ao seu setor energético. Parte dele é utilizado como matéria-prima na manufatura de produtos não energéticos, em que o carbono torna-se fixado, tais como, plásticos e asfalto, etc (MCT, 2006). Na metodologia do IPCC, esse carbono é denominado “estocado”, devendo-se subtraí-lo do conteúdo de carbono do consumo aparente dos combustíveis.

O cálculo do carbono estocado requer a determinação das quantidades de combustíveis destinadas ao setor não energético e das frações dessas quantidades que efetivamente se mantêm fixadas aos bens produzidos.

Segundo a metodologia do IPCC, o carbono estocado para cada combustível é determinado como  $\eta = 10^{-3} \cdot \rho \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot \phi$ , em que:

$\eta$  = carbono estocado [Gg C]

$\rho$  = quantidade de combustível com uso não energético [tep]

$\varphi$  = fator de conversão de tep para TJ [TJ/tep]

$\gamma$  = fator de emissão de carbono [t C/TJ]

$\phi$  = fração de carbono estocada

Entretanto, no presente trabalho será utilizado como referência o consumo de fontes de energia no setor de cimento, em que todo combustível será considerado de uso energético. Logo, o único valor relevante para o cálculo das emissões será do carbono não oxidado, que será explicado na etapa seguinte.

### 3.1.5. A COMBUSTÃO IMCOMPLETA

A diferença entre o carbono contido no consumo aparente de combustível e aquele estocado em produtos não energéticos representa o carbono disponível para ser emitido na combustão. Porém, nem todo esse carbono será oxidado, uma vez que, na prática, a combustão nunca ocorre de forma completa, deixando inoxidada uma pequena quantidade de carbono contida nas cinzas e outros subprodutos (MCT, 2006).

A metodologia do IPCC considera esse fato na contabilização das emissões reais, e realiza a multiplicação do carbono disponível para a emissão pela fração de carbono oxidada na combustão.

A fração de carbono oxidada será a recomendada pelo IPCC (1996): 0,98 para carvões, 0,99 para petróleo e seus derivados, 0,995 para o gás natural. Para as demais fontes energéticas a fração de carbono oxidada será a mesma utilizada pelo MCT (2006).

### 3.1.6. CONVERSÃO DA QUANTIDADE DE CARBONO OXIDADA EM EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

A conversão da quantidade de carbono oxidada para quantidade total de dióxido de carbono emitido é realizada pela multiplicação das emissões de carbono por 44/12. Em que 44 é a massa molecular do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e 12 é a massa molecular do carbono (C).

### 3.2. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL).

O valor presente líquido (VPL) é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Ele é obtido subtraindo o investimento inicial (FC<sub>0</sub>) do valor atual das entradas de caixa (FC<sub>n</sub>), descontados a uma taxa igual ao custo do capital investido (i), levando em consideração um período de tempo (n) (REBELATTO, 2004).

Caso o VPL encontrado seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial considerando o custo do capital investido, o que sugere que ele seja reprovado. Caso seja positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial, o que o torna viável.

Dessa forma, no presente trabalho, o investimento inicial corresponde a todos os gastos realizados para a implementação da nova fonte energética, como, por exemplo, gastos com o novo maquinário. Vale salientar que essa nova fonte foi selecionada por meio do método *top down*,

Já as entradas (FC<sub>n</sub>) correspondem aos ganhos econômicos referentes à utilização do novo energético, em outras palavras, ao valor que será economizado pelo uso da nova fonte energética adotada em relação a utilizada anteriormente.

Para a taxa referente ao custo do capital investido (i), adotar-se-á uma taxa mínima aceitável (TMA) igual a taxa oferecida pela caderneta de poupança do país.

Para efeito de estudo, levando em consideração o tempo de depreciação de uma máquina, o período de tempo a ser adotado no presente projeto será de cinco anos.

### 3.3. TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR).

A partir do resultado obtido pelo VPL, saberemos se o projeto é viável ou não perante o custo de capital investido. No entanto, para se obter o valor exato de retorno do investimento, é necessário se calcular a TIR do projeto.

Bernstein (1997) analisa a taxa de retorno como a taxa de rentabilidade obtida de um investimento que torna equivalente o VPL dos embolsos e o VPL dos desembolsos de um empreendimento.

Em outras palavras, a Taxa Interna de Retorno (TIR), em inglês IRR (*Internal Rate of Return*), é a taxa necessária para igualar o valor de um investimento (valor presente) com os seus respectivos retornos futuros ou saldos de caixa.

Numericamente, para se obter a TIR do projeto é necessário igualar o VPL de todos os fluxos de entrada e saída do projeto a zero.



