

ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO AMBIENTAL DA ALTERAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA DO SETOR DE CIMENTO

Flavia de Castro Camioto (EESC-USP)

flaviacamioto@yahoo.com.br

Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto (EESC-USP)

daisy@sc.usp.br



O objetivo deste artigo é analisar a possibilidade de redução da emissão de CO₂ por meio da alteração da matriz energética do setor industrial de cimento. Para a medição das emissões de CO₂ dos combustíveis utilizados, neste setor, foi usado o método Top-Down, proposto pelo IPCC. Além disso, a partir dos dados de consumo energético, foi realizada a quantificação das emissões de CO₂ supondo a mudança da matriz energética deste setor para efeito de comparação das emissões. Os resultados deste estudo indicam que se fosse possível utilizar somente um combustível na indústria de cimento, para suprir sua demanda energética, as emissões de CO₂ seriam menores para o gás natural. Apesar deste estudo ter indicado que o carvão vegetal é o segundo maior emissor de CO₂ do setor, o mesmo pode contribuir para a redução do aquecimento global, desde que este energético seja proveniente de mata de reflorestamento destinadas para a atividade industrial.

Palavras-chaves: Setor de Cimento, Método Top Down, Energia Renovável, Gases do Efeito Estufa (GEE)

1. Introdução

Os resultados apresentados no último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) confirmam que as causas do aquecimento global são atribuídas, em grande parte, às atividades humanas, principalmente, àquelas relacionadas à emissão de CO₂. Da mesma forma, mostrou-se que as queimas de combustíveis fósseis são responsáveis por cerca de 90% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono produzidas por ano.

Silva e Guerra (2009), no entanto, explicam que o uso deste combustível tem movido a economia mundial desde a Revolução Industrial, sendo que a energia é um dos componentes essenciais para o desenvolvimento social e econômico de uma nação e o seu suprimento é um pré-requisito fundamental às atividades humanas.

No caso do Brasil, de acordo com Freitas e Kaneko (2011), a atividade econômica, juntamente com a pressão demográfica, são as principais forças que explicam o aumento das emissões. Por outro lado, a redução da intensidade de carbono e a diversificação da matriz energética para fontes mais limpas são os principais fatores que contribuem para mitigação de emissões.

Nesse sentido, as implicações ambientais da produção e do uso dos recursos energéticos têm-se apresentado como um grande desafio aos países desenvolvidos e em desenvolvimento, uma vez que a produção, distribuição, transformação e consumo de energia devem ser orientados de modo a garantir o desenvolvimento, sem ampliar os efeitos negativos à sociedade e ao meio ambiente. Nesse sentido, alguns autores, como Lior (2010) e Goldemberg e Moreira (2005), enfatizam que é preciso um sistema político para suportar de forma rápida e efetiva movimentos em direção à energia sustentável.

Diante deste contexto, a utilização de energias mais limpas pode ser considerada como estratégica ao desenvolvimento da sociedade, por garantir a perenidade dos recursos naturais e por causar menos impactos ao meio ambiente. A substituição da matriz energética torna-se, neste caso, importante para o direcionamento de recursos públicos, na busca do desenvolvimento sustentável.

Neste sentido, apesar do estudo de Simões e La Rovere (2008), que analisaram o Brasil do ponto de vista da oferta de energia renovável, concluir que a matriz energética do país é, particularmente, limpa, sendo que a oferta interna de energia renovável, do país, é de 44,1%

(BEN, 2012), o setor industrial ainda possui muitas das suas atividades dependentes de combustíveis fósseis. Como consequência, esse setor acaba agredindo o meio ambiente por emitir altíssimas concentrações de gases do efeito estufa (GEE), aumentando o aquecimento global, além de contribuir para a extensa extração de combustíveis na forma de petróleo e carvão.

É importante considerar, no entanto, que todas as formas de geração de energia provocam interferências no meio ambiente. Algumas são mais impactantes e outras menos. Porém, devido aos grandes impactos ambientais causados pelas fontes fósseis de energia, além da perspectiva de esgotamento, em médio prazo, das reservas existentes, cabe analisar as possibilidades de redução de emissões por parte do setor industrial por meio da adoção de fontes de energias mais limpas, principalmente as renováveis.

Diante deste contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar a possibilidade de redução de CO₂ pelo setor industrial de cimento, por meio do consumo de fontes energéticas mais limpas.

