

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

RAMILE GOMES UZEDA SOUSA

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO: AÇO, AREIA, BRITA, CERÂMICA VERMELHA E
CIMENTO - ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL**

CRUZ DAS ALMAS,
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
BACHARELADO EM CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

RAMILE GOMES UZEDA SOUSA

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO: AÇO, AREIA, BRITA, CERÂMICA VERMELHA E
CIMENTO - ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas.

Orientador: Prof. M.Sc. Francisco Gabriel Santos Silva.

CRUZ DAS ALMAS,

2013

Ficha Catalográfica

S725

Sousa, Ramile Gomes Uzeda.

Quantificação das emissões de CO2 dos materiais de construção, aço, areia, brita, cerâmica vermelha e cimento: estudo de caso em Empreendimento Habitacional de interesse social / Ramile Gomes Uzeda Sousa._ Cruz das Almas, BA, 2013.
69f.; il.

Orientador: Francisco Gabriel Santos Silva.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.

1.Materiais de construção – Dióxido de carbono. 2.Materiais de construção – Impacto ambiental. 3.Habitação popular – Análise.
I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. II.Título.

CDD: 624

RAMILE GOMES UZEDA SOUSA

**QUANTIFICAÇÃO DAS EMISSÕES DE CO₂ DOS MATERIAIS DE
CONSTRUÇÃO: AÇO, AREIA, BRITA, CERÂMICA VERMELHA E
CIMENTO - ESTUDO DE CASO EM EMPREENDIMENTO
HABITACIONAL DE INTERESSE SOCIAL**

Este trabalho de Graduação foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Ciências Exatas e Tecnológicas, e aprovado pelo curso de Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas, do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Orientador: Prof. M.Sc. Francisco Gabriel Santos Silva

Examinador 1: Prof. DSc. José Humberto Teixeira Santos

Examinador 2: Prof. DSc. Renê Medeiros de Souza

CRUZ DAS ALMAS, 2013

Dedico esse trabalho a minha mãe pela força que sempre me foi dada e a meu amado pai que permanece eternamente vivo em meu coração.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pela força a mim concedida, a minha mãe Roseny pela luta de me fazer uma pessoa melhor através dos estudos, a meu pai que mesmo não estando mais ao meu lado se manterá eterno em meu coração, a minha segunda mãe Cristina pela paciência de ter me criado por tantos anos, a minha avó Lila pelo carinho dado todos esses anos, a minha irmã Noelise pelas horas de companheirismos, de amor, carinho e brigas (rsrs).

Agradeço também a Samuel, meu namorado por me apoiar e ajudar a me manter calma diante dos problemas enfrentados, às minhas primas Cale, Mona e Bi por todos os momentos felizes que passamos e que ainda vamos passar, aos meus tias e tios, as minha eternas irmãs de coração Ádila, France e Mari, pela convivência de tantos anos, pois independente da distância e dos diferentes caminhos traçados por cada uma de nós a cumplicidade continua a mesma.

Agradeço também a minha mais nova amiga Luana pelas horas de descontração, tristeza e alegrias que vivenciamos juntas nessa etapa de universidade, a todos os meus amigos da universidade que sempre me apoiaram e a meu orientador Francisco Gabriel pela paciência e dedicação de me orientar.

RESUMO

O atual cenário de construção civil vem demonstrando crescente desenvolvimento no Brasil, apesar do país ainda está preso a questões de educação, saúde, moradia, etc. Entretanto, há pouca preocupação das instituições públicas e privadas com a organização de informações no que diz respeito à energia consumida e, conseqüentemente, dados de emissões decorrentes dos tipos de energia utilizada para a produção de materiais de construção. O setor da Construção Civil no Brasil apresenta significativo crescimento, mas ainda não é possível quantificar de maneira efetiva a energia embutida nos materiais utilizados. A carência de dados dá-se pela falta de uma política de regulação no setor, por parte do governo e da falta de iniciativa de empresas em avaliar a quantidade de energia gasta para os diferentes processos, seja a retirada de matéria-prima, o transporte, a utilização de materiais e o descarte dos resíduos gerados. A análise do ciclo de vida de um sistema avalia os gastos energéticos e geração de emissões existentes entre as fases de extração da matéria-prima, construção e desconstrução dos materiais, permitindo relacionar os gastos aos impactos ambientais gerados. O trabalho em questão tem como objetivo analisar e quantificar as emissões de CO₂ relacionada aos componentes: aço, areia, brita, cerâmica vermelha e cimento numa construção tipo. A metodologia adotada foi obtida por meio da quantificação dos materiais da Curva ABC e dos cálculos das emissões e pelo Método QE- CO₂ (Método para a Quantificação das Emissões de Dióxido de Carbono). Assim, a areia representou o material responsável por maiores emissões em comparação com os outros, mas ao comparar a alvenaria de blocos cerâmicos com blocos de concreto, os blocos cerâmicos representaram, em seu ciclo de vida, a alternativa ambientalmente menos poluente.

Palavras-chaves: Análise. Método QE- CO₂. Ciclo de Vida.

ABSTRACT

The current scenario construction has shown increasing development in Brazil, although the country is still stuck to issues of education, health, housing, etc. However there is little concern of public and private institutions with the organization of information with regard to energy consumption and hence emissions data arising from the types of energy used for the production of building materials. The Construction sector in Brazil presents significant growth, but still can't effectively quantify the embodied energy in the materials used. The lack of data is given by the lack of a regulatory policy in the sector by the government and the lack of initiative of companies to assess the amount of energy used for different processes, is the removal of raw materials, transportation, the use of materials and disposal of waste generated. The analysis of the life cycle of a system evaluates energy costs and emissions generation between the phases of extraction of raw materials, materials of construction and deconstruction, allowing expenditures relate to environmental impacts. The work in question is to analyze and quantify the CO₂ emissions related to components: steel, sand, gravel, and cement in a red ceramic type construction. The adapted methodology was obtained by quantifying material Curve ABC and calculations of emissions and the Method CO₂-QE (Method for the Quantification of Emissions of Carbon Dioxide). Thus, the sand represented the material responsible for higher emissions compared with each other, but to compare the masonry ceramic bricks with concrete blocks, ceramic blocks represented in its life cycle, the alternative less polluting.

Keywords: Analysis. Method CO₂-QE. Life Cycle.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 - Objetivo.....	19
1.1.1 - Objetivo geral.....	19
1.1.2 - Objetivo específico	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 - Análise do Ciclo de Vida (ACV).....	20
2.1.1 - Estrutura de uma ACV	22
2.1.2 - Construção Civil e a ACV	24
2.2 - Materiais da Construção Civil	25
2.2.1- Aço	25
2.2.1.1 - Origem.....	25
2.2.1.2 - Produção	25
2.2.1.3 - Panorama do setor e da economia.....	27
2.2.1.4 - Impactos.....	28
2.2.2 - Agregados (brita e areia)	28
2.2.2.1 - Origem.....	28
2.2.2.2 - Produção	29
2.2.2.3 - Panorama do setor e da economia.....	30
2.2.2.4 - Impactos.....	30

2.2.3 - Cerâmica Vermelha	30
2.2.3.1 - Origem.....	30
2.2.3.2 - Produção	31
2.2.3.3 - Panorama do setor e da economia.....	31
2.2.3.4 - Impactos	33
2.2.4 - Cimento	33
2.2.4.1 - Origem.....	33
2.2.4.2 – Produção	34
2.2.4.3 - Panorama do setor e da economia.....	36
2.2.4.4 - Impactos	38
2.3 - Curva ABC	38
2.4 - Método QE-CO ₂	39
2.4.1- Nível Básico.....	40
2.4.2- Nível Intermediário.....	41
2.4.3 - Nível Avançado.....	41
3. METODOLOGIA.....	42
3.1- Parte 1: Cálculo das emissões dos materiais aço, areia, brita, cerâmica vermelha (tijolos), cimento e blocos de concreto	44
3.1.1- Método QE-CO ₂ : Aço	44
3.1.2- Método QE-CO ₂ : Agregados	45
3.1.2.1- Brita	46

3.1.2.2 -Areia	47
3.1.3 -Método QE-CO ₂ : Cerâmica vermelha (tijolos)	47
3.1.4- Método QE-CO ₂ : Cimento	49
3.1.5- Método QE-CO ₂ : Blocos de concreto	50
3.2 - Parte 2: Comparação das emissões de blocos de concreto e blocos cerâmicos.....	54
3.2.1- Blocos cerâmicos x Blocos de concreto	54
3.3 - Parte 3: Cálculo das emissões de tCO ₂ por m ² para alvenaria de bloco de concreto e blocos cerâmicos.....	54
3.3.1- Emissões tCO ₂ /m ²	54
4. DISCUSSÃO	55
5. RESULTADOS	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
6.1- Conclusão.....	61
6.2- Sugestões para trabalhos futuros	62
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
8. ANEXO.....	67
8.1. Tabelas	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV- Análise de Ciclo de Vida

ANICER- Associação Nacional da Indústria Cerâmica

BMM - Balanço do Ministério de Minas

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

MCT- Ministério de Ciência e Tecnologia

MME - Ministério de Minas e Energia

SNIC- Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de uma ACV.....	24
Figura 2: Consumo dos insumos energéticos no Brasil	26
Figura 3: Produção Brasileira de Aço Bruto	27
Figura 4: Processo de produção do cimento	36
Figura 5: Consumo aparente de cimento do Brasil	37
Figura 6: Blocos de concreto utilizados no empreendimento tipo	52
Figura 7: Comparação das emissões totais	58
Figura 8: Emissões de CO ₂ para a construção das alvenarias (tCO ₂ /m ²)	59
Figura 9: Emissões do Empreendimento (Bloco Concreto)	60
Figura 10: Emissões do Empreendimento (Bloco Cerâmico)	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção Brasileira de Cerâmica Vermelha (10^9 peças)	32
Tabela 2: Produção Brasileira por Região (mil milhares/mês)-2008.....	33
Tabela 3: Indicadores médios de perdas de materiais em porcentagem (%)... 41	
Tabela 4: Indicadores do fator de emissão devido ao transporte	43
Tabela 5: Fator de emissão de CO_2 do setor de aço	44
Tabela 6: Emissões de CO_2 devido a reações químicas.....	45
Tabela 7: Fator de emissão do setor de agregados miúdos	46
Tabela 8: Fator de emissão do setor de agregados graúdos	46
Tabela 9: Energia necessária para a extração e processamento de agregados (miúdos e graúdos) e emissões de CO_2 associadas.....	46
Tabela 10: Quantidade de Brita utilizada no Empreendimento Tipo	47
Tabela 11: Medidas dos blocos X peso dos blocos.....	48
Tabela 12: Fator de emissão de CO_2 do setor de cerâmica.....	48
Tabela 13: Energia necessária para a produção de 153.108.000 toneladas de produtos cerâmicos e emissões de CO_2 associadas	48
Tabela 14: Fator de emissão de CO_2 do setor cimentício	50
Tabela 15: Energia necessária para a produção de 51.480.000 toneladas de cimento Portland e emissões de CO_2 associadas.....	50
Tabela 16: Família de blocos	51
Tabela 17: Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos	51

Tabela 18: Modelo do Empreendimento Tipo.....	54
Tabela 19: Distância média entre fornecedores e lojas de materiais de construção - Cruz das Almas	55
Tabela 20: Fator de emissão de CO ₂ de acordo a cada material para o empreendimento tipo.....	55
Tabela 21: Volume dos blocos de concreto utilizados no empreendimento tipo	56
Tabela 22: Traços de concretos com cimento CP II-E-32.	56
Tabela 23: Consumo de areia, cimento e brita (kg/m ³) de acordo a resistência	57
Tabela 24: Quantidade de materiais a partir dos volumes específicos de cada tipo de bloco de concreto	57
Tabela 25: Total de emissões de CO ₂ para fabricação de blocos de concreto	57
Tabela 26: Emissões de CO ₂ de blocos cerâmicos caso fossem utilizados no empreendimento tipo.....	58
Tabela 27: Quantidade de Aço utilizada no Empreendimento tipo.....	67
Tabela 28: Quantidade de Areia utilizada no Empreendimento tipo.....	67
Tabela 29: Quantidade de Brita 0 utilizada no Empreendimento Tipo	67
Tabela 30: Quantidade de Brita 1 utilizada no Empreendimento Tipo	67
Tabela 31: Quantidade de Brita 2 utilizada no Empreendimento Tipo	67
Tabela 32: Quantidade de cimento utilizada no Empreendimento Tipo	67
Tabela 33: Quantidade de tijolo cerâmico utilizada no Empreendimento Tipo.	68

Tabela 34: Resumo dos fatores de emissão e de emissão corrigido (FEC) dos energéticos, no Nível Básico (respectivamente colunas "B", "E" e "F", "G") 68

Tabela 35: Consumo de combustível no transporte rodoviário de carga 69

1. INTRODUÇÃO

O setor da Construção Civil é um dos que mais cresce atualmente e isso não se reflete apenas no âmbito mundial, mas também no nacional. Porém, apesar de manter preocupações com questões sociais ligadas à educação, saúde e alimentação o Brasil apresenta atualmente uma economia dinâmica, fator preponderante para a intensificação dos setores industriais como os da produção de materiais para a construção civil.