Figura 5 – Fluxo de Caixa.  
Fonte: Autor (2013).

$$\text{VPL} (-FC_0 + FC_1 + FC_2 + FC_3 + FC_4 + FC_5) = 0$$

$$\frac{-FC_0}{(1+TIR)^0} + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \frac{FC_3}{(1+TIR)^3} + \frac{FC_4}{(1+TIR)^4} + \frac{FC_5}{(1+TIR)^5} = 0$$

Fazendo uma comparação com o estudo de VPL citado no tópico 3.2, podemos encontrar 3 situações quando comparamos a TMA com a TIR, que são:

- Taxa interna de retorno maior do que a taxa mínima de atratividade. Significa que o investimento é economicamente atrativo.  $TIR > TMA = VPL(+)$ ;
- Taxa interna de retorno igual à taxa mínima de atratividade. O investimento está economicamente numa situação de indiferença.  $TIR = TMA = VPL(0)$ ;
- Taxa interna de retorno menor do que a taxa mínima de atratividade. O investimento não é economicamente atrativo pois seu retorno é superado pelo retorno de um investimento com o mínimo de retorno.  $TIR < TMA = VPL(-)$ .

### 3.4. PAYBACK OU PAYBACK SIMPLES.

*Payback Period* (Período de Recuperação de Investimento), muito utilizado por investidores no mercado, se caracteriza pelo período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial no projeto.

Para Gitman (2003), *payback* é o período de tempo necessário para recuperar o capital investido.

Assim como o VPL e a TIR descritos acima, o Payback é muito utilizado no mercado pois fornece o período necessário para o investidor recuperar seu capital investido.

A melhor maneira para se observar isso é através do fluxo de entrada e saída acumulada de capital no tempo. Ou seja, período a período, você soma o valor consolidado de entrada e saídas de caixa do período com o acumulado dos períodos anteriores.

Para auxiliar no entendimento do método, segue abaixo figura 6 com um exemplo hipotético de cálculo do *Payback* desenvolvido pelo autor.

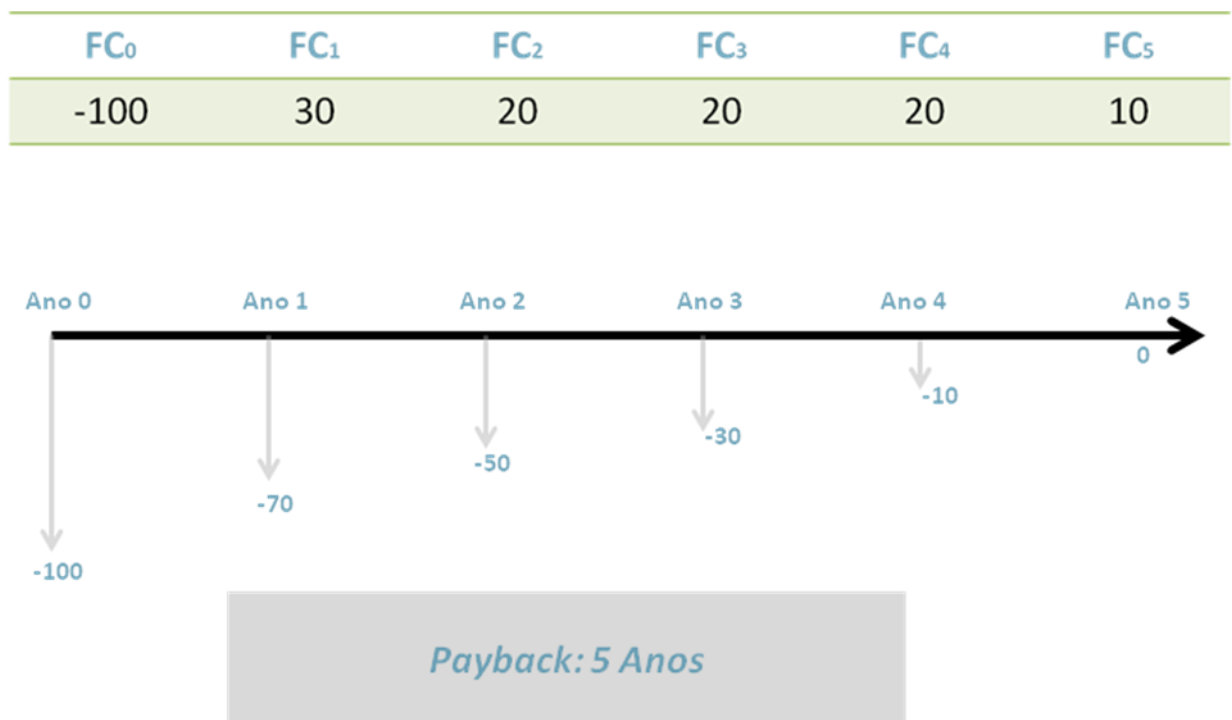


Figura 6 – Cálculo de *Payback* (Exemplo).  
Fonte: Autor (2013)

Apesar de ser muito utilizado, o *payback* tem como desvantagem notória não levar em conta o valor do dinheiro no tempo, isto é, parte do pressuposto que a taxa de atualização monetária entre períodos é igual a zero. Por essa razão, esse método de análise foi chamado de *Payback* simples.

### 3.5. PAYBACK DESCONTADO.

Para que simule melhor a realidade, adapta-se o *Payback* para que este utilize uma taxa de atualização positiva, contando assim com o valor do dinheiro no tempo. Esse método é conhecido como *Payback* Descontado.

Segundo o Lunelli (2012), *Payback* Descontado é o período de tempo necessário para recuperar o investimento, avaliando-se os fluxos de caixa descontados, ou seja, considerando-se o valor do dinheiro no tempo.