2. Caracterização do setor de cimento

O cimento Portland, que segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2012), corresponde a quase toda a produção de cimento mundial, é o produto de uma atividade integrada de exploração e beneficiamento de substâncias minerais (calcário e argila), de sua transformação química em clínquer (cimento não pulverizado) e posterior moagem.

De acordo com Worrell (2000) a produção do clínquer é a etapa mais intensiva de energia na produção de cimento, correspondendo a mais de 90% do total de energia utilizada nesta indústria.

Vale mencionar que o Brasil apresenta um consumo per capita de cimento (271 Kg/hab em 2009) bastante inferior ao consumo per capita mundial (447 Kg/hab em 2009), segundo SNIC (2010). Em 2011, o setor industrial de cimento foi responsável por cerca de 5% do consumo final de energia do setor industrial (BEN, 2012). Todavia, apesar do baixo consumo energético, este setor apresenta um grande potencial de crescimento, devido à atual expansão da infraestrutura e construção civil. Como resultado, haverá uma ampliação da produção de cimento e, conseqüentemente, do consumo energético e das emissões deste setor, caso não

haja uma alteração nos padrões de emissão da indústria de cimento, que tende a tornar-se cada vez mais importante para a questão das mudanças climáticas (LIMA, 2010).

Neste contexto, vale destacar que o setor de cimento possui seu processo produtivo dependente de elevadas quantidades de combustíveis fósseis, como é possível observar pela Tabela 1, que apresenta a evolução no uso de combustíveis por este setor industrial, de 2001 a 2011.

Tabela 1 - Estrutura de Consumo do Setor Industrial - Cimento em 10³ tep

Fontes	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Gás natural	24	28	14	20	17	18	24	25	15	23	29
Carvão mineral	180	135	211	38	6	66	60	62	57	52	56
Lenha	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Óleo diesel	23	25	26	31	35	33	41	43	42	45	59
Óleo combustível	229	134	91	22	23	23	26	29	29	8	14
Eletricidade	375	343	328	323	345	354	371	411	407	456	502
Carvão vegetal	211	207	247	284	249	261	222	249	55	63	68
Coque de petróleo	2.198	2.125	1.726	1.696	1.881	2.031	2.300	2.561	2.736	3.161	3.512
Outras não especificadas	132	136	165	234	275	300	330	362	335	350	382
Total	3.381	3.132	2.808	2.648	2.831	3.087	3.373	3.742	3.675	4.157	4.622

Fonte: BEN (2012)

Verifica-se que o setor de cimento, deixou de consumir lenha no seu processo produtivo e vem diminuindo ao longo do tempo o consumo de carvão vegetal, que são combustíveis renováveis. Por outro lado, vem aumentando a participação de fontes fósseis no consumo total de energia do setor, principalmente do coque de petróleo.

De acordo com os resultados do trabalho de Kim e Worrell (2002), esta alteração do *mix* de combustíveis utilizados, resultando na diminuição do uso da biomassa (carvão vegetal) e no aumento da utilização do petróleo na produção do clínquer, foi um dos principais fatores que contribuíram para o aumento da intensidade e das emissões de CO₂ no setor de cimento brasileiro. Estes autores, ainda, sinalizaram que o *mix* de combustíveis intensivos em carbono, em muitos países, indica um potencial de redução de emissões por meio da alteração da matriz por combustíveis menos intensivos em carbono, como o gás natural.

Deve-se ressaltar, no entanto, que, na indústria de cimento, grande parte do CO₂ liberado é proveniente do processo de manufatura, especialmente na etapa de calcinação da matéria-

prima do cimento Portland. Portanto, a produção de cimento teria uma elevada emissão de CO₂ mesmo se nenhum combustível fosse requerido no processo (KLINE et al., 2012).

Diante deste cenário, Soares e Tolmasquim (2000) concluem que a indústria de cimento é um dos principais setores responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa devido a dois fatores: (1) a calcinação de matérias-primas para a produção do cimento Portland; e (2) o consumo dos combustíveis necessários para manter as altas temperaturas exigidas por estes processos.