A análise do ciclo de vida também se faz importante, principalmente, com ênfase em determinados materiais do setor da construção civil como aço, areia, brita, cimento e cerâmica vermelha.

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) refere-se aos impactos ambientais e gastos energéticos gerados pela produção de materiais. Esta por sua vez inclui a energia utilizada para extração, fabricação, transporte e descarte dos materiais. E os impactos gerados pelos processos geram em sua maioria a liberação de gases que afetam a camada de ozônio, agravam o efeito estufa e provocam problemas aos seres humanos.

O setor da construção civil requer a produção de diversos materiais para serem utilizados em canteiros de obra, entre os principais materiais temos o cimento, aço e cerâmica que provocam alto consumo energético.

O aço é uma liga formada basicamente de ferro e carbono “[...] é normalmente identificado como um material ‘amigo do ambiente’ devido essencialmente ao seu potencial de reciclagem” (GERVÁSIO, 2008), porém, a forma como são produzidos geram impactos ao meio ambiente, por isso a reciclagem desse material é cada vez mais incentivada.

O cimento é um material utilizado em praticamente todos os setores da construção civil, e é de extrema importância para o país. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2011), a indústria do cimento no Brasil nasceu no final do século XIX e se estabeleceu efetivamente após a segunda década do século XX. Atualmente a produção de cimento possui um parque

industrial moderno, com eficiência energética. Conforme dados do SNIC (2011), praticamente toda a produção de cimento é monitorada, possui alto desempenho, com sistema de controle de poluição com a finalidade de reduzir a liberação de CO₂.

No que tange a cerâmica, é de bom alvitre informar que o Brasil é um dos maiores consumidores e produtores deste material. No Nordeste, a produção de cerâmica vermelha concorre ao lado da indústria de calçados, vestuário e bebidas, destacando dessa forma sua importância para a região. A precariedade da falta de dados e informações faz com que números importantes a respeito da emissão de gases no processo de fabricação, extração e transporte da argila torne deficiente o processo de preocupação em reduzir os impactos provocados.

O Brasil é um “[...] grande produtor agrícola e um dos maiores produtores mundiais de vários produtos manufaturados, incluindo cimento, alumínio, produtos químicos, insumos petroquímicos e petróleo.” (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006). Mas, apesar de apresentar acelerado crescimento econômico o Brasil comparado com outros países, não é um grande emissor de gases poluentes. Segundo o MCT (2006),

[...] a busca e coleta de informação não são adequadas por causa do custo de obtenção e armazenamento de dados e há pouca preocupação institucional com a organização ou fornecimento de informação, principalmente em nível local. Há, ainda, carência de legislação que obrigue as empresas a fornecer informações, em especial no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa. As medições não se justificam para o inventário de emissões de gases de efeito estufa por si só, devido ao custo relativamente alto da medição, quando comparado a qualquer melhoria da precisão da estimativa.

Nesse contexto, o presente trabalho busca quantificar as emissões de CO₂ proveniente da utilização de materiais como aço, brita, areia, cerâmica e cimento de um empreendimento modelo na cidade de Cruz das Almas e

comparar as emissões de CO₂ de blocos cerâmicos caso fossem utilizados no lugar de blocos de concreto.

1.1 - Objetivo

1.1.1 - Objetivo geral

O objetivo do trabalho consiste no estudo dos principais materiais da construção civil (aço, areia, brita, cerâmica vermelha e cimento), com a finalidade de quantificar as emissões de CO₂ destes para um empreendimento tipo localizado na cidade de Cruz das Almas.

1.1.2 - Objetivo específico

- Quantificação das emissões de CO₂ de materiais como aço, areia, brita, cerâmica vermelha (tijolos) e cimento de um empreendimento tipo localizado na cidade de Cruz das Almas;
- Fazer uma simulação comparativa entre as emissões de CO₂ dos blocos de concreto utilizados um empreendimento parâmetro com as emissões de blocos cerâmicos caso fossem empregados no mesmo empreendimento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A análise do ciclo de vida (ACV) é definida conforme a norma ISO 14040 (1997) como uma investigação abrangente do uso de todos os insumos relativos a um processo de obtenção de um bem ou serviço e suas consequências em termos de impactos ambientais. Daí, a ACV pode ser definida como uma categoria que analisa os impactos ambientais a partir da utilização de recursos naturais para um determinado fim, permitindo ter em conta balanços ambientais existentes entre várias fases.

Assim, a ACV é uma forma para a condução de uma análise de impactos ambientais. Neste contexto, encontram-se o que podemos chamar de Energia Embutida Inicial, Energia Operacional e Energia de Desconstrução.

“A Energia Embutida Inicial é definida como o conjunto dos insumos energéticos, diretos e indiretos, utilizados para erguer a edificação.” (TAVARES, 2006). Nesta fase há a utilização de energia para extração; para utilização de matéria-prima; para o transporte das matérias até as fábricas; para o transporte dos produtos acabados até as obras e há ainda a energia gasta na obra.

Já a Energia Operacional é definida como forma de suprir determinadas necessidades. Incluem-se aqui as fases de reforma e transporte dos materiais utilizados para esse fim.

A Energia de Desconstrução está relacionada aos processos de demolição, e desmontagem, além dos processos de transporte de produtos para reciclagem ou reaproveitamento destes. Logo, a “[...] energia de desconstrução é a energia consumida na etapa final do ciclo por descarte, deposição ou reciclagem.” (TAVARES, 2006).

O princípio da ACV conforme afirma Soares *et al.* (2006), consiste em analisar as repercussões ambientais de uma atividade ou de um produto, a

partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produto, subprodutos e resíduos) do sistema considerado.

Atualmente, o setor da construção civil tem ganhado importante destaque no cenário mundial. Segundo Tavares (2006), este setor é responsável pelo consumo de 50% de recursos naturais e 40% dos insumos energéticos de todas as fontes. Assim, o autor considera não só o Ciclo de Vida como também a energia gasta nos processos de fabricação dos materiais, construção e desconstrução de obras de construção civil.

“Definem-se como atividades da Construção Civil todas aquelas relacionadas às edificações, desde a fabricação de materiais de construção, a realização da obra, manutenção e consumo de materiais e energia ao longo de sua vida útil.” (TAVARES, 2006). No Brasil, a carência de pesquisas, no que diz respeito à utilização de energia e quantificação das emissões de CO₂ para a fabricação dos materiais de construção esconde a importante participação das fases dos processos, dificultando, assim, a quantificação dos eventos geradores de impactos.

O uso de materiais e energia no setor da construção civil está associado a diversos problemas ambientais, urbanos, energéticos entre outros. Por exemplo, o uso de matérias primas pode gerar desde a destruição do ambiente, até a incorporação de resíduos tóxicos, bem como liberação de gases para a atmosfera.

“O panorama brasileiro no que tange aos insumos da Construção Civil para avaliações ambientais não é devidamente detalhado.” (TAVARES, 2006). Porém, quanto ao consumo energético sabe-se que conforme Theis *et al*, (2000, *apud* TAVARES, 2006) os materiais de construção respondem por grande parte dos impactos ambientais relacionados a esse consumo, por exemplo: a fabricação de cimento gera grandes quantidades de dióxido de carbono -CO₂; o alumínio consome grandes quantidades de energia elétrica em sua produção; as cerâmicas vermelhas utilizam madeira de reservas naturais; e aços e ferros fundidos consomem carvão mineral como energético que também gera considerável quantidade de CO₂.

O consumo energético dos setores de construção pública, residencial e industrial transparece a quantidade de recursos naturais não renováveis que são utilizados, bem como, a dimensão da quantidade de gases que provocam o agravamento do efeito estufa.

Segundo Tavares (2006), o aumento da incidência de fenômenos como tornados, furacões e chuvas torrenciais é a principal implicação no agravamento do efeito estufa devido às emissões de CO₂, fator que acarreta na elevação da temperatura na biosfera.

É importante destacar que o setor da construção civil no Brasil utiliza a maior parte das fontes não renováveis. Assim, toda e qualquer escolha dos materiais de construção deve ser feita de maneira responsável visando os critérios de sustentabilidade, diminuição dos custos com energia de fabricação, uso e descarte. É o caso, por exemplo, de escolher entre blocos cerâmicos ou de concreto para construção de uma parede, pois estes ao longo de seu ciclo de vida têm repercussões ambientais diferentes conforme afirma Soares *et al.* (2006).

2.1.1 - Estrutura de uma ACV

A ACV é formalizada por um conjunto de normas da série ISO 14000. Estas normas estabelecem que a estrutura básica de uma ACV compreende quatro fases: objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação.

A. Objetivo e Escopo: A ACV deve ser claramente definida e consistente expondo as razões pelas quais devem ser realizada além, de mencionar a quem serão comunicados os resultados da análise.

“O escopo, por sua vez, define o sistema do produto, neste caso seriam as limitações para o ciclo de vida” (TAVARES, 2006).

B. Análise do Inventário: Tem por objetivo quantificar o uso de recursos primários e secundários, bem como as emissões geradas durante o ciclo de vida.

A elaboração de um inventário deve contar com a participação de entidades governamentais (ministérios) e não-governamentais, dentre eles destacam-se as universidades, os centros de pesquisa, empresas ligadas ao setor da indústria, etc.

C. Avaliação de Impacto: “São desenvolvidos critérios de valoração para riscos e impactos ambientais associados aos fluxos detectados na análise de inventário” (TAVARES, 2006). Esse procedimento objetiva um estudo comparativo e visa agregar os impactos em categorias. “Normalmente, essas categorias estão associadas a impactos locais (toxicidade e ecotoxicidade, etc.), regionais (chuvas ácidas, desertificação, etc.) e globais (efeito estufa, redução da camada de ozônio, etc.)” (SOARES *et al.*, 2006).

Os impactos do setor da Construção Civil podem ser analisados em inventários, entretanto, as informações contidas nestes devem buscar o entendimento das consequências ambientais envolvidas no processo.

A avaliação de impactos relacionados ao consumo energético e de materiais e às emissões de poluentes auxiliam em avaliações de custos de soluções estruturais, permitindo a escolha de ações mais adequadas, que promovam a melhoria do ciclo de vida de tais construções (MROVEH *et al.*, 1999, *apud* TAVARES, 2006).

D. Interpretação: Nesta fase de interpretação devem ser estudadas as questões mais significativas para a redução de emissões de resíduos e consumo de recursos naturais, bem como a diminuição da energia embutida as diversas fases. A criação de um inventário deve “[...] assegurar que o fluxo de entrada de matéria encontre uma saída quantificada como unidade funcional, rejeitos e subprodutos” (SOARES *et al.*, 2006). O fluxo deve considerar impactos ao meio ambiente, que vão desde a retirada de matéria-prima, utilização de recursos naturais, produção dos bens e materiais até o descarte destes (geração de resíduos).