Dessa forma, assim como o *Payback* Simples, é o período de recuperação de um investimento e consiste na identificação do prazo em que o montante do dispêndio de capital efetuado seja recuperado. No entanto, ele leva em consideração o valor presente dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento.

## 4. RESULTADOS

Utilizando-se o método *top-down*, descrito no item 3.1, calculou-se a emissão de CO<sub>2</sub> de toda matriz energética do setor de cimento. Os dados relacionados ao consumo total de cada fonte energética do setor foram obtidos através do BEN (2011).

Os resultados da aplicação do método estão ilustrados nas Ttabelas 2 e 3:

Tabela 2: Etapas 1, 2 e 3 do método top-down

| Combustível       | Etapas 1, 2 e 3 do método top-down |                             |              |                                     |                           |                            |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
|                   | Etapa 1                            | Etapa 2                     |              | Etapa 3                             |                           |                            |
|                   | Consumo (tep)                      | Fator de conversão (TJ/tep) | Consumo (TJ) | Fator de emissão de carbono (tC/TJ) | Conteúdo de carbono (t C) | Conteúdo de carbono (Gg C) |
| Gás Natural       | 23000                              | 0,0406953                   | 935,9919     | 15,3                                | 14320,676                 | 14,320676                  |
| Carvão Mineral    | 62000                              | 0,0429562                   | 2663,281     | 25,8                                | 68712,658                 | 68,712658                  |
| Lenha             | 0                                  | 0,0429562                   | 0            | 29,9                                | 0                         | 0                          |
| Óleo Diesel       | 45000                              | 0,0429562                   | 1933,027     | 20,2                                | 39047,14                  | 39,04714                   |
| Óleo Combustível  | 8000                               | 0,0429562                   | 343,6492     | 21,1                                | 7250,9981                 | 7,2509981                  |
| Eletricidade      | 431000                             | 0,0429562                   | 18514,1      |                                     | 0                         | 0                          |
| Carvão Vegetal    | 63000                              | 0,0429562                   | 2706,237     | 29,9                                | 80916,5                   | 80,9165                    |
| Coque de Petróleo | 3161000                            | 0,0429562                   | 135784,4     | 27,5                                | 3734070,7                 | 3734,0707                  |

Tabela 3: Etapas 4, 5 e 6 do método top-down

| Combustível       | Etapas 4, 5 e 6 do método top-down |                                   |                |                           |   |                                |
|-------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|---|--------------------------------|
|                   | Etapa 4                            |                                   | Etapa 5        |                           | Etapa 6   |                                |
|                   | Carbono estocado (Gg C)            | Emissão líquida de carbono (Gg C) | Fração oxidada | Emissão de carbono (Gg C) | Emissão de CO <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> t CO <sub>2</sub> ) | Emissão de CO <sub>2</sub> (%) |
| Gás Natural       | -                                  | 14,32068                          | 0,995          | 14,24907                  | 0,052247  | 0,37                           |
| Carvão Mineral    | -                                  | 68,71266                          | 0,98           | 67,3384                   | 0,246907  | 1,73                           |
| Lenha             | -                                  | 0                                 | 0,87           | 0                         | 0   | 0,00                           |
| Óleo Diesel       | -                                  | 39,04714                          | 0,99           | 38,65667                  | 0,141741  | 0,99                           |
| Óleo Combustível  | -                                  | 7,250998                          | 0,99           | 7,178488                  | 0,026321  | 0,18                           |
| Eletricidade      | -                                  | 0                                 |                | 0                         | 0   | 0,00                           |
| Carvão Vegetal    | -                                  | 80,9165                           | 0,88           | 71,20652                  | 0,261091  | 1,83                           |
| Coque de Petróleo | -                                  | 3734,071                          | 0,99           | 3696,73                   | 13,55468  | 94,90                          |

Vale-se observar que os valores são calculados em escala anual e é considerado todo território brasileiro.

Observa-se que, dos combustíveis mais utilizados no setor de cimento, o coque de petróleo é o maior responsável pelas elevadas emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> da atividade industrial. O combustível emitiu 13,5 x 10<sup>6</sup> toneladas (t) de CO<sub>2</sub>, correspondendo, aproximadamente, a 95% do total das emissões.

O próximo passo é a mensuração das emissões supondo que toda a matriz energética deste setor fosse composta por apenas um destes energéticos. Desta forma, será possível analisar qual dos combustíveis utilizados é o menos poluente para um mesmo consumo de energia. Em seguida, será selecionado o combustível a ser substituído e o que irá substituí-lo e, assim, será realizada a análise de viabilidade econômica desta alteração.

Desta forma, com o objetivo de detectar a fonte energética mais poluente existente na matriz energética do setor de cimento, foi estabelecido um padrão de consumo para todas as fontes igual a soma, em tep, do consumo de todas as fontes energéticas. O valor obtido, 4.141.000,00 tep, foi substituído em cada fonte os resultados demonstrados nas Tabelas 4 e 5 abaixo.