Considerando isso, Vatopoulos e Tzimas (2012) afirmam que reduções significativas das emissões do setor de cimento só podem ser alcançadas por meio da aplicação de técnicas de captura e armazenagem de carbono (CAC). No entanto, o IEA (*International Energy Agency*) e o WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) elaboraram um roteiro para diminuir a intensidade de CO₂ da produção de cimento, que foca, além da CAC, em outras três distintas "alavancas de redução": a eficiência térmica e elétrica, o uso de combustível alternativo e a substituição do clínquer (WBCSD; IEA, 2009).

O documento não prevê a implementação de tecnologias muito avançadas de fabricação do cimento, que viabilizariam a substituição do clínquer. Já a CAC não se encontra desenvolvida a ponto de poder ser aplicada em larga escala no setor. Por sua vez, o aumento da eficiência energética através do uso de tecnologias mais eficientes, segundo Lima (2010), não é uma opção tão promissora no Brasil, uma vez que as fábricas nacionais encontram-se entre os menores consumidores energéticos mundiais.

Considerando este contexto, justifica-se o foco deste trabalho em quantificar a potencial contribuição da alteração da matriz energética, do setor de cimento, para a redução dos GEE.

4. Método

A partir do Balanço Energético Nacional, foi possível identificar os atuais combustíveis utilizados pelo setor industrial em estudo. O próximo passo foi a mensuração das emissões de CO₂ considerando as fontes atualmente utilizadas e alterações hipotéticas da matriz energética por possíveis substitutos dessas fontes. Reitera-se que os valores foram calculados em escala anual (ano de 2011) e foi considerado todo o território nacional.

Destaca-se, no entanto, que a quantificação mais adequada para os combustíveis provenientes da biomassa deveria ser feita considerando as mudanças no uso do solo e florestas. O que o método *Top-Down*, utilizado nesta pesquisa, propõe é uma quantificação destes energéticos sem considerar a captura de CO₂ destes combustíveis durante seu estágio de desenvolvimento característico.

Logo, as estimativas visam atender à recomendação do IPCC de que as emissões de CO₂ da biomassa devem ser incluídas, apenas a título de informação, sem serem adicionadas às emissões dos combustíveis fósseis. Os combustíveis de origem renovável não geram emissões líquidas e as emissões associadas à parcela não renovável são incluídas no setor de Mudança do Uso da Terra e Florestas. O método de quantificação será detalhado no próximo item.

Destaca-se que não são observadas, na indústria, emissões decorrentes do uso de energia elétrica, uma vez que essas emissões ocorrem durante a geração da mesma. No entanto, vale ressaltar que existe uma grande diversidade de formas de geração deste tipo de energia. Logo, as emissões da energia elétrica não foram abordadas no presente trabalho.

4.1. O método *top-down* de quantificação das emissões de CO₂

Existem dois métodos desenvolvidos pelo IPCC que permitem o cálculo de emissões de CO₂: o *bottom-up* e o *top-down*. Pela maior confiabilidade dos dados e menor complexidade para o levantamento destes, o método *top-down* foi o mais difundido (SIMÕES, 2003). De acordo com o Ministério de Ciências e Tecnologia - MCT (2006), para a aplicação do método *top-down* do IPCC é necessário realizar a seguinte sequência de passos:

- a) Determinação do consumo aparente dos combustíveis, nas suas unidades de medida originais: neste trabalho, foi utilizado o consumo direto dos setores em estudo, com o objetivo de representar as emissões específicas dos segmentos estudados. Estes dados foram encontrados no Balanço Energético Nacional.
- b) Conversão do consumo aparente para uma unidade de energia comum, terajoules (TJ): as quantidades dos combustíveis são expressas pelo BEN em toneladas equivalentes de petróleo (tep), para converter os valores do BEN para TJ, conforme recomendação do IPCC (1996), deve-se multiplicar $45,217 \times 10^{-3}$ pelo fator de correção, este é igual a 0,95 para os combustíveis sólidos e líquidos e 0,90 para os combustíveis gasosos (MCT, 2006).