Para ter uma base comparativa que vise agregar os impactos em categorias é preciso recorrer a métodos de avaliação, o “método de agregação permite a transformação das avaliações associadas às categorias de impacto

em um indicador de ACV” (SOARES *et al.* 2006). Porém, os estudos apontam que os métodos apresentam variações de determinado parâmetro. Assim, os inventários algumas vezes são considerados não fidedignos. Desta forma, a ACV resume-se de acordo a figura 1.

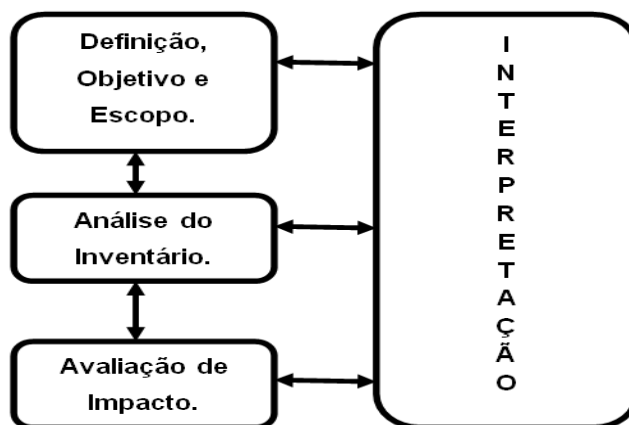


Figura 1: Esquema de uma ACV (Jacob, 2012)

2.1.2 - Construção Civil e a ACV

Cada vez mais integrada a processos de decisão, a ACV conforme afirma Soares *et al.* (2006), tem revelado importância na quantificação de impactos ambientais e também na avaliação das melhorias do ciclo de vida de produtos, processos e atividades.

Quando setores empresariais e industriais decidem pela escolha de um material a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida torna-se de grande valia para o setor da construção civil, pois como os impactos ambientais são produzidos desde a fase do processo construtivo, passando pela fase de extração e fabricação de matérias-primas até a renovação ou demolição da estrutura é preciso conhecer as alterações ambientais causadas por emissões atmosféricas, consumo de recursos naturais, demandas energéticas e geração de resíduos.

“É importante ressaltar que a escolha de uma unidade funcional, fundamentada no objetivo e escopo do estudo, pode ter um grande impacto nos resultados da ACV e, portanto, deve ser cuidadosa e claramente estabelecida.” (CHEHEBE, 1997, *apud* TAVARES, 2006).

Segundo Tavares (2006), os três principais materiais consumidos em quantidades significativas nas edificações residenciais são o cimento, o aço e a cerâmica que consomem pelo menos 80% de energia não renovável. Assim, esses materiais possuem maior energia no ciclo de vida da edificação e geram determinadas porcentagens de liberação de CO₂.

Quando falamos em construções sustentáveis no Brasil somos levados a analisar os Rótulos Ambientais que frequentemente são baseados em ACVs, estes tipos de rótulos levam empreiteiras e empresas a empreender esforços para melhorar o gerenciamento do ciclo de vida de seus produtos.

2.2 - Materiais da Construção Civil

2.2.1- Aço

2.2.1.1 - Origem

O aço é uma liga de ferro carbono em que suas propriedades não são determinadas pelos elementos, mas sim pela forma como se combinam. “O aço pode existir numa larga variedade de condições, desde o bem macio ao duro, e pode ser mudado de uma para outra condição com o tratamento térmico” (FALCÃO BAUER, 1994).

Conhecido como “amigo do ambiente” o aço adquiriu tal denominação devido ao seu potencial de reciclagem, porém “[...] a percentagem de material reciclado utilizado na produção de aço depende do processo de produção.” (GERVÁSIO, 2008).

2.2.1.2 - Produção

Segundo Costa (2012), existem duas rotas tecnológicas para produção de aço, e estas rotas apresentam algumas variações ou combinações entre elas como a produção primária de aço usando minério de ferro e sucata (rota

integrada) e a produção secundária, a qual utiliza basicamente a sucata (rota semi-integrada).

A produção de aço na rota integrada é realizada em usinas por meio de vários processos interligados, os quais incluem a produção de coque, ferro-gusa, aço e também a produção de cal. Já a produção pela rota semi-integrada é obtida pela reciclagem do aço em forno elétrico, no qual os insumos são sucata e eletricidade. O consumo dos insumos energéticos no Brasil segue conforme figura 2.

Em termos gerais o processo siderúrgico pode ser agrupado em quatro grandes etapas: (a) preparação do minério de ferro e do carvão; (b) redução do minério de ferro; (c) refino; (d) conformação mecânica. O carbono é usado em toda siderurgia para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro (no caso de usinas integradas) sendo uma fração deste carbono incorporada aos produtos e a outra parte emitida na forma de CO₂, seja diretamente nos gases siderúrgicos ou após a queima dos mesmos (COSTA, 2012).

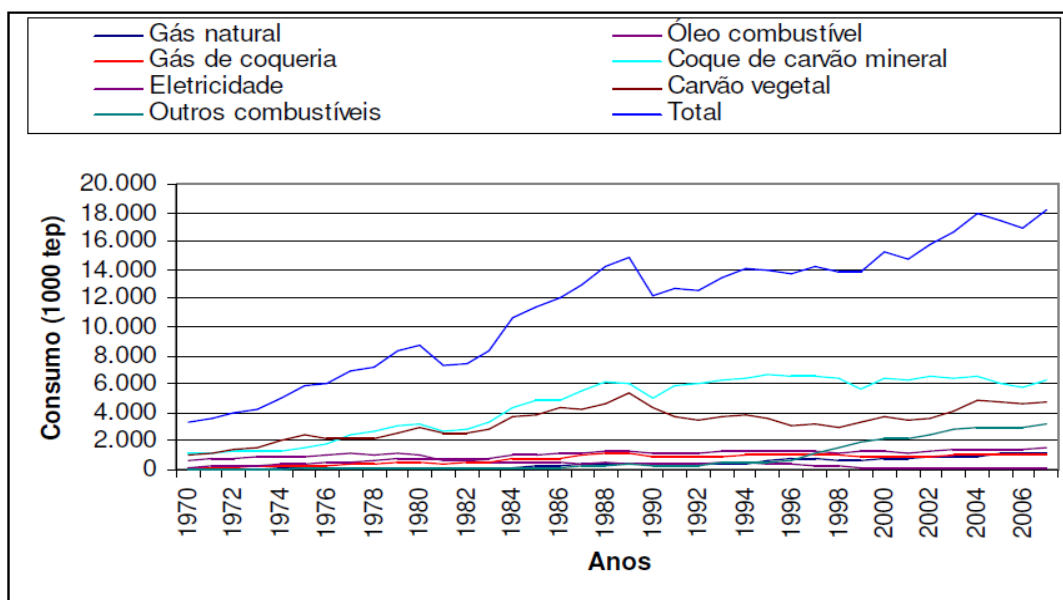


Figura 2: Consumo dos insumos energéticos no Brasil (Balanço Energético Nacional, 2008)

2.2.1.3 - Panorama do setor e da economia

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2011), o setor metalúrgico no cenário econômico é expressivo, portanto, estima-se que até 2016 o setor siderúrgico faça investimentos na ordem de US\$ 48 bilhões. A produção de aço bruto no Brasil é representada pela figura 3 segundo o MME.

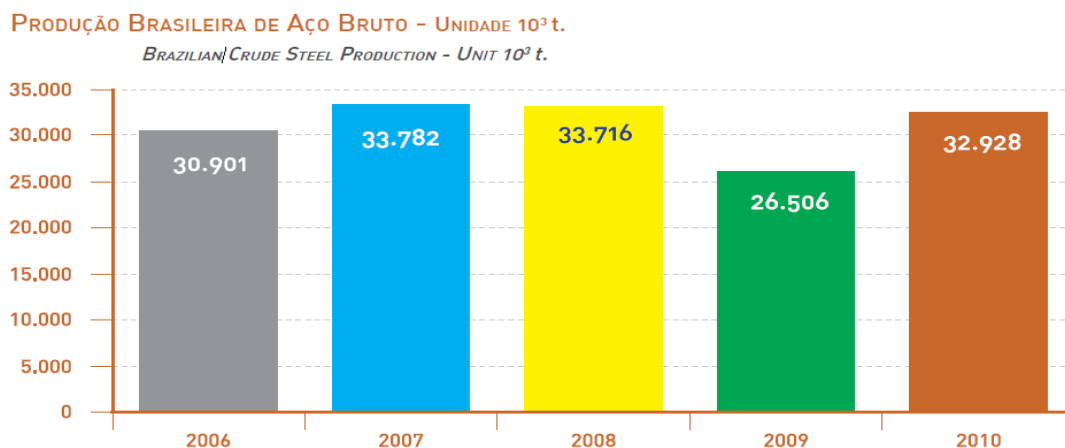


Figura 3: Produção Brasileira de Aço Bruto (MME, 2011)

Conforme afirma Gervásio (2008), a produção de 1kg de aço em forno de arco elétrico produz cerca de 462 gramas de equivalentes de CO₂, e em alto forno a produção de 1kg de aço produz cerca de 2494 gramas de equivalentes de CO₂.

O consumo de energia pode acontecer de forma bastante diferenciada chegando a 30GJ/t aço na produção em alto-forno, e a 10GJ/t aço em forno de arco elétrico, o qual utiliza maior parte do aço reciclado. Por ser um material “amigo do ambiente” o processo de reciclagem do aço é importante pois,

[...] requer menos energia, cria menos resíduos e provoca a emissão de menos quantidades de partículas poluentes do que a produção da mesma quantidade de aço a partir de matérias-primas (GERVÁSIO, 2008).

2.2.1.4 - Impactos

A indústria do aço representa uma das indústrias mais expressivas tanto em termos de materiais quanto no consumo de energia, sendo também uma indústria que pode causar inúmeros impactos ambientais.

Os impactos provocados pela produção do aço estão basicamente relacionados aos dejetos do processamento dos minérios, que podem contaminar o solo e o lençol freático. Nesse contexto, a emissão de CO₂ e outros gases afetam diretamente no agravamento do efeito estufa. Conforme o MME (2011), a emissão de gases que contribuem para o agravamento do efeito estufa depende basicamente do tipo e quantidade de combustível utilizado e também da eficiência energética do equipamento/forno.

Com relação às emissões atmosféricas, os poluentes gerados pelas siderúrgicas são vários. Dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) contribuem para o aumento da quantidade de carbono na atmosfera e, conseqüentemente para as mudanças climáticas. Além deles, óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x) reagem com a umidade presente no ar e formam, respectivamente, ácidos de enxofre e ácidos de nitrogênio, constituindo assim a chamada “chuva ácida (PIRES *et al.*, 2010).

2.2.2 - Agregados (brita e areia)

2.2.2.1 - Origem

A NBR 9935 define agregado como o material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, possui dimensões e propriedades adequadas a serem utilizados em obras de engenharia.

Podem ser classificados levando-se em conta a origem, a densidade e o tamanho dos fragmentos. Com relação à origem, podem ser chamados de naturais e artificiais. Naturais são os materiais que forem extraídos em sua forma fragmentar e os artificiais são os materiais que são extraídos em forma

de blocos e precisam passar por processos de fragmentação, como a brita. Os agregados miúdos são aqueles que passam na peneira de abertura de malha de 4,8 mm, enquanto que os agregados graúdos são os que ficam retidos na mesma malha.

Segundo Rodrigues (2006), a principal aplicação dos agregados, seja a areia ou pedra, é na fabricação do concreto onde apresentam baixo custo unitário, inferior ao custo do cimento.

As principais rochas utilizadas para a produção de pedra britada são: granito e gnais (85%), calcário e dolomito (10%) e basalto e diabásio (5%). A areia é a substância mineral proveniente da decomposição de rochas, compondo-se de grãos arredondados de quartzo, podendo conter ainda, em diversas proporções, grãos de outros minerais (feldspato, mica, etc.), conforme afirma Rodrigues (2006).