Tabela 4: Etapas 1, 2 e 3 do método top-down

| Combustível              | Etapa 1            |                             |              | Etapa 2                             |                           | Etapa 3                    |  |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--|
|                          | transformar em tep | Fator de conversão (TJ/tep) | Consumo (TJ) | Fator de emissão de carbono (tC/TJ) | Conteúdo de carbono (t C) | Conteúdo de carbono (Gg C) |  |
| Gás Natural              | 4.141.000,00       | 0,04070                     | 168.519,24   | 15,30                               | 2.578.344,33              | 2.578,34                   |  |
| Carvão Mineral           | 4.141.000,00       | 0,04296                     | 177.881,42   | 25,80                               | 4.589.340,56              | 4.589,34                   |  |
| Lenha                    | -                  | 0,04296                     | -            | 29,90                               | -                         | -                          |  |
| Óleo Diesel              | 4.141.000,00       | 0,04296                     | 177.881,42   | 20,20                               | 3.593.204,63              | 3.593,20                   |  |
| Óleo Combustível         | 4.141.000,00       | 0,04296                     | 177.881,42   | 21,10                               | 3.753.297,90              | 3.753,30                   |  |
| Eletricidade             | 4.141.000,00       | -                           | -            | -                                   | -                         | -                          |  |
| Carvão Vegetal           | 4.141.000,00       | 0,04296                     | 177.881,42   | 29,90                               | 5.318.654,37              | 5.318,65                   |  |
| Coque de Petróleo        | 4.141.000,00       | 0,04296                     | 177.881,42   | 27,50                               | 4.891.738,97              | 4.891,74                   |  |
| Outras não especificadas | 4.141.000,00       | -                           |              |                                     |                           |                            |  |

Tabela 5: Etapas 4, 5 e 6 do método top-down

| Combustível              | Etapa 4                 |                                   | Etapa 5        |                           | Etapa 6   |  |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|---|--|
|                          | Carbono estocado (Gg C) | Emissão líquida de carbono (Gg C) | Fração oxidada | Emissão de carbono (Gg C) | Emissão de CO <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> t CO <sub>2</sub> ) | Emissão de CO <sub>2</sub> (gG CO <sub>2</sub> ) |
| Gás Natural              | -                       | 2.578,34                          | 0,995          | 2.565,45                  | 9,41  | 9.406,66   |
| Carvão Mineral           | -                       | 4.589,34                          | 0,98           | 4.497,55                  | 16,49   | 16.491,03  |
| Lenha                    | -                       | -                                 | 0,87           | -                         | -   | -  |
| Óleo Diesel              | -                       | 3.593,20                          | 0,99           | 3.557,27                  | 13,04   | 13.043,33  |
| Óleo Combustível         | -                       | 3.753,30                          | 0,99           | 3.715,76                  | 13,62   | 13.624,47  |
| Eletricidade             | -                       | -                                 | -              | -                         | -   | -  |
| Carvão Vegetal           | -                       | 5.318,65                          | 0,88           | 4.680,42                  | 17,16   | 17.161,52  |
| Coque de Petróleo        | -                       | 4.891,74                          | 0,99           | 4.842,82                  | 17,76   | 17.757,01  |
| Outras não especificadas |                         |                                   |                |                           |   |  |

Podemos observar, a partir das tabelas 4 e 5, que o coque de petróleo atua como a fonte energética mais poluente da matriz energética e, dessa forma, sua substituição pode gerar uma mudança de grande escala nos resultados de emissão de CO<sub>2</sub> para o setor.

Um fator importante de se observar é que a técnica *top-down* do IPCC não considera em seus cálculos a condição de combustível renovável do carvão vegetal, que absorve CO<sub>2</sub> da atmosfera no desenvolvimento da planta que gera a lenha necessária para produzir o carvão. Portanto, o uso do carvão vegetal ao invés de um combustível fóssil, pode contribuir para a redução do aquecimento global, desde que o mesmo seja proveniente de mata de reflorestamento destinadas para a atividade industrial.

No entanto, apesar do caráter renovável do carvão vegetal, para o presente trabalho, iremos adotar a substituição do coque de petróleo pelo gás natural como fonte energética, devido ao fato das emissões de CO<sub>2</sub> advindas do gás natural representarem o menor valor de emissões dentro da matriz energética do setor de cimento.

As Tabelas 6 e 7, por sua vez, apresentam o cálculo para determinar o valor das emissões para cada combustível considerando que o consumo de coque de petróleo fosse revertido para o gás natural.

Tabela 6: Etapas 1, 2 e 3 do método top-down

| Combustível              | Etapa 1            |                             |              | Etapa 2                             |                           | Etapa 3                    |  |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--|
|                          | transformar em tep | Fator de conversão (TJ/tep) | Consumo (TJ) | Fator de emissão de carbono (tC/TJ) | Conteúdo de carbono (t C) | Conteúdo de carbono (Gg C) |  |
| Gás Natural              | 3.184.000,00       | 0,04070                     | 129.573,84   | 15,30                               | 1.982.479,68              | 1.982,48                   |  |
| Carvão Mineral           | 62.000,00          | 0,04296                     | 2.663,28     | 25,80                               | 68.712,66                 | 68,71                      |  |
| Lenha                    | -                  | 0,04296                     | -            | 29,90                               | -                         | -                          |  |
| Óleo Diesel              | 45.000,00          | 0,04296                     | 1.933,03     | 20,20                               | 39.047,14                 | 39,05                      |  |
| Óleo Combustível         | 8.000,00           | 0,04296                     | 343,65       | 21,10                               | 7.251,00                  | 7,25                       |  |
| Eletricidade             | 431.000,00         | -                           | -            | -                                   | -                         | -                          |  |
| Carvão Vegetal           | 63.000,00          | 0,04296                     | 2.706,24     | 29,90                               | 80.916,50                 | 80,92                      |  |
| Coque de Petróleo        | -                  | 0,04296                     | -            | 27,50                               | -                         | -                          |  |
| Outras não especificadas | 350.000,00         | -                           | -            | -                                   | -                         | -                          |  |