- c) Transformação do consumo aparente de cada combustível em conteúdo de carbono, mediante a sua multiplicação pelo fator de emissão de carbono do combustível: nesta pesquisa, os valores utilizados para o fator de emissão foram aqueles indicados pelo MCT (2006). Além disso, quando, ao invés de indicar o consumo de cada um dos energéticos pelo setor, o BEN (2012) indicava a somatória do consumo de energia de duas fontes, foi considerado, como fator de emissão, a média dos fatores dos dois combustíveis.
- d) 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: foi utilizado como referência o consumo de fontes de energia dos setores industriais divulgados no BEN (2012), no qual todo combustível é considerado de uso energético.
- e) Correção dos valores para se considerar a combustão incompleta do combustível, para se computar a quantidade de carbono realmente oxidada na combustão: a fração de carbono oxidada foi a recomendada pelo IPCC (1996): 0,98 para carvões, 0,99 para o petróleo e seus derivados, 0,995 para o gás natural. Para as demais fontes energéticas a fração de carbono oxidada foi a mesma utilizada pelo MCT (2006).
- f) Conversão da quantidade de carbono oxidada em emissões de CO₂: foi obtida multiplicando-se as emissões em termos de carbono por 44/12. Onde 44 é o peso molecular do CO₂ e 12 é o peso atômico do carbono (C).

5. Apresentação e Discussão dos Resultados

A partir do BEN (2012), foi possível verificar o consumo energético por fonte de energia em 2011, para o setor industrial de cimento. Com isso, foram mensuradas as respectivas emissões de CO₂ deste setor por meio do método *Top Down*. Ressalta-se, porém, que por não especificar o tipo de fonte energética que provém 8,3% do consumo energético, não foi possível calcular as emissões desta porcentagem do consumo de energia do setor de cimento. As etapas necessárias para obtenção do resultado final foram dispostas na Tabela 2.

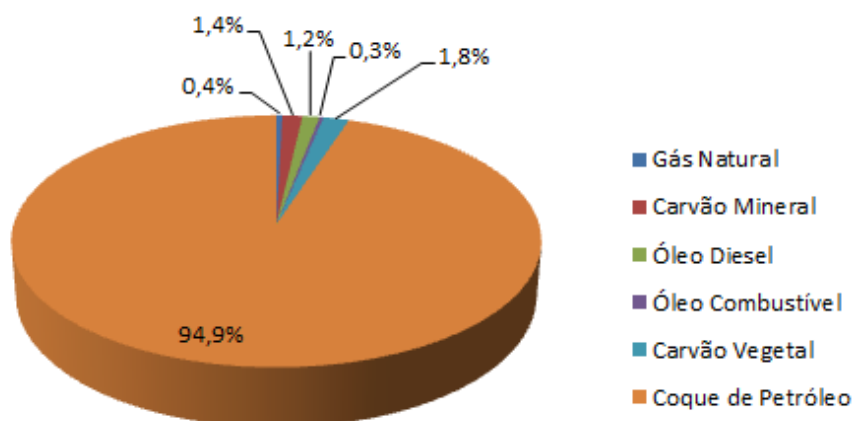
Tabela 2 – Etapas de quantificação das emissões de CO₂ (2011)

Combustível	Consumo (tep)	Consumo (TJ)	Conteúdo de carbono (t C)	Emissão de carbono (Gg C)	Emissão de CO ₂ (10 ⁶ t CO ₂)
Gás natural	29.040,00	1.181,79	18.081,41	17,99	0,07
Carvão mineral	55.772,51	2.395,77	61.810,92	60,57	0,22
Lenha	-	-	-	-	-
Óleo diesel	59.299,84	2.547,29	51.455,32	50,94	0,19
Óleo combustível	13.502,30	580,01	12.238,15	12,12	0,04
Elettricidade	501.815,16	-	-	-	-
Carvão vegetal	68.212,76	2.930,16	87.611,70	77,10	0,28
Coque de petróleo	3.511.969,02	150.860,67	4.148.668,37	4.107,18	15,06
Outras não especificadas	382.057,95			-	-

Fonte: Elaboração própria

Reitera-se que os valores são calculados em escala anual e é considerado todo o território brasileiro. Assim sendo, foi possível elaborar a Figura 1, que apresenta a participação de cada combustível nas emissões de CO₂ no setor industrial de cimento.

Figura 1 - Emissões de CO₂ por combustível no setor de cimento (%)



Fonte: Elaboração própria

Observa-se que, devido ao elevado consumo, o coque de petróleo é o maior responsável pelas elevadas emissões atmosféricas de CO₂ do setor de cimento. O combustível emitiu 15,06 x 10⁶ toneladas (t) de CO₂, correspondendo a 94,9% do total das emissões.