2.2.2.2 - Produção

Segundo o MME (2009), a extração de rocha para brita observa as mesmas características da extração de qualquer rocha dura a céu aberto, a pedra britada é obtida por meio da desintegração, por explosão controlada, da rocha.

A extração de rocha para produção da brita é feita em bancadas, consistindo-se de operações unitárias de limpeza e decapeamento, perfuração e desmonte por explosivos, carregamento e transporte, e britagem. “Por fim, a brita é passada em peneiras onde é classificada de acordo com sua granulometria (brita 1, 2, 3, etc)” (RODRIGUES, 2006).

O processo de extração da areia por sua vez, ocorre em unidades de mineração denominadas de portos de areia ou areais. No Brasil, a areia produzida é de minas ou de leito de rios. O processo ocorre da seguinte forma:

A areia juntamente com a água é bombeada para silos suspensos, ou então, acumulada no terreno, para posteriormente ser embarcada em

caminhões basculantes com destino ao distribuidor ou ao consumidor final (RODRIGUES, 2006).

2.2.2.3 - Panorama do setor e da economia

Disseminada em todo território nacional a produção de agregados conta com cerca de 250 empresas que produzem pedra britada segundo dados do BMB (2011).

Estas empresas geram cerca de 15.000 empregos diretos; 60% produzem menos de 200.000 toneladas/ano; 30%, entre 200.000 toneladas/ano e 500.000 toneladas/ano; e 10%, mais do que 500.000 toneladas/ano. Cerca de 2.000 empresas se dedicam à extração de areia, na grande maioria, pequenas empresas familiares, gerando cerca de 45.000 empregos diretos. Destas, 60% produzem menos de 100.000 toneladas/ano; 35%, entre 100.000 toneladas ano e 300.000 toneladas/ano; e 5%, mais do que 300.000 toneladas/ano (BMB, 2011).

2.2.2.4 - Impactos

A areia e a brita são materiais muito utilizados nas obras, estes agregados constituem cerca de 70% do concreto. Por ser uma atividade exploratória, como toda atividade mineradora, a extração de agregados preocupa no que diz respeito à degradação ambiental. Os impactos ambientais causados pela extração mineral de agregados são alteração da paisagem, lançamento de efluentes, turbidez da água, destruição da vegetação, emissão de CO₂ devido aos processos de transporte e extração, alteração na calha dos cursos d'água, etc.

2.2.3 - Cerâmica Vermelha

2.2.3.1 - Origem

De extrema importância, a argila é a matéria prima utilizada para fabricação de blocos/tijolos e telhas. Provenientes de depósitos em que se encontram argilas residuais (permanecem na zona de intemperismo), argilas

sedimentares (se desloca das zonas de intemperismo para as de acúmulo) e argilas diagenéticas (sofrem alterações químicas e mineralógicas).

A argila pode ser definida como um material terroso, de granulação muito fina, que adquire plasticidade, quando umedecida com água. Mineralogicamente é composta por caulinita/haloisita, illita e montmorilonita, enquanto as impurezas presentes, às vezes úteis são quartzo, mica, feldspato, óxido de ferro, carbonatos e matéria orgânica. É proveniente da decomposição de rochas ígneas primárias, tais como granitos, feldspatos e pegmatitos, que se formam através da ação química da água, do óxido de carbono, dos ácidos húmicos e raramente dos gases de enxofre, flúor, auxiliados por temperaturas elevadas. Apresentam cores e tonalidades variadas, predominando do cinza-médio a escuro, além das tonalidades esverdeadas, amareladas, avermelhadas e amarronzadas (CORREIA FILHO, 1997, *apud* PORTELA E GOMES, 2005).

2.2.3.2 - Produção

Após a extração da matéria-prima, ocorre a preparação da massa, conformação (moldagem) das peças, secagem e queima. Essa última etapa é realizada em fornos contínuos (túnel e Hoffmann) ou intermitentes (paulistinha, garrafão), a temperaturas de 800 a 1000°C, conforme o tipo de produto, conforme afirma Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (2010).

O processo produtivo segue os seguintes passos: processo da matéria-prima (coleta, sazonalidade, estoque e mistura), processo de beneficiamento (misturador e laminador), processo de fabricação (extrusão, corte e prensa), processo de queima e inspeção. Os processos de produção são responsáveis também pela liberação de gases para a atmosfera.

2.2.3.3 - Panorama do setor e da economia

“A argila destaca-se como a 4ª maior produção da mineração brasileira, posicionando-se abaixo da produção de ferro (369 Mt), e de agregados, areia (300 Mt) e brita (234 Mt)” (MME, 2010).

De acordo ao MME (2010), o Brasil ocupa a posição de ser um dos maiores produtores e consumidores de cerâmica ficando apenas atrás de China e Índia. “Em 2009, considerando-se o consumo igual à produção, 76 bilhões de peças, foi registrado um consumo médio *per capita* de 384 peças/hab, geograficamente assim distribuído: Região Norte 247 peças/hab; Nordeste 312; Centro-Oeste 381; Sudeste 395 e Sul 657 peças/hab” (MME, 2010).

“Com relação ao Nordeste, a produção está localizada principalmente nos Estados do Ceará, Bahia e Pernambuco, vindo em seguida Rio Grande do Norte, Maranhão e Piauí” (ETENE, 2010). Na Bahia os maiores produtores de cerâmica encontram-se na Região do Recôncavo Baiano, Feira de Santana, Simões Filho, Salvador e Sudoeste Baiano.

Conforme dados do MME (2010), a produtividade média do segmento cerâmico brasileiro é de 15,8 mil peças/operário/mês, com variações de região. De acordo com a ANICER (Associação Nacional da Indústria da Cerâmica), devido ao bom desempenho do setor da construção civil, em 2010 houve um faturamento de R\$ 9 bilhões superando o faturamento de R\$ 7 bilhões de 2009.

“O setor de cerâmica vermelha movimenta em torno de 60.000.000 de toneladas de matérias-primas ao ano, com reflexos nas vias de transporte e no meio ambiente” (MANFREDINI e SATTLER, 2005). A produção brasileira do setor ceramista segue os seguintes dados apresentados na tabela 1. Já a divisão por região da produção fica dividida conforme tabela 2.

Tabela 1: Produção Brasileira de Cerâmica Vermelha (10⁹ peças)

Produtos	2005	2006	2007	2008	2009
Blocos/Tijolos	48	51	53	57	57
Telhas	16	16	17	19	19
Total	64	67	70	76	76

Fonte: ETENE (2010).

Tabela 2: Produção Brasileira por Região (mil milhares/mês)-2008

Região	Produção	%
Nordeste	1595,88	21,25
Ceará*	352,53	0,047
Bahia*	381,42	0,051
Sergipe*	87,93	0,012
Alagoas*	76,12	0,010
Pernambuco*	131,98	0,018
Paraíba*	117,3	0,016
Rio Grande do Norte*	243,37	0,032
Piauí*	87,93	0,012
Maranhão*	117,3	0,016
Sudeste	3.332,94	44,38
Sul	1602,63	21,34
Norte	325,93	4,34
Centro Oeste	652,62	8,69
Total	7.510	100

Fonte: ETENE(2010). (*)Porcentagem do Estado em relação ao total do Brasil.

2.2.3.4 - Impactos

A retirada de argila, matéria-prima utilizada na produção de cerâmica, acarreta impactos ao meio ambiente como o desmatamento da vegetação nativa, a poluição do ar, a poluição do solo, os esgotos a céu aberto, a construção de moradias em locais inadequados, o aumento da superfície lacustre, o descumprimento da legislação e a possibilidade de esgotamento da jazida de argila, conforme afirma Portela e Gomes (2005).

A queima da lenha como forma de alimentar os fornos de secagem de telhas e tijolos/blocos gera produção de cinzas, liberação de óxidos de enxofre, dióxido de carbono e óxidos de nitrogênio, aumentando os impactos ambientais. Cada processo de produção da cerâmica consome uma quantidade de energia e conseqüentemente liberação de gases e partículas, afetando no agravamento do efeito estufa.

2.2.4 - Cimento

2.2.4.1 - Origem

Do latim *caementu* a palavra cimento designava uma espécie de pedra natural de rochedos. No antigo Egito uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado já era utilizada.

Segundo Maury e Blumenschein (2012), o “grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton”, o qual conseguiu obter um produto resistente por meio de calcinação de calcários moles e argilosos.

O cimento é um aglomerante hidráulico resultante da mistura de calcário e argila, calcinada em fornos. As matérias primas utilizadas na fabricação de cimento devem conter Cálcio (Ca), Silício (Si), Alumínio (Al) e Ferro (Fe), pois são estes os elementos químicos que, combinados, vão produzir compostos hidráulicos ativos (ROBERTO, 2001).

Atualmente os materiais corretivos mais empregados na indústria do cimento são areia, bauxita e minério de ferro. No Brasil são fabricados cimento do tipo: *Portland Comum*, *Portland Composto*, *Portland de Alto Forno*, *Portland Pozolânico* e *Portland de Alta Resistência Inicial*.

2.2.4.2 – Produção

Inicialmente a produção de cimento “[...] se inicia na extração das matérias primas (como carbonato de cálcio, sílica) de rochas calcárias ou argila por meio de detonações” (COSTA, 2012). As matérias primas são então trituradas e transportadas para a indústria, são armazenadas e homogeneizadas, assim produzem um pó fino (cru), o qual é pré-aquecido e em seguida introduzido em um forno rotativo.

Segundo o MCT (2010), a etapa posterior a produção do cimento dá-se por uma combinação de exploração e beneficiamento de substâncias minerais não metálicas, sua transformação química em clínquer (produto intermediário do cimento) em um forno a cerca de 1.450 °C e posterior moagem e mistura a outros materiais, conforme o tipo de cimento.

Uma quantidade de gesso (3 a 5%) é adicionada ao clínquer para regular como o cimento endurecerá e então a mistura é novamente moída sendo adicionados outros materiais. Essas adições, usadas em variadas proporções, dão ao cimento propriedades específicas como redução de impermeabilidade, resistência a sulfatos e

ambientes agressivos, melhor desempenho e acabamento. Por fim, o cimento é armazenado em silos, podendo ser enviado a granel ou em sacos para os locais de consumo (COSTA, 2012).

No processo de produção o CaCO_3 é calcinado e como resultado produz cal (CaO) e como sub-produto o CO_2 em seguida a cal (CaO) reage com a sílica (SiO_2) com alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (Fe_2O_3) formando o clínquer, um produto nodular intermediário.

Tradicionalmente a indústria do cimento no Brasil utiliza como combustível coque de petróleo, óleo combustível e carvão mineral, porém a preocupação ambiental fez com que o setor de cimento pensasse em soluções alternativas. No país, utiliza-se o processo de co-processamento, processo este que “[...] reaproveita rejeitos e subprodutos de outras atividades em substituição aos combustíveis tradicionais.” (MCT, 2010).

Tintas, plásticos, pneus inutilizados e óleos servem de combustível para os fornos e juntamente são destruídos e utilizados no processo de co-processamento.

A utilização de biomassa também se torna uma alternativa viável. “Carvão vegetal, casca de arroz, de babaçu, de coco, entre outros, são exemplos desse tipo de combustível renovável utilizado pelo setor no país.” (MCT, 2010).

Conforme o MCT (2010), aproximadamente 90% das emissões de CO_2 oriundas da fabricação de cimento ocorrem durante a produção do clínquer, nos processos de calcinação, descarbonatação da matéria-prima, na queima de combustíveis no interior do forno e também do transporte de matérias-primas e das emissões pelo consumo de energia elétrica na fábrica. As etapas de produção do cimento pela via seca são apresentadas na figura 4.