Tabela 7: Etapas 4, 5 e 6 do método top-down

| Combustível              | Etapa 4                 |                                   | Etapa 5        |                           | Etapa 6   |  |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------|---|--|
|                          | Carbono estocado (Gg C) | Emissão líquida de carbono (Gg C) | Fração oxidada | Emissão de carbono (Gg C) | Emissão de CO <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> t CO <sub>2</sub> ) | Emissão de CO <sub>2</sub> (gG CO <sub>2</sub> ) |
| Gás Natural              | -                       | 1.982,48                          | 0,995          | 1.972,57                  | 7,23  | 7.232,75   |
| Carvão Mineral           | -                       | 68,71                             | 0,98           | 67,34                     | 0,25  | 246,91   |
| Lenha                    | -                       | -                                 | 0,87           | -                         | -   | -  |
| Óleo Diesel              | -                       | 39,05                             | 0,99           | 38,66                     | 0,14  | 141,74   |
| Óleo Combustível         | -                       | 7,25                              | 0,99           | 7,18                      | 0,03  | 26,32  |
| Eletricidade             | -                       | -                                 | -              | -                         | -   | -  |
| Carvão Vegetal           | -                       | 80,92                             | 0,88           | 71,21                     | 0,26  | 261,09   |
| Coque de Petróleo        | -                       | -                                 | 0,99           | -                         | -   | -  |
| Outras não especificadas | -                       | -                                 | -              | -                         | -   | -  |

Ao substituímos o consumo de coque de petróleo por gás natural, notamos uma diminuição de 14.282,00Gg para 7.908,81 Gg nas emissões de CO<sub>2</sub>, como mostrado nas Tabelas 6 e 7.

Com os cálculos relativos às emissões da matriz energética realizados e a proposta de substituição de uma fonte energética feita, a partir de agora iremos realizar o estudo de viabilidade econômica a partir do método dos métodos propostos, que são: VPL, TIR e *PAYBACK*.

Para tal estudo, os dados do consumo energético foram retirados do balanço energético nacional. Tendo em vista que tal fonte apresenta os dados consolidados de todo o setor de cimento, o mesmo foi considerado como se fosse uma única empresa, a fim de possibilitar a aplicação da técnica do VPL, no presente trabalho, para todo o setor em estudo.

Como descrito acima no índice 3.2, iremos considerar as entradas (FCn) como os ganhos econômicos referentes à utilização do novo energético, em outras palavras, ao valor que será economizado pelo uso da nova fonte energética adotada em relação a utilizada anteriormente.

Dessa forma, é necessário que calculemos os gastos monetários com o consumo das fontes energéticas atuais e, após isso, os gastos monetários que seriam realizados após a troca de uma das fontes energéticas, no caso a troca do coque de petróleo pelo gás natural.

Para isso, inicialmente iremos converter o consumo das fontes energéticas fornecidos em tep pelo BEN (2011), para unidades que possam nos fornecer os gastos equivalentes em unidades monetárias. No caso do gás natural e do coque de petróleo, converteremos ambas as unidades para m<sup>3</sup>.

De acordo com o BEN (2012), utilizaremos os fatores de conversão ilustrados na Tabela 8.

Tabela 8: Fatores de conversão

| <b>FONTES DE ENERGIA</b> | <b>UNIDADE</b>      | <b>MULTIPLICAR POR (=tep)</b> |
|--------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Gás Natural Úmido        | 1000 m <sup>3</sup> | 0,993                         |
| Coque de Petróleo        | m <sup>3</sup>      | 0,873                         |

Fonte: BEN (2012)

Ao realizar as conversões descritas, temos os resultados de consumo da situação atual e da situação proposta ilustrados nas Tabelas 9 e 10 abaixo:

Tabela 9: Consumo situação atual

| <b>FONTES DE ENERGIA (SITUAÇÃO ATUAL)</b> | <b>CONSUMO EM TEP</b> | <b>CONSUMO EM M<sup>3</sup></b> |
|---|-----------------------|---------------------------------|
| Gás Natural Úmido                         | 23.000                | 23.162.134,94                   |
| Coque de Petróleo                         | 3.161.000             | 3.620.847,65                    |

Tabela 10: Consumo situação proposta

| <b>FONTES DE ENERGIA (SITUAÇÃO PROPOSTA)</b> | <b>CONSUMO EM TEP</b> | <b>CONSUMO EM M<sup>3</sup></b> |
|--|-----------------------|---------------------------------|
| Gás Natural Úmido                            | 3.184.000             | 3.206.445.115,81                |

Uma vez que os consumos em m<sup>3</sup> foram calculados, podemos calcular os gastos monetários de ambas as situações ilustradas acima e compará-las.