Segundo o BEN (2012), este setor, ainda consome uma pequena quantidade de carvão vegetal, responsável por 1,8% das emissões. No entanto, ressalta-se que, no caso de indústrias que produzem os combustíveis renováveis que consomem, por meio da reposição da biomassa

utilizada no processo produtivo, considera-se que não há emissões de gás carbônico. No entanto, tal característica de captura do CO₂ não foi mensurada nos cálculos efetuados.

Diante destes resultados, é possível concluir que a substituição do coque de petróleo traria grandes modificações à quantidade de dióxido de carbono emitido na atmosfera por este setor industrial.

Segundo o WBCSD e o IEA (2009), muitos combustíveis alternativos podem ser utilizados na substituição do coque de petróleo, como por exemplo: resíduos de pneus; resíduos sólidos industriais e municipais pré-tratados; resíduos de óleo e solvente; resíduos de plástico, papel e têxtil; e biomassa (farinhas de origem animal, resíduos de madeira, madeira e papel reciclados, resíduos agrícolas como casca de arroz ou serragem, entre outros). De acordo com Lima (2010), a utilização destes resíduos reduz a necessidade de uso de combustíveis fósseis, levando a um aumento da vida útil de aterros e a redução da emissão de metano nestes aterros. Porém, devem ser considerados fatores negativos, como maiores fatores de emissão de alguns resíduos com relação a alguns combustíveis fósseis e possibilidade de geração de poluição ambiental. Destaca-se, porém, que para a análise deste trabalho, foram considerados os combustíveis mencionados pelo Balanço Energético Nacional, que já são utilizados pelo setor de cimento brasileiro.

A partir dos dados de consumo energético, também, foi realizada a quantificação das emissões de CO₂ supondo que todo o consumo energético da indústria brasileira de cimento é abastecido por apenas um combustível. De acordo com BEN (2012), o consumo total para o ano de 2011 foi de 4.120×10^3 tep. Desconsiderou-se, nesse total, o consumo por eletricidade, a qual não é o foco da pesquisa; e o consumo por outras fontes não especificadas, por não especificar as fontes energéticas. Fixando este consumo para cada combustível utilizado na indústria, é possível estimar quanto se emitiria, caso toda a matriz energética fosse substituída por este combustível. Assim, a Tabela 3 a seguir, mostra o resultado obtido das emissões de CO₂ de cada combustível, como se este fosse utilizado como único suprimento para toda a demanda energética do setor.

Tabela 3 - Emissões de CO₂ considerando consumo total do setor por apenas um combustível

Combustível	Emissão de CO ₂ (10 ⁶ t CO ₂)
Gás Natural	9,36
Carvão Mineral	16,41
Lenha	16,88
Óleo Diesel	12,98
Óleo Combustível	13,56
Eletricidade	-
Carvão Vegetal	17,07
Coque de Petróleo	17,67
Outras não especificadas	-