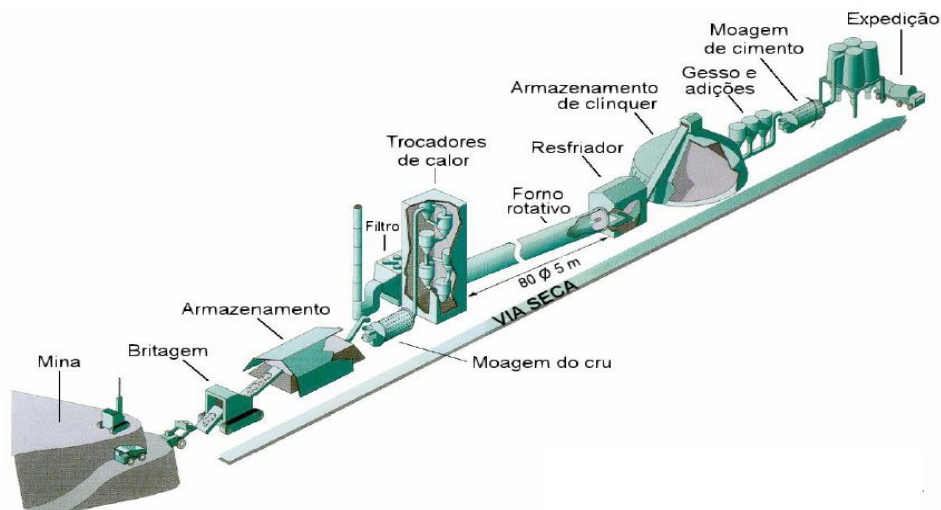


Figura 4: Processo de produção do cimento (MCT, 2010)

Algumas peculiaridades no processo produtivo do cimento no Brasil têm contribuído para significativas reduções das emissões de CO₂. Assim, maior parte do cimento do país apresenta-se misturado a outros compostos.

“Os cimentos com adições representam uma solução ambientalmente correta para subprodutos de outros processos produtivos, como escórias¹ siderúrgicas e cinzas de termelétricas, contribuindo com a redução de passivos ambientais” (MCT, 2010).

É importante destacar que as indústrias de cimento brasileiro funcionam com baixo consumo energético, isso se deve fato do cimento ser produzido por via seca e pelo fato dos aquecedores reaproveitarem os gases quentes da saída do forno com a finalidade de “[...] pré-aquecer a matéria-prima previamente à entrada do forno, diminuindo ainda mais o consumo de combustíveis” (MCT, 2010).

2.2.4.3 - Panorama do setor e da economia

A partir da década de 70 o Brasil passou por um intenso processo de intensificação da construção o que refletiu numa demanda cada vez maior da produção de cimento. Porém, a partir de 1980 com o fim da Ditadura Militar a

¹ Material que tem menor custo em relação ao clínquer e é utilizado também por elevar a durabilidade do cimento.

economia nacional passou por um momento de estagnação dentre a entrada e saída de governos.

Já em meados de 1990 a produção nacional se intensificou novamente devido as expectativas do Plano Real. Quando atingido pela crise em 2000 o Brasil sofreu forte recessão na sua economia chegando a influenciar no setor de investimentos imobiliário e também da Construção Civil.

Com a recuperação econômica, o mercado da construção acelerou de modo exorbitante, passou a contratar mais mão de obra, preocupou-se mais com a qualificação dos profissionais chegando em 2010, segundo a SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento), ao consumo de 60 milhões de toneladas anuais de cimento, conforme apresentado na figura 5.

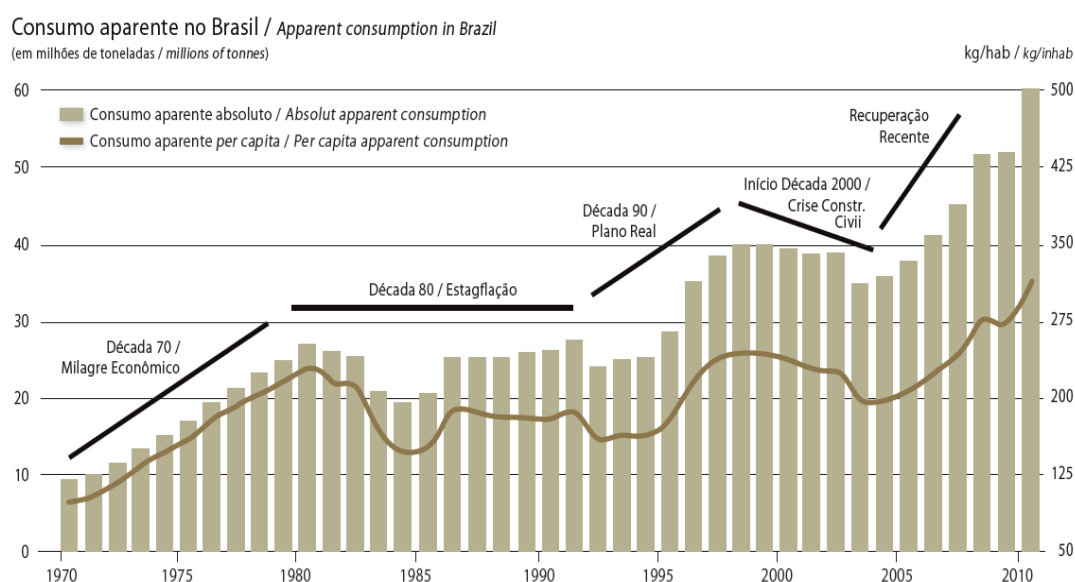


Figura 5: Consumo aparente de cimento do Brasil (SNIC, 2010)

Segundo o MCT (2010), o Brasil é o maior produtor de cimento da América Latina, e a produção gira em torno de 30% em relação a outras regiões.

Produzido em diversas regiões do Brasil, o cimento atende a capacidade da demanda interna, sendo que 51% de toda a produção de cimento esta na Região Sudeste, esses são dados do SNIC (2010).

É importante destacar que em todas as etapas de produção do cimento são consumido insumos energéticos, além de eletricidade, carvão mineral e outras fonte de energia. Já no que diz respeito à emissão de gases para a atmosfera temos que:

A indústria do cimento é a maior emissora de CO₂, pois, além do uso de combustíveis fósseis para geração de energia térmica, ocorrem emissões adicionais pela calcinação de calcário durante a produção do clínquer. Assim, a fabricação de cimento acaba sendo responsável por 4 a 5% de todo o CO₂ despejado na atmosfera por atividades humanas (MARLAND, 2003, *apud* TAVARES, 2006).

2.2.4.4 - Impactos

O setor cimentício apresenta um potencial poluidor bastante elevado, pois em toda a sua cadeia produtiva há fontes de poluição. Assim, em

[...] todas as etapas do processo há fontes de poluição. Os níveis e as características das emissões dos poluentes dependem das características tecnológicas e operacionais do processo industrial, em especial, dos fornos rotativos de clínquer, da composição química e mineralógica das matérias-primas, e da composição química dos combustíveis empregados; da marcha operacional dos fornos de clínquer; e da eficiência dos sistemas de controle de emissão de poluentes instalados (PIRES *et al.*, 2010).

Segundo Maury e Blumenschein (2012) os impactos gerados vão desde o processo de extração da matéria-prima onde ocorrem processos de erosão do solo, contaminação da água pelo uso de produtos com substâncias tóxicas até as fases de processamento e transporte, pela liberação de gases para a atmosfera.

2.3 - Curva ABC

O termo ABC também conhecido por curva 80–20 é atribuído a um renascentista italiano do século XIX, Vilfredo Pareto, que em 1897 executou um estudo sobre a distribuição de renda.

Assim:

A curva ABC tem sido bastante utilizada para a administração de estoques, para a definição de políticas de vendas, para o planejamento da distribuição, para a programação da produção e uma série de problemas usuais de empresas, quer sejam estas de características industriais, comerciais ou de prestação de serviços (PEREIRA, 1999).

Por tratar de uma ferramenta gerencial, a curva ABC é empregada em várias empresas com o objetivo de determinar o método mais econômico para controlar itens de estoque. Assim, através dela torna-se possível reconhecer quais materiais foram utilizados numa obra e saber a disponibilidade destes.

A curva ABC utilizada nesta monografia apresenta a quantidade de todo o material utilizado para um determinado empreendimento. Dessa forma, conduzir uma análise ABC reduz tanto o capital investido em estoques como com os custos operacionais. Porém, o objetivo não é avaliar os custos envolvidos, mas saber a quantidade de materiais como cimento, blocos de concreto, areia, brita, tijolos de cerâmica com o objetivo de contabilizar as emissões.

A quantificação das emissões pode ser dada por diversos métodos, mas o interesse aqui está em contabilizar as emissões através do Método para a Quantificação das Emissões de Dióxido de Carbono (Método QE-CO₂).

2.4 - Método QE-CO₂

O método QE-CO₂ consiste em uma fórmula adaptada a cada tipo de material, este método “[...] consiste na multiplicação da quantidade de produto utilizado na obra pelo fator de perda e pelo somatório das emissões geradas pelo consumo de energia e pelo transporte.” (COSTA, 2012). Segundo Costa (2012), as emissões são calculadas de acordo a equação 1:

$$\text{Emissões}_{MT,j} = QT_j \times FP_j \times (\text{Emissões}_{TR1,i} + \text{Emissões}_{EN1,i}) \quad (1)$$

Onde:

$Emissões_{MT,i}$ = emissões de CO₂ devido a utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO₂;

QT_j = quantidade de produto j necessária na obra, em toneladas;

FP_j = fator de perda do produto j , adimensional ;

$Emissões_{TR,i}$ = emissões de CO₂ devido ao consumo da energia i para o transporte de matérias primas e do produto j para a edificação, em toneladas de CO₂ / tonelada de produto j ;

$Emissões_{EN,i}$ = emissões de CO₂ devido ao consumo da energia i para extração e processamento do produto j necessário na edificação, em toneladas de CO₂/tonelada de produto j .

Assim, o Método QE-CO₂ é adaptado para cada tipo de material de construção analisado. Subdividido em três níveis de precisão o Método QE-CO₂ baseia-se em dados médios e dados específicos. Os três níveis são: Nível Básico, Nível Intermediário e Nível Avançado.

2.4.1- Nível Básico

Segundo Costa (2012), este é o nível mais elementar, gera estimativas pouco precisas e é calculado de acordo a equação 1, porém a equação pode ser simplificada e calculada da segundo a equação abaixo:

$$Emissões_{MT,j} = QT_j \times FP_j \times FEP_j \quad (2)$$

Onde:

QT_j = quantidade de produto j necessária na obra, em toneladas;

FP_j = fator de perda do produto j , adimensional;

FEP_j = fator de emissão de CO₂ devido a utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO₂ / tonelada de produto acabado.

O fator de perda do produto j é dado segundo tabela 3 a partir de dados de Tavares (2006).

Tabela 3: Indicadores médios de perdas de materiais em porcentagem (%).

Identificação	Média (%)
Blocos e Tijolos (Cerâmica)	15
Cimento	40
Areia	50
Aço	10
Brita	40

Fonte: Tavares, 2006 (Adaptado).

Assim, o FEP_j é empregado em substituição ao termo $Emissões_{TR,i}$ e ao termo $Emissões_{EN,i}$ da equação 1, pois algumas vezes dados de consumo energético ou emissões, assim como distâncias e o tipo de transporte são desconhecidos ou limitados.

2.4.2- Nível Intermediário

Baseado em informações mais específicas e mais detalhadas, o nível intermediário deve ser utilizado quando há dados específicos sobre distância percorrida de um determinado produto, distância essa que vai desde a extração da matéria-prima até o envio final à obra, onde se aplica um fator de correção.

2.4.3 - Nível Avançado

Considerado o nível mais preciso entre os três, o nível avançado apresenta alto grau de detalhamento na quantificação das emissões de CO_2 . “Pelo seu grau de detalhe e aprofundamento, destina-se principalmente a indústrias e fabricantes de produtos para realização de inventários dos seus processos produtivos” (COSTA, 2012).

Entre os dados para o cálculo das emissões de CO_2 no nível avançado deve estar presentes a quantidade de energéticos consumidos, os quilômetros percorridos no transporte, a composição química das matérias primas e do produto final e outros detalhes.