Segundo a COMGAS (2012), o preço do m<sup>3</sup> do gás natural para esses padrões de consumo são fornecidos conforme a Tabela 11 mostrada abaixo.

Tabela 11: Preço GN segundo COMGAS (2012)

| Segmento Industrial | Classes | Valores sem ICMS                           |                | Valores com ICMS              |                |                               |
|---------------------|---------|--|----------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|
|                     |         | Volume m <sup>3</sup> /mês                 | Fixo - R\$/mês | Variável - R\$/m <sup>3</sup> | Fixo - R\$/mês | Variável - R\$/m <sup>3</sup> |
|                     | 1       | Até 50.000,00 m <sup>3</sup>               | 149,26         | 1,585958                      | 169,61         | 1,802225                      |
|                     | 2       | 50.000,01 a 300.000,00 m <sup>3</sup>      | 23.352,76      | 1,121869                      | 26.537,23      | 1,274851                      |
|                     | 3       | 300.000,01 a 500.000,00 m <sup>3</sup>     | 38.921,27      | 1,069928                      | 44.228,72      | 1,215827                      |
|                     | 4       | 500.000,01 a 1.000.000,00 m <sup>3</sup>   | 43.696,81      | 1,060378                      | 49.655,47      | 1,204975                      |
|                     | 5       | 1.000.000,01 a 2.000.000,00 m <sup>3</sup> | 63.216,26      | 1,040858                      | 71.836,66      | 1,182793                      |
|                     | 6       | > 2.000.000,00 m <sup>3</sup>              | 97.662,35      | 1,023635                      | 110.979,94     | 1,163222                      |

**Nota do Faturamento:** Cada classe é independente. Aplica-se a cada uma delas um encargo variável e um encargo fixo.

Para o coque de petróleo, segundo SOUZA (2011), o preço médio no ano de 2011 foi de R\$ 378,58 por tonelada. Devido à dificuldade de encontrar dados sobre o preço em 2013, utilizaremos o preço médio de 2011 como base, supondo que não houve alteração deste valor neste período.

Uma vez que o dado ilustrado na Tabela 9 referente ao consumo de coque de petróleo está em m<sup>3</sup> e o preço médio refere-se ao consumo de uma tonelada, será necessário realizar a conversão de unidades conforme demonstrado na Tabela 12. Para tal, considerou-se a densidade do coque de petróleo igual a 1,2 t/m<sup>3</sup>.

Tabela 12: Consumo em toneladas

| Coque de Petróleo |              |
|-------------------|--------------|
| M <sup>3</sup>    | Toneladas    |
| 3.620.847,65      | 4.345.017,18 |

Com os dados obtidos e ilustrados acima, podemos agora calcular os gastos monetários com o uso das fontes energéticas atuais e com o uso proposto de uma nova fonte energética.

Os resultados obtidos seguem na Tabela 13 abaixo.

Tabela 13: Gastos Monetários

| <b>GASTOS MONETÁRIOS ANUAIS</b> |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| <b>SITUAÇÃO ATUAL</b>           | <b>SITUAÇÃO PROPOSTA</b> |
| R\$ 1.669.803.692,57            | R\$ 3.283.401.394,32     |

Com os resultados obtidos relacionados aos gastos monetários, percebeu-se que a substituição do coque de petróleo por gás natural na matriz energética proposta para o setor de cimento encareceu os gastos totais anuais com as fontes energéticas.

Dessa forma, as entradas (FC<sub>n</sub>) correspondentes aos balanços econômicos advindos da substituição energética serão sempre negativas e, portanto, inviabilizarão o investimento inicial realizado segundo o método do valor presente líquido (VPL).

Em outras palavras, após o investimento não haverá entrada de receitas advindas da substituição proposta. Logo, o investimento inicial não será recuperado de acordo com o fluxo de caixa.

A figura 7 ilustra o fluxo de caixa do projeto de substituição.

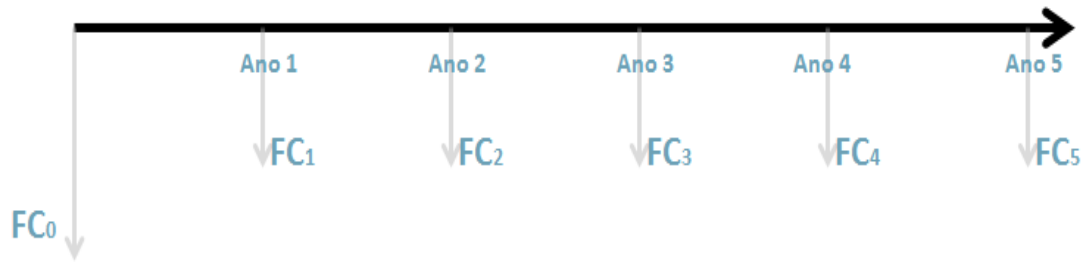


Figura 7 – Fluxo de Caixa do Projeto.  
Fonte: Autor (2013)

Como ilustrado na figura 7 acima, todos os fluxos de caixa oriundos do projeto são negativos e, portanto, o VPL será sempre negativo.