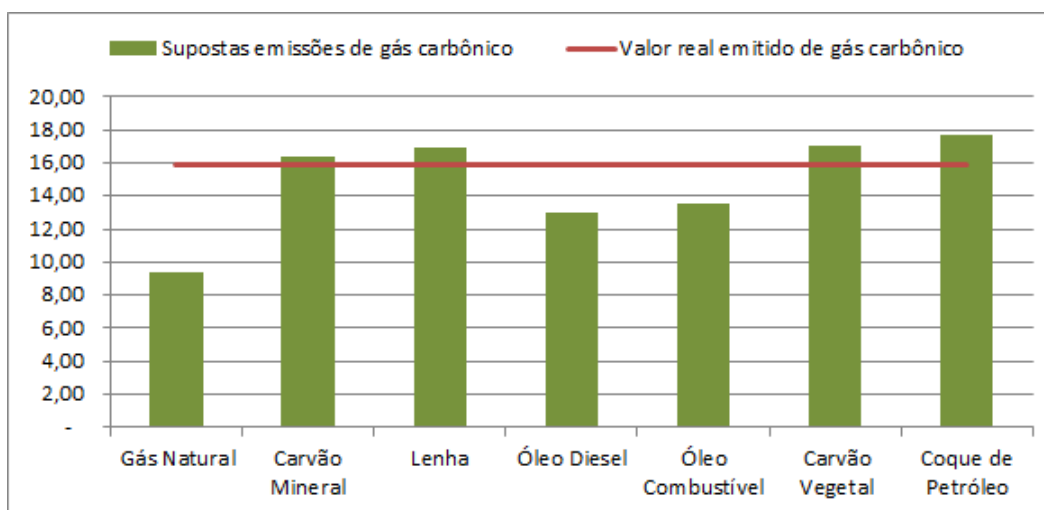
Fonte: Elaboração própria

Nota-se que os combustíveis que mais emitem gás carbônico, para o mesmo consumo de energia são, respectivamente, o coque de petróleo, o carvão vegetal e a lenha. Apesar desta última não ser mais consumida pelo setor, julgou-se interessante estudar as suas emissões, a fim de verificar as vantagens de inseri-la novamente na matriz energética do setor de cimento, considerando, assim, a possibilidade de elaborar novas políticas para o incentivo deste energético, com o devido respeito ambiental.

Analisando somente as emissões de CO₂, percebe-se, ainda, que, dentre os combustíveis analisados, o gás natural se mostrou o menos poluente, emitindo quase metade do CO₂ emitido pelo coque de petróleo. Isso ocorre devido ao fator de conversão e ao fator de emissão de carbono.

A partir do consumo total real do setor, com sua matriz energética diversificada, e considerando, também, a quantidade de CO₂ emitida pelos combustíveis, supondo que os mesmos sejam utilizados na indústria de cimento de forma exclusiva, elaborou-se a Figura 2, a seguir.

Figura 2 - Emissões de CO₂ supondo o consumo de apenas um combustível (em 10⁶ t de CO₂)



*O consumo de energia por eletricidade e por outras fontes não especificadas não foi computado na estimativa do valor real emitido.

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que, se fosse possível utilizar apenas um combustível na indústria de cimento para suprir sua demanda energética, o coque de petróleo seria o energético mais poluente, com o valor de emissão bem próximo do emitido no período analisado. Em contrapartida, as emissões de CO₂ seriam menores para o gás natural se o mesmo fosse utilizado de forma exclusiva na matriz energética do setor.

Estes resultados indicam um potencial significativo para reduzir a emissão de CO₂ pelo setor industrial de cimento, por meio da utilização do gás natural, em substituição aos demais combustíveis fósseis, quando possível.

Nota-se, ainda, que, se mantido o mesmo consumo energético, o coque de petróleo é o maior emissor de gás carbônico, seguido do carvão vegetal e da lenha. Entretanto, o método *Top-Down* do IPCC não considera em seus cálculos a condição de combustível renovável do carvão vegetal, que absorve CO₂ da atmosfera no desenvolvimento da planta que gera a lenha, que por sua vez produzirá o carvão. Portanto, vale ressaltar que o uso do carvão vegetal e da lenha 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.

O coque de petróleo, diferente do carvão vegetal e da lenha, não é um combustível renovável, ou seja, sua reposição é inviável em curto período de tempo. Assim sendo, sua oferta como energético é limitada, o que pode ocasionar falta de suprimento na indústria em longo prazo. Da mesma forma, o este energético não irá absorver o CO₂ emitido, fazendo com que sua

concentração na atmosfera aumente ainda mais, contribuindo para a elevação do efeito estufa com consequências a nível global. O mesmo pode ser dito dos outros combustíveis não renováveis, que embora emitam menos gás carbônico para suprir a mesma demanda energética, também, possuem suas reservas naturais limitadas em longo período de tempo.

Portanto, pode-se concluir que a remoção do coque de petróleo e do carvão mineral na indústria de cimento, no Brasil, é ambientalmente viável para a introdução do carvão vegetal, da lenha ou, ainda, do gás natural; uma vez que este último, mesmo sendo um combustível fóssil, apresenta baixas emissões.

6. Considerações Finais

A implementação de medidas de mitigação de emissões, para que o crescimento econômico não gere prejuízos ambientais e sociais, é, atualmente, um dos maiores desafios do setor industrial. Considerando esta situação, este trabalho pode ser uma ferramenta importante para auxiliar no desenvolvimento de planos e programas que compõem as políticas energéticas voltadas para o setor industrial. O trabalho permite analisar a estrutura de consumo do setor industrial de cimento, a fim de melhor entender os resultados ao introduzir novos energéticos, que gerem benefícios ambientais, além de fornecer uma base de informações importante para o desenvolvimento sustentável deste segmento.