3. METODOLOGIA

O método utilizado para o cálculo das emissões seguiu um modelo desenvolvido por Costa (2012), em que o autor quantifica as emissões de CO₂ geradas na produção de materiais da construção civil no Brasil.

O trabalho em questão visa trabalhar com o método básico devido à falta de dados sobre consumo energético, distância percorrida e a limitação de informações necessárias sobre componentes da produção de determinados materiais, dessa forma utilizou-se a equação 2 como forma de quantificar as emissões.

Para o cálculo das emissões a utilização do fator QT_j leva em consideração a quantidade de material extraído da curva ABC, já o fator FEP_j considera as emissões totais geradas pelos processos de extração, processamento e transporte. Porém, no presente trabalho foi apresentado apenas um valor médio desses valores.

Como já dito anteriormente, o FEP_j é empregado em substituição ao termo Emissões_{TR,i} e ao termo Emissões_{EN,i} da equação 1, mas nas tabelas apresentadas nesse trabalho o termo FEP_j é o somatório das emissões do transporte adotando como destino a cidade de Cruz das Almas e da razão do uso de energia (tCO₂) pela produção total do produto (em toneladas).

Conforme afirma Costa (2012), a equação do Nível Básico das emissões de CO₂ em função do transporte é calculada levando-se em consideração o consumo médio de energéticos para o transporte de matérias primas e do produto acabado. Esta emissão é calculada conforme equação 3 e será utilizada nas tabelas seguintes.

$$\text{Emissões}_{\text{TR}} = \text{km} \times \text{CO}_t \times \text{FEC}_i \quad (3)$$

Onde:

Emissões_{TR} = emissões de CO₂ em razão do transporte, em toneladas de

CO₂/ tonelada de produto acabado;

km = distância percorrida pelo veículo no transporte de matérias primas e

produto acabado (somatório da distância de ida mais volta e transporte interno), em km;

CO_t = fator de consumo médio de energia de determinado tipo de veículo, em

L/t/km;

FEC_i = fator de emissão corrigido da energia *i*, em tCO₂/L.

O FEC_i é obtido conforme a tabela 34 (coluna F ou coluna G) disponível em anexo, já o CO_t pode ser obtido conforme tabela 35 considerando que os veículos transportadores são semipesados (17t-26t).

Devido à falta de dados, a distância percorrida pelos veículos dos locais de extração/processamento/indústria não pode ser levada em consideração. Assim, foi considerada apenas a distância média (como o somatório de ida mais volta incluindo a distância interna do transporte adotada como sendo 20Km) dos fornecedores até as lojas de Cruz das Almas. A tabela 4 resume como foram calculadas as emissões devido ao transporte.

Tabela 4: Indicadores do fator de emissão devido ao transporte

Material	Km ¹	CO _t ² (L/t/Km)	FEC _i ³ (tCO ₂ /L)	Emissões _{TR} (tCO ₂ /tproduto)
Aço	332	0,0196	0,0032	0,021
Areia	181	0,0196	0,0032	0,011
Brita	170,64	0,0196	0,0032	0,011
Cerâmica				
Vermelha (tijolos)	435,8	0,0196	0,0032	0,027
Cimento	2500	0,0196	0,0032	0,157

Fonte: Autor, 2013.¹ Ida e volta e transporte interno. ²A partir de dados da tabela 35. ³A partir de dados tabela 34.

Para a segunda parte da metodologia o objetivo foi avaliar as emissões de CO₂ dos blocos cerâmicos caso fossem utilizados no empreendimento tipo em substituição aos blocos de concreto. A análise das emissões utilizou o mesmo método proposto por Costa (2012). Ao final foi quantificada a emissão total de CO₂ por metro quadrado, comparando dois empreendimentos, um feito de blocos de concreto e o outro feito de blocos cerâmicos.

3.1- Parte 1: Cálculo das emissões dos materiais aço, areia, brita, cerâmica vermelha (tijolos), cimento e blocos de concreto

3.1.1- Método QE-CO₂: Aço

Para calcular as emissões primeiramente foi selecionado na curva ABC do empreendimento tipo materiais feitos de aço, desde pregos a vergalhões. A partir da quantidade total em toneladas a emissão pode ser calculada pela equação 4:

$$\text{Emissões}_{AC,j} = QT_j \times FP_j \times FEP_j \quad (4)$$

Onde:

QT_j = quantidade de produto *j* necessária na obra, em toneladas (tabela 27);

FP_j = fator de perda do produto *j*, adimensional (tabela 3);

FEP_j = fator de emissão de CO₂ devido a utilização do produto *j* em edificações, em toneladas de CO₂ / tonelada de aço (tabela 5).

O FP_j é adotado conforme a tabela dos indicadores globais de perdas de materiais na obra (tabela 3), já o FEP_j foi adotado conforme tabela 5.

Tabela 5: Fator de emissão de CO₂ do setor de aço

Identificação	Valor
Emissões de CO ₂ pelo uso de energia (tCO ₂) (COSTA,2012)	45.659.777,84
Produção total de ferro gusa e aço (toneladas) (COSTA,2012)	26.506.000
Fator de emissão pelo uso de energia (tCO ₂ /t aço) (COSTA,2012)	1,7226
Fator de emissão pelo transporte (tCO ₂ /t aço)	0,021

Fator de emissão pelo uso de carbonatos (tCO ₂ /t aço) (COSTA,2012)	0,1072
Fator de emissão do setor de ferro gusa e aço FEP (tCO₂/t aço)	1,8508

Fonte: Autor, 2013.

O fator de emissão devido a reações químicas do setor do aço segue conforme tabela 6.

Tabela 6: Emissões de CO₂ devido a reações químicas

Carb.	t carbonato / t aço	tCO ₂ / t carbonato	tCO ₂ / t aço
CaCO ₃	0,176	0,4397	0,0774
CaMg(CO ₃) ₂	0,062	0,4773	0,0298
Total	0,238	-	0,1072

Fonte: Costa, 2012.

3.1.2- Método QE-CO₂: Agregados

Para o cálculo das emissões dos agregados foi selecionado na curva ABC do empreendimento os materiais de interesse e então foi calculada a emissão total dos agregados (brita e areia), conforme a equação 5:

$$\text{Emissões}_{AG,j} = QT_j \times FP_j \times FEP_j \quad (5)$$

Onde:

QT_j = quantidade de produto *j* necessária na obra, em toneladas (conforme tabela 28, tabela 29, tabela 30 e tabela 31).

FP_j = fator de perda do produto *j*, adimensional (tabela 3);

FEP_j = fator de emissão de CO₂ devido a utilização do produto *j* (agregados) em edificações, em toneladas de CO₂ / tonelada de agregado (tabela 7 e tabela 8).

Tabela 7: Fator de emissão do setor de agregados miúdos

Identificação	Valor
Fator de emissão do uso de energia (t CO ₂ / t agreg.) (COSTA, 2012)	0,0722
Fator de emissão do transporte (t CO ₂ / t agreg.)	0,011
Fator de emissão do setor de agregados miúdos FEP (t CO₂ / t agreg.)	0,0832

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 8: Fator de emissão do setor de agregados graúdos

Identificação	Valor
Fator de emissão do uso de energia (t CO ₂ / t agreg.) (COSTA, 2012)	0,0719
Fator de emissão do transporte (t CO ₂ / t agreg.)	0,011
Fator de emissão do setor de agregados graúdos FEP (t CO₂ / t agreg.)	0,0829

Fonte: Autor, 2013.

Os fatores de emissão do uso de energia (tCO₂ / t agreg.) são apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Energia necessária para a extração e processamento de agregados (miúdos e graúdos) e emissões de CO₂ associadas

Identificação	Unid./t agreg.	Valor-agreg.miúdo	Valor-agreg.graúdo	tCO₂/t-agreg.miúdo	tCO₂/t-agreg.graúdo
Óleo Diesel	m3	0,023	0,023	0,0717	0,0717
Eletricidade	MWh	0,009	0,003	0,0005	0,0002
Total	-	-	-	0,0722	0,0719

Fonte: Costa, 2012 a partir de dados de Venta, 1998 (Adaptado).

3.1.2.1- Brita

$$\text{Emissões}_{BR,j} = QT_j \times FP_j \times FEP_j \quad (6)$$

De acordo a equação 6, o cálculo de emissões de CO₂ segue em função do tipo de brita utilizada. Conforme a tabela 10 tem se a quantidade de toneladas de brita utilizada em função da massa unitária.

Tabela 10: Quantidade de Brita utilizada no Empreendimento Tipo

Brita	Kg/m³ (Massa unitária)	Consumo (Kg)
Brita 0 (Kg)	1384 (BUENO, 2008)	43416,08
Brita 1 (Kg)	1450 (RODRIGUES, 2006)	508297,5
Brita 2 (Kg)	1420(RODRIGUES, 2006)	18377,64
Total (Kg)		570091,22
Total (Tonelada)		570,09

Fonte: Autor, 2013.

3.1.2.2 -Areia

$$\text{Emissões}_{AR,j} = QT_j \times FP_j \times FEP_j \quad (7)$$

O cálculo da emissão para a areia foi realizado conforme equação acima, em que o peso considerado para areia média lavada foi de 2000 kg/m³ (RODRIGUES, 2006). O consumo de areia é expresso conforme tabela 28.

3.1.3 -Método QE-CO₂: Cerâmica vermelha (tijolos)

Para o cálculo das emissões de CO₂ devido à utilização da cerâmica vermelha temos que:

$$\text{Emissões}_{CR,j} = QT_j \times MU \times FP_j \times FEP_j \quad (8)$$

Onde:

QT_j = quantidade de produto *j* necessária na obra, em peças;

MU = massa de determinada peça cerâmica, em toneladas/ peça;

FP_j = fator de perda do produto *j*, adimensional (tabela 3);

FEP_j = fator de emissão de CO₂ devido a utilização do produto *j* (tijolos, telhas ou revestimento) em edificações, em toneladas de CO₂ / tonelada de produto (tabela 12).

Porém, a equação acima foi adaptada devido ao fato de que a massa das peças cerâmicas já foi calculada separadamente de acordo a dimensão de

cada bloco. Então os termos QT_j e MU foram substituídos por QT (quantidade de toneladas de produto cerâmico utilizado na obra) devido as considerações dos pesos da tabela 11.

Tabela 11: Medidas dos blocos X peso dos blocos

Medidas	Pesos (Kg) ¹
9X19X19 cm	2,1
9X19X29 cm	3,3
14X19X29 cm	4,5

Fonte: Autor, 2013.¹Fkcomércio, 2013.

O consumo de tijolos do empreendimento tipo encontra-se na tabela 33, já o fator de emissão de CO₂ (FEP) devido à utilização do produto é apresentado na tabela 12.

Tabela 12: Fator de emissão de CO₂ do setor de cerâmica

Identificação	tCO ₂ / t cerâmica
Fator de emissão do uso de energia (COSTA, 2012)	0,0583
Fator de emissão da queima de material carbonáceo (COSTA, 2012)	0,0326
Fator de emissão do transporte de telhas e tijolos	0,027
	0,1179
Fator de emissão do setor cerâmico de telhas e tijolos FEP	

Fonte: Autor, 2013.

O fator de emissão do uso de energia refere-se a razão entre a emissão (tCO₂) decorrente da utilização de energia pela produção (toneladas). A tabela 13 apresenta os valores de energia e conseqüentemente das emissões de CO₂.

Tabela 13: Energia necessária para a produção de 153.108.000 toneladas de produtos cerâmicos e emissões de CO₂ associadas

Identificação	Unid.	Valor	tCO ₂
Gás Natural Seco	milh m ³	1.137	2.967.307
Carvão Vapor 4200	mil t	3	4.754
Lenha	mil t	6.714	3.047.469
Óleo Diesel	mil m ³	9	28.454
Óleo Combustível	mil m ³	336	1.254.260
GLP	mil m ³	266	515.289

Eletricidade	GWh	3.445	184.042
Eletricidade (autoprod.)	GWh	49	9.768
Coque de Petróleo	mil m ³	205	907.437
Outras Renováveis	mil tep	53	-
Total parcial	-	-	8.918.780

Fonte: Costa, 2012.