Uma vez que o cálculo da TIR é feito igualando o VPL à zero, como descrito no método 3.5, não será possível realizar o cálculo da TIR para esse projeto. Em outras palavras, uma vez que não há retornos positivos ao longo do fluxo de caixa do projeto, fica evidente que o projeto não trará retorno financeiro e, portanto, não haverá a TIR.

Para que um projeto tenha retorno financeiro e, conseqüentemente, seja possível calcular sua taxa de retorno, é necessário que haja em algum momento no tempo a inversão nos fluxos de caixa, ou seja, em algum momento após o investimento inicial (negativo) os fluxos passarão a ser positivos.

Pode-se concluir também que o projeto nunca irá recuperar o investimento inicial realizado uma vez que todos os fluxos futuros do projeto são negativos. Dessa forma, não teremos o Período de Recuperação de Investimento, ou seja, não será possível calcular o *Payback* do projeto.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível determinar as emissões de CO<sub>2</sub> dos principais combustíveis utilizados no setor industrial de cimento, no ano de 2011. Tais dados forneceram base para a seleção dos combustíveis que mais contribuíram para a

elevação do efeito estufa. Dessa forma, foi possível propor a troca da fonte energética mais poluente, coque de petróleo, pela menos poluente, no caso o gás natural.

Vale ressaltar que o gás natural não é um combustível renovável e, portanto, contribui nas emissões de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, para o efeito estufa. No entanto, devido à técnica top-down, proposta pelo IPCC (2011), utilizada no presente trabalho não levar em conta em seus cálculos a condição de combustível renovável do carvão vegetal, que absorve CO<sub>2</sub> da atmosfera no desenvolvimento da planta que gera a lenha necessária para produzir o carvão, escolheu-se o gás natural como melhor opção.

As informações obtidas com relação às emissões de gás carbônico das indústrias em estudo são essenciais para a composição de um inventário de emissões de gases do efeito estufa, que é uma ferramenta importante na análise estratégica da viabilidade econômica, técnica e ambiental da utilização de combustíveis no setor industrial.

Realizada a proposta da troca da fonte energética do coque de petróleo pela do gás natural, realizou-se um estudo segundo o método de valor presente líquido (VPL) para verificar a viabilidade econômica da alteração na matriz energética do setor de cimento.

Para tal estudo, levaram-se em consideração os dados fornecidos pelo BEN (2011) e, portanto, os dados consolidados de consumo de todo o setor de cimento. Dessa forma, considerou-se o setor de cimento como uma única grande empresa a fim de possibilitar a aplicação do método VPL proposto.

Conforme os resultados ilustrados no trabalho, verificou-se que a troca de energéticos proposta não é viável economicamente devido aos gastos monetários da nova situação serem superiores a situação atual e, portanto, os FCn propostos no VPL serem todos negativos.

Por essa razão não foi possível calcular a TIR e o *Payback* do projeto e, portanto, considerá-lo inviável economicamente segundo as premissas adotadas.

No entanto, apesar do projeto proposto não ser viável economicamente de acordo com o métodos analisados, é necessário que se leve em consideração outros aspectos antes de descartar a possibilidade de implementar o mesmo.

Um ponto importante de ser levado em consideração é que a substituição de um combustível altamente emissor de Gases do Efeito Estufa por outro menos poluente é um dos procedimentos de Produção Mais Limpa, uma vez que propõe a alteração da matéria prima com o objetivo de reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo processo industrial. A alteração do combustível com o objetivo de minimizar os impactos ambientais decorrente da atividade industrial é registrada pela ONU como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, vinculado ao Protocolo de Quioto. Com essa postura, a empresa pode atrair investidores, se adequar à legislação vigente e se tornar mais competitiva no ramo dos negócios, retornando o investimento financeiro inicial e garantindo a perenidade de suas atividades.

Desta forma, há a possibilidade de aproveitar as menores emissões advindas da nova fonte proposta no contexto de venda de crédito carbono que está em contínuo crescimento. Assim, cria-se a possibilidade de novas fontes de investimento que poderiam auxiliar na viabilização econômica do projeto. Vale ressaltar, que no presente trabalho, na elaboração do estudo de viabilidade econômica não foi levada em consideração os possíveis investimentos propostos acima.

Portanto, o contexto abordado no presente trabalho demonstrou-se de suma importância devido às possibilidades de melhorias ambientais levando-se em consideração aspectos econômicos.

## 6. PLANO DE TRABALHO E CRONOGRAMA

O projeto de pesquisa foi estruturado nas seguintes etapas: atualização bibliográfica, coleta dos dados, elaboração de inventários, análise dos resultados, discussão e conclusão e elaboração de relatórios. Está organizado em quatro etapas, cada uma delas correspondente a três meses.

Vale ressaltar que etapas como atualização bibliográfica e coleta de dados foram desenvolvidas ao longo de quase todo o projeto.