A comparação do nível de emissão do coque de petróleo com os seus possíveis substitutos permitiram concluir que, devido à compensação do alto nível de emissão gerada pelo carvão vegetal com a captura de CO₂ durante a fotossíntese, a remoção do coque de petróleo na indústria de cimento, no Brasil, é ambientalmente viável para a introdução do carvão vegetal, desde que este seja proveniente de matas de reflorestamento destinadas à indústria. Vale ressaltar, ainda, que medidas de eficiência energética, também, são viáveis. Para isso, basta introduzir tecnologias que possam reduzir o consumo de energia no processo, mantendo o mesmo nível de produção.

A proposta apresentada neste estudo, de substituir os combustíveis fósseis intensivos em carbono por fontes renováveis como uma estratégia de mitigação, para os impactos relacionados com a poluição das atividades do setor de cimento, podem ser replicadas a outros setores industriais. Se estas medidas forem aplicadas a todos os setores, seria possível reduzir

grande parte da poluição gerada pelas atividades industriais, contribuindo assim para um futuro melhor para as gerações presentes e futuras.

Por fim, é importante ressaltar que o Brasil apresenta um grande potencial em relação ao uso de energias renováveis, devido ao clima adequado e à diversidade de terras para o cultivo de insumos energéticos renováveis. No entanto, vale salientar a importância de incentivos do governo para concretizar as mudanças na estrutura de consumo de energia, reduzindo, desta forma, os custos de conversão para as novas fontes de energia. Também, é importante um maior controle por parte dos órgãos de controle ambiental e dos consumidores, a fim de incentivar a prática de processos industriais menos poluentes.

REFERÊNCIAS

BEN. **Balanco Energético Nacional 2012** (Ano-Base 2011). Divulga informações relativas ao binômio oferta consumo de fontes de energia. Disponível em: <
http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 19 nov. 2012.

FREITAS L. C.; KANEKO S.. Decomposition of CO₂ emissions change from energy consumption in Brazil: Challenges and policy implications. **Energy Policy**, Vol 39, p. 1495-1504, 2011.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R.. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, Vol 19, n 55, p. 215-228, 2005.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change., 1996. **Greenhouse gas inventory reporting instructions** – Revised IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and the International Energy Agency, London.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change., 2007. **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

KIM, Y.; WORRELL, E. (2002). CO₂ emission trends in the cement industry: An international comparison. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 7, n. 2, p. 115-133.

KLINE, J.; BARCELO, L. (2012). Cement and CO₂, a victim of success!, In: **IEEE Cement Industry Technical Conference** (Paper). San Antonio, TX.

LIOR, N. (2010). The current status and possible sustainable paths to energy “generation” and Use. **Nuclear & Renewable Energy Conference (INREC)**, 2010 1st International.

LIMA, J.A.R. (2010). **Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006. **Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis**: abordagem *top-down*. Available at: <<http://www.mct.gov.br>>. (Accessed 05.11.10).

SILVA, F. I. A. & GUERRA, S. M. G.. Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector - 1995 to 2005. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Vol 13, n 9, p. 2589-2596, 2009.

SIMÕES, A. F.. **O Transporte Aéreo Brasileiro no Contexto de Mudanças Climáticas Globais**: Emissões de CO₂ e Alternativas de Mitigação. 2003. 228p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro.

SIMÕES, A. & LA ROVERE E. L. Energy Sources and Global Climate Change: The Brazilian Case. **Energy Sources Part A: Recovery, Utilization & Environmental Effects**, Vol 30, p. 1327-1344, 2008.

SNIC - SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. (2010). **Relatório Anual 2010**. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/>>. Acesso em: 19 set. 2012.

SOARES, J. B.; TOLMASQUIM, M.T. (2000). Energy efficiency and reduction of CO₂ emissions through 2015: The Brazilian cement industry. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 5, n.3, p. 297-318.

VATOPOULOS, K.; TZIMAS, E. (2012). Assessment of CO₂ capture technologies in cement manufacturing process. **Journal of Cleaner Production**, v. 32, p. 251-261.

WBCSD; IEA. (2009). **Cement Technology Roadmap 2009**, Carbon Emissions Reduction up to 2050, World Business Council for Sustainable Development and International Energy Agency, Paris. Disponível em: <<http://www.wbcsdcement.org/index.php/key-issues/climate-protection/technology-roadmap>>. Acesso em: 13 ago. 2012.

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