3.1.4- Método QE-CO₂: Cimento

Utilizando novamente o Nível Básico para calcular a emissão de dióxido de carbono para atmosfera em decorrência do transporte/extração/processamento do cimento temos conforme explicitado abaixo a equação 9:

$$\text{Emissões}_{CM,j} = QT_j \times FP_j \times FEP_j \quad (9)$$

Onde:

QT_j = quantidade de produto *j* necessária na obra, em toneladas;

FP_j = fator de perda do produto *j*, adimensional (tabela 3)

FEP_j = fator de emissão de CO₂ devido a utilização do produto *j* (cimento) em edificações, em toneladas de CO₂ / tonelada de produto (Tabela 14).

O fator de emissão do uso de energia (tCO₂/t cimento) é encontrado pela razão entre as emissões de CO₂ associados ao uso de energia (em tCO₂) (tabela 15) para produzir o cimento e a produção total desse material em toneladas (cerca de 51.480.000 toneladas). Segundo Costa (2012), esse fator chega a 0,2959.

Tabela 14: Fator de emissão de CO₂ do setor cimentício

Identificação	Valor
Fator de emissão do uso de energia (tCO ₂ /t cimento) (COSTA, 2012)	0,2959
Fator de emissão do transporte (tCO ₂ / t cimento)	0,157
Fator de emissão do clínquer (t CO ₂ / t cimento) (COSTA, 2012)	0,3322
Fator de emissão total do setor cimentício FEP (t CO₂ / t cimento)	0,7851

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 15: Energia necessária para a produção de 51.480.000 toneladas de cimento Portland e emissões de CO₂ associadas

Identificação	Unid.	Valor	tCO ₂
Gás Natural Seco	milh m ³	17	44.366
Carvão Vapor 5200	mil t	27	52.412
Carvão Vapor 5900	mil t	12	26.620
Carvão Metalúrg. Imp.	mil t	49	143.605
Carvão Vegetal ¹	mil t	85	80.959
Óleo Diesel	mil m ³	50	158.079
Óleo Combustível	mil m ³	30	111.987
GLP	mil m ³	22	42.618
Coque Carvão Mineral	mil t	90	281.244
Coque Carvão Mineral	mil m ³	3134	13.872.719
Eletricidade	GWh	3603	192.483
Eletricidade (autoprod.)	GWh	1127	224.667
Outras Renov.	mil tep	259	-
Total	-	-	15.231.760

Fonte: Costa, 2012.

3.1.5- Método QE-CO₂: Blocos de concreto

O cálculo das emissões de dióxido de carbono ao longo do processo produtivo dos blocos de concreto foi esquematizado conforme a liberação de CO₂ de cada material (areia, brita e cimento) utilizado na confecção dos blocos. A quantidade de bloco foi obtida segundo a curva ABC e, em seguida os blocos foram separados conforme dimensão e resistência (tabela 22). A partir disso, o volume de cada tipo de bloco foi obtido de acordo com cálculos baseados nas dimensões e designação por classe (tabela17). O volume calculado segue explicitado em tabelas posteriores, e os tipos de blocos seguem conforme figura 6.

Tabela 16: Família de blocos

Família de blocos											
Designação	Nominal	20	15		12,5			10			7,5
	Módulo	M-20	M-15		M-12,5			M-10			M-7,5
	Amarração	1/2	½	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1/2	1/3	1/2
	Linha	20X4 0	15X4 0	15X3 0	12,5X4 0	12,5X2 5	12,5x37, 5	10X4 0	10X3 0	10X3 0	7,5X4 0
Largura (mm)		190	140	140	115	115	115	90	90	90	65
Altura (mm)		190	190	190	190	190	190	190	190	190	190
Comprimento	Inteiro	390	390	290	390	240	365	390	190	290	390
	Meio	190	190	140	190	115	-	190	90	-	90
	2/3	-	-	-	-	-	240	-	-	-	-
	1/3	-	-	-	-	-	115	-	-	-	-
	Amarração L		340	-	-	-	-	-	-	-	-
	Amarração T		540	440	-	365	365		290	290	-
	Compensador A	90	90	-	90	-	-	90	-	-	90
	Compensador B	40	40	-	40	-	-	40	-	-	40

NOTA: As tolerâncias permitidas nas dimensões dos blocos indicados na tabela 1 são de • ± 2,0 mm para a largura e ± 3,0 mm para a altura e para o comprimento.
Os componentes das famílias de blocos de concreto tem sua modulação determinada de acordo com as ABNT NBR 5706 e ABNT NBR 5726.

Fonte: Sinaprocim, 2013.

Tabela 17: Designação por classe, largura dos blocos e espessura mínima das paredes dos blocos

Classe	Designação	Paredes longitudinais (mm) ¹	Paredes Transversais	
			Paredes ¹ mm	Espessuras Equivalentes ² mm/m
A	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
B	M-15	25	25	188
	M-20	32	25	188
C	M-10	18	18	135
	M-12,5	18	18	135
	M-15	18	18	135
	M-20	18	18	135
D	M-7,5	15	15	113
	M-10	15	15	113
	M-12,5	15	15	113
	M-15	15	15	113
	M-20	15	15	113

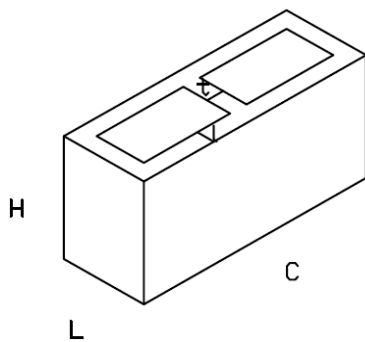
1) Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

2) Somadas espessuras de todas as paredes transversais os blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

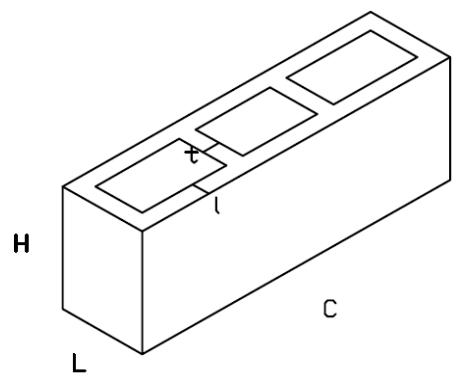
Fonte: MDIC, INMETRO, 2010.

As classes descritas na tabela 17 são designadas por:

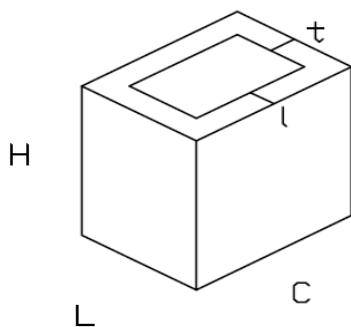
- a) classe A – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
- b) classe B – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- c) classe C – Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
- d) classe D – Sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.



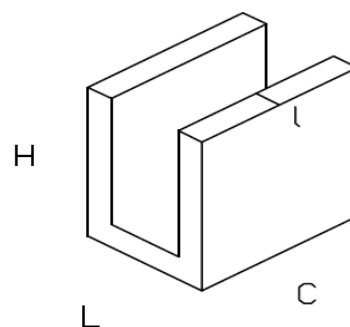
Bloco de vedação inteiro (19x19x39 cm)



Bloco estrutural (14x19x34/39/54 cm)



Bloco de vedação meio (14x19x19 cm)



Bloco Canaleta U (14x19x19cm)

Figura 6: Blocos de concreto utilizados no empreendimento tipo (Autor, 2013)

Onde:

H = altura

L = largura

C = comprimento

t = perfil transversal

l = perfil longitudinal

Foi considerado, para o concreto utilizado na confecção dos blocos de 4,5 Mpa um traço com CP II-E-32 obtido por meio de interpolação entre traços para concretos com resistência de 4 e 6 Mpa de acordo com a tabela 22. O consumo de cimento foi estipulado segundo a equação 10 e depois multiplicado pelo traço, para então obter a quantidade total de cada material utilizado para fazer os blocos de concreto.

$$C = \frac{1000}{\frac{C_{im}}{\gamma_1} + \frac{A}{\gamma_2} + \frac{B}{\gamma_3} + \frac{\hat{A}}{C_{im}}} \quad (10), \text{ em que:}$$

C = consumo de concreto (kg/m³);

$\frac{C_{im}}{\gamma_1}$ = Consumo de cimento por m³ de concreto (kg/m³) / peso específico do concreto;

$\frac{A}{\gamma_2}$ = Consumo areia por m³ de concreto (kg/m³) / peso específico da areia;

$\frac{B}{\gamma_3}$ = Consumo brita por m³ de concreto (kg/m³) / peso específico da brita;

$\frac{\hat{A}}{C_{im}}$ = Relação água/cimento.

A partir dos dados da quantidade total de materiais utilizados para fazer blocos de concreto, as emissões foram calculadas.

3.2 - Parte 2: Comparação das emissões de blocos de concreto e blocos cerâmicos

3.2.1- Blocos cerâmicos x Blocos de concreto

Para permitir a comparação entre dos dois blocos analisados foi utilizado o método QE-CO₂ para quantificar as emissões tanto dos blocos de concreto quanto dos blocos cerâmicos. Além disso, foram feitas as seguintes considerações:

- Considerou-se a mesma área do empreendimento;
- Como referência utilizou-se blocos cerâmicos de dimensão 9x19x24 cm (vendidos na região de Cruz das Almas com peso de 2,8 Kg).

3.3 - Parte 3: Cálculo das emissões de tCO₂ por m² para alvenaria de bloco de concreto e blocos cerâmicos

3.3.1- Emissões tCO₂/m².

Para os dois tipos de blocos a quantificação das emissões de tCO₂/ m² foi realizada dividindo-se as emissões geradas pela quantidade total de blocos pela área total de alvenaria. Para saber a área ocupada levaram-se em consideração os dados apresentados na tabela 18.

Tabela 18: Modelo do Empreendimento Tipo

Tipo do apartamento	Números de apartamentos	Área (m ²)	Área parcial (m ²)
Apartamento 1 quarto	18	38	684
Apartamento 2 quartos	762	45	34290
Área total (m²)	-	-	34.974

Fonte: Autor, 2013.

4. DISCUSSÃO

No presente trabalho os impactos foram avaliados em decorrência das emissões geradas pelo processo de utilização de determinados materiais, levando-se em conta processos de produção e transporte. Para o processo de transporte, as distâncias adotadas para os cálculos das emissões de CO₂ seguem conforme tabela 19.

Tabela 19: Distância média entre fornecedores e lojas de materiais de construção - Cruz das Almas

Materiais – Fábricas	Distância (km)
Aço	166,00
Areia	90,50
Brita	85,32
Cerâmica Vermelha	217,90
Cimento	1250,00

Fonte: Autor, 2013, a partir de dados do Google Maps.

As emissões dos materiais como aço, areia, brita, cerâmica vermelha (tijolos) e cimento do empreendimento tipo seguem quantificadas na tabela 20.

Tabela 20: Fator de emissão de CO₂ de acordo a cada material para o empreendimento tipo

Material	Quantidade utilizada no	
	Empreendimento (toneladas)	Emissão Média (tCO ₂)
Aço	48,23	8,93
Areia	1824,17	75,89
Brita	572,09	18,90
Cerâmica vermelha (tijolos)	198,48	3,51
Cimento	215,71	67,74
Bloco de Concreto	-	32,23
Total		207,20

Fonte: Autor, 2013.

A quantidade em toneladas de blocos de concreto não foi considerada na tabela 20. Pois, para estes o método proposto foi calcular as emissões geradas a partir de seus materiais componentes, no caso areia, brita e cimento.

Ainda em relação aos blocos de concreto, os dados de volume (calculados a partir das suas dimensões) seguem conforme a tabela 21.