O cronograma do projeto, que inclui as atividades propostas e concluídas, está ilustrado na Figura 8.

|                           | 1º Etapa | 2º Etapa | 3º Etapa | 4º Etapa |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Atualização Bibliográfica | x        | x        | x        | x        |
| Coleta de Dados           | x        | x        | x        |          |
| Elaboração de Inventários |          | x        | x        |          |
| Análise dos Resultados    |          |          | x        | x        |
| Discussão e Conclusão     |          |          | x        | x        |
| Relatório Parcial/Final   |          | x        |          | x        |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| x | Atividades Propostas  |
| x | Atividades Concluídas |

Figura 8 – Cronograma das atividades do projeto  
 Fonte: Autor (2013)

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BALANÇO ENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO 2010:** Ano base 2009. São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.energia.sp.gov.br/Balan%C3%A7o\\_2010\\_2009.pdf](http://www.energia.sp.gov.br/Balan%C3%A7o_2010_2009.pdf)> Acesso em: 14 Dezembro 2012.

**BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2011:** Ano base 2010. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2011.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2011.pdf)> Acesso em: 14 Dezembro 2012.

**BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2012:** Ano base 2011. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2012\\_Manual\\_coleta\\_dados.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/BEN2012_Manual_coleta_dados.pdf)> Acesso em: 10 janeiro 2013.

BERNSTEIN (2000), Peter L.; DAMODARAN, Aswath. Administração de investimentos. Porto Alegre: Bookman, 2000. 423p.

CARDOSO, Fátima. **Efeito Estufa: Por que a Terra morre de calor**.1. Ed. – São Paulo: Editora Terceiro Nome; Mostarda Editora, 2006.

COMGAS - COMPANHIA DE GÁS DE SÃO PAULO. **Gás Natural na Indústria**. Disponível em: < [http://www.comgas.com.br/sou\\_industrial/gasnatural/segmentos.asp](http://www.comgas.com.br/sou_industrial/gasnatural/segmentos.asp) >. Acesso em: 09 Julho 2013.

**EFEITO ESTUFA (2012)**. Esquema representativo do efeito estufa. Disponível em: < <http://www.flickr.com/photos/rubenspaiva/2985281491/> >. Acesso em: 12 Março 2013.

GITMAN (2003), Lawrence J.,; MADURA, Jeff. Administração financeira: uma abordagem gerencial. São Paulo: Pearson Education: Addison Wesley, 2003. 676p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (1996) **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual**. Disponível em: < <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html> > Acesso em:10 Fevereiro 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2007) **IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007**. Disponível em: < [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg2/en/spm.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/spm.html) > Acesso em: 10 Maio 2013.

ISTO É DINHEIRO. 2011. Votorantim Engaja Clientes. Isto é Dinheiro, 06 de abril de 2011.

JACOTT, M.; COMUNES, F. (2003). Energy Use in the Cement Industry in North America: Emissions, Waste Generation and Pollution Control, 1990-2001. In: **2nd North American Symposium on Assessing the Environmental Effects of Trade**.

KIM, Y.; WORRELL, E. (2002). CO<sub>2</sub> emission trends in the cement industry: An international comparison. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 7, n. 2, p. 115-133.

Lunelli, **Reinaldo Luiz**. (2012) **Análise de Investimentos**. Disponível em:<<http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>>. Acesso em: 10 de Maio 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). (2006) **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem *top-down***. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17349.html>>. Acesso em: 22 Junho 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). (2009). **Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases do Efeito Estufa**. Disponível em: < [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0207/207624.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0207/207624.pdf)>. Acesso em: 22 OUTUBRO 2013.

REBELATTO, Daisy Rebelatto. **Projeto de Investimento**. 1. Ed. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2004.

SIMÕES, André Felipe. **O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais: Emissões de CO<sub>2</sub> e Alternativas de Mitigação**. 228p.Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2003.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO (SNIC). (2011) **Press Kit 2011**. Disponível em: < [http://www.snic.org.br/pdf/presskit\\_SNIC\\_2011.pdf](http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2011.pdf)>. Acesso em: 12 Fevereiro 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO (SNIC). (2012) **Etapas de produção**. Disponível em: <http://www.snic.org.br/>. Acesso em: 15 MARÇO 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDUSTRIA DO CIMENTO (SNIC). (2012) **História do cimento no Brasil**. Disponível em: <[http://www.snic.org.br/pdf/Historia\\_do\\_Cimento\\_no\\_Brasil.pdf](http://www.snic.org.br/pdf/Historia_do_Cimento_no_Brasil.pdf)> Acesso em: 10 MARÇO 2013.

SOUZA, C.D.R. (2011). **Análise da cadeia de valor aplicada a cadeias logísticas reversas. Uma contribuição ao reaproveitamento de pneus inservíveis**. Dissertação

(mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE. Programa de Engenharia de Transportes, 2011.

SUGUIO, Kenitiro. **Mudanças Ambientais da Terra**. São Paulo: Instituto Geológico, 2008. 336 p.

TEIXEIRA, **Luciene**. (2012) **Análise do Setor de Cimento no Brasil**. Disponível em:< <http://www.cbicdados.com.br/files/textos/032.pdf>>. Acesso em: 10 de Fevereiro 2013.

WORELL, E.; MARTIN, N.; PRICE, L. (2000). **Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry**. *Energy*, v. 25, n. 12, p. 1189-1214.