Tabela 21: Volume dos blocos de concreto utilizados no empreendimento tipo

Bloco de concreto	QT (unt.)	Tipo	L (cm)	H (cm)	C (cm)	P. long	P. Transv	Vol. de concreto (un.-m ³)
Bloco Concreto Ved 2,5MPa	6790,35	I	19	19	39	1,50	1,50	0,003591
Bloco Concreto Ved 2,5MPa	2745,75	I	14	19	39	1,50	1,50	0,003164
Bloco Concreto Estr 4,5MPa	41766,23	I	14	19	39	2,50	2,50	0,004988
Bloco Concreto Estr 4,5MPa	9887,62	L	14	19	34	2,50	2,50	0,004513
Bloco Concreto Estr 4,5MPa	1660,66	T	14	19	54	2,50	2,50	0,006840
Bloco Concreto Estr 4,5MPa	10800,44	M	14	19	19	2,50	2,50	0,002660
Bloco Concreto U 4,5 MPa	8512,51	U	14	19	19	2,50	2,50	0,004906

Fonte: Autor (2013). M=meio, L =amarração em L, T=amarração em T, I=inteiro, U= forma de U (canaleta).

O traço em massa dos concretos considerados para as resistências especificadas dos blocos de concreto, bem como o consumo de cada material segue conforme tabela 22 (adaptação), lembrando que para o valor de 4,5 MPa foi feita uma interpolação dos valores. Já os valores do consumo de materiais foram feito de acordo com a resistência e a quantidade de materiais a partir dos volumes de cada tipo de bloco de concreto. Os valores são apresentados conforme tabela 23 e tabela 24, respectivamente.

Tabela 22: Traços de concretos com cimento CP II-E-32

Traço em massa			
1Kg de cimento			
Resistência (MPa)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	a/c
4	3,85	3,66	0,85
6	3,39	3,31	0,73

Fonte: Barboza e Santos [2006]. (Adaptado).

Tabela 23: Consumo de areia, cimento e brita (kg/m³) de acordo a resistência

Material	2,54 MPa	4,5 MPa
Consumo de concreto (Kg/m ³)	235,50	157,27
Consumo Cimento por m ³ de concreto (kg/m ³)	212,51	146,41
Consumo Areia por m ³ de concreto (kg/m ³)	461,15	547,58
Consumo Brita por m ³ de concreto (kg/m ³)	518,53	522,69

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 24: Quantidade de materiais a partir dos volumes específicos de cada tipo de bloco de concreto

Tipo de Bloco	Volume total de blocos (m³)	Quantidade de cimento (Kg)	Quantidade de areia (Kg)	Quantidade de brita (Kg)
Bloco concreto VED 2,5MPa 19x19x39cm	24,38	5181,0	11242,9	12641,8
Bloco concreto VED 2,5MPa 14x19x39cm	8,69	1846,7	4007,4	4506,0
Bloco concreto ESTR 4,5MPa 14x19x39cm	208,33	30502,1	114077,8	108892,4
Bloco concreto ESTR 4,5MPa 14x19x34cm	44,62	6532,9	24433,1	23322,5
Bloco concreto ESTR 4,5MPa 14x19x54cm	11,36	1663,2	6220,5	5937,8
Bloco concreto ESTR 4,5MPa 14x19x19cm	28,73	4206,4	15732,0	15016,9
Bloco concreto U 4,5 MPa 14x19x19cm	41,76	6114,2	22867,0	21827,6
Total (Kg)		56046,6	198580,8	192145,1
Total (Tonelada)		56,05	198,58	192,15

Fonte: Autor, 2013.

Assim, as emissões em tCO₂ para blocos de concreto segue conforme tabela 25.

Tabela 25: Total de emissões de CO₂ para fabricação de blocos de concreto

Materiais - Bloco de Concreto	Quantidade utilizada do material (toneladas)	Emissões (tCO₂)
Areia	198,58	8,26
Brita	192,15	6,37
Cimento	56,05	17,60
Total de Emissões tCO₂		32,23

Fonte: Autor, 2013.

Caso fossem utilizados no Empreendimento Tipo blocos cerâmicos ao invés de blocos de concreto as emissões chegariam a 5,76 tCO₂, conforme dados da tabela 26.

Tabela 26: Emissões de CO₂ de blocos cerâmicos caso fossem utilizados no empreendimento tipo

Blocos	H(m)	C(m)	Área Unitária m ²	Área Total m ²	Número de unidades	Peso Unit. ¹	Peso total
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	503,16	11034,21	2,8	30895,8
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	203,46	4461,84	2,8	12493,2
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	3094,88	67870,18	2,8	190036,5
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	638,74	14007,46	2,8	39220,9
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	170,38	3736,40	2,8	10461,9
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	389,9	8550,44	2,8	23941,2
Bloco cerâmico 9x19x24 cm	0,19	0,24	0,0456	307,3	6739,04	2,8	18869,3
Peso Total (Kg)							325918,8
Peso Total (Toneladas)							325,9
Emissões (tCO₂) = 5,76							-

Fonte: Autor,2013. ¹ Cerâmica Matielis, 2013.

5. RESULTADOS

As emissões totais geradas dos materiais analisados na simulação desse trabalho seguem conforme figura 7, o Empreendimento (Blocos de Concreto) apresenta cerca de 207,0 tCO₂, enquanto o Empreendimento (Blocos Cerâmico) apresenta cerca de 181,0 tCO₂ representado cerca de 12,6% menos a quantidade de dióxido lançado para atmosfera.

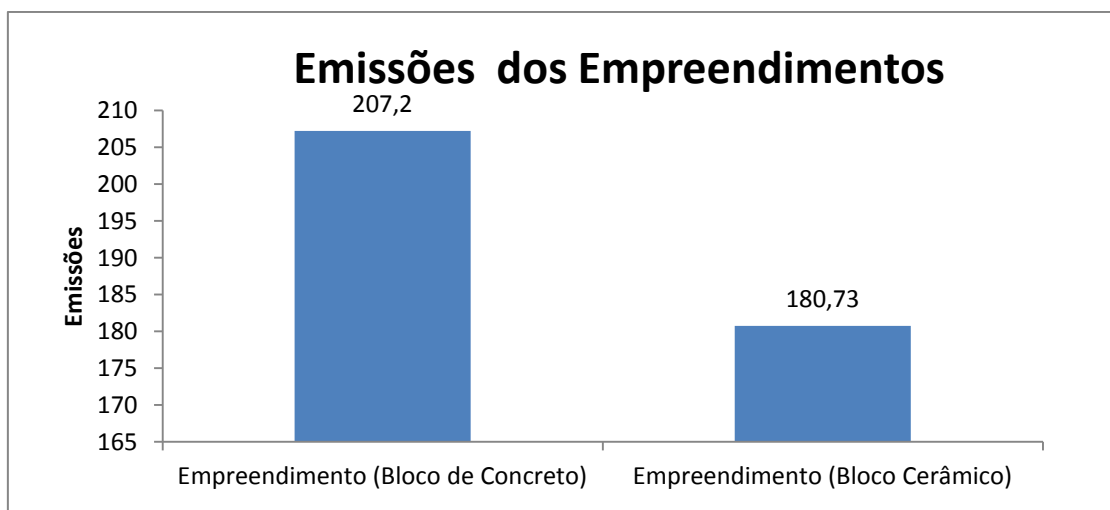


Figura 7: Comparação das emissões totais (Autor, 2013)

Comparando as emissões de tCO_2/m^2 para alvenaria de blocos de concreto e alvenaria de blocos cerâmicos temos que a alvenaria de blocos de concreto lançariam mais dióxido de carbono para atmosfera, conforme mostra a figura 8.

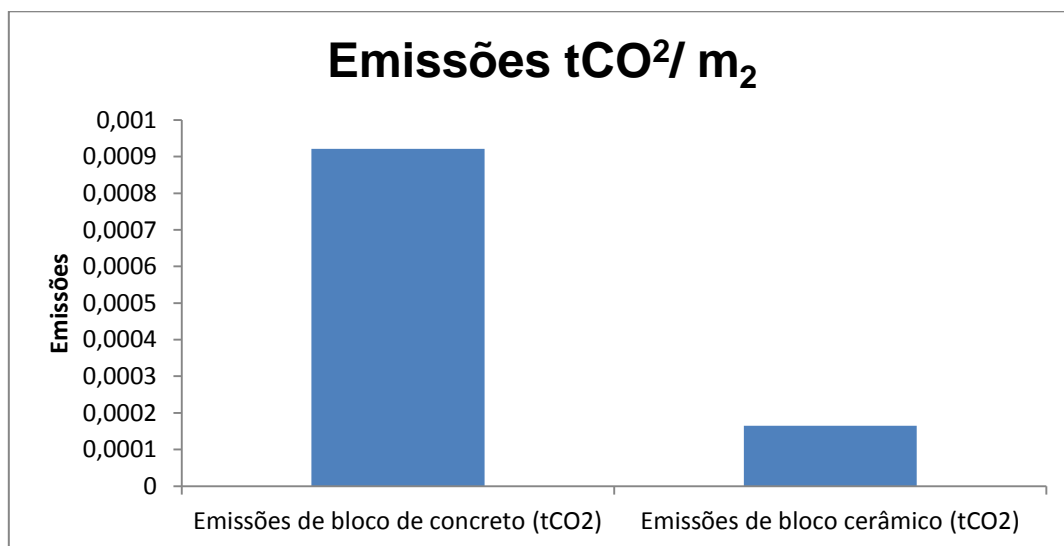


Figura 8: Emissões de CO₂ para a construção das alvenarias (tCO_2/m^2) (Autor, 2013)

Esses resultados expressam que os impactos gerados não são decorrentes apenas do processo de extração, mas também dos procedimentos de obtenção e utilização dos materiais nas obras, geralmente esses impactos são quantificados pela emissão de gases para a atmosfera, principal fator do agravamento de efeito estufa. Porém, a cadeia de impactos se estende até o processo de descarte, conforme esquematiza a ACV. Para a simulação dos empreendimentos as emissões de cada material seguem conforme figura 9 e figura 10.

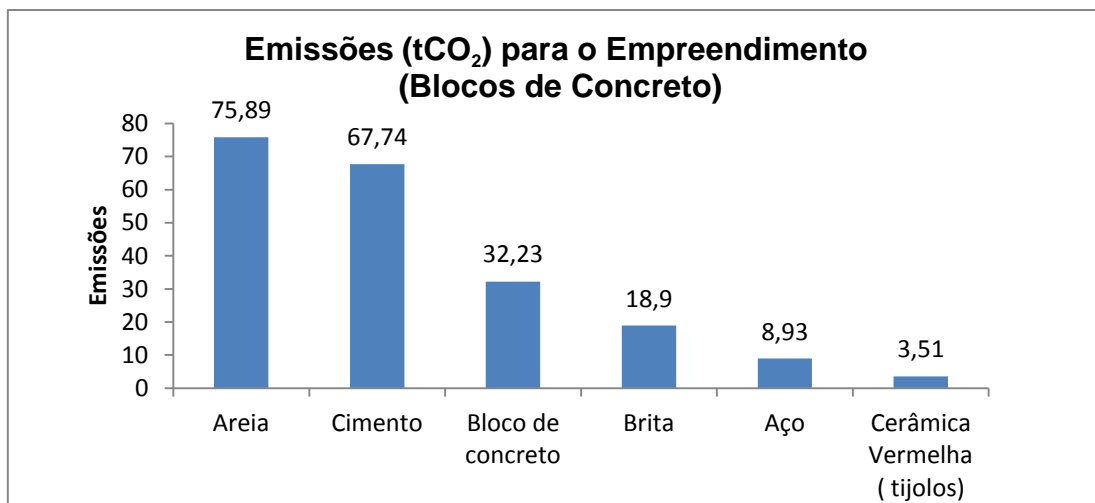


Figura 9: Emissões do Empreendimento (Bloco Concreto) (Autor, 2013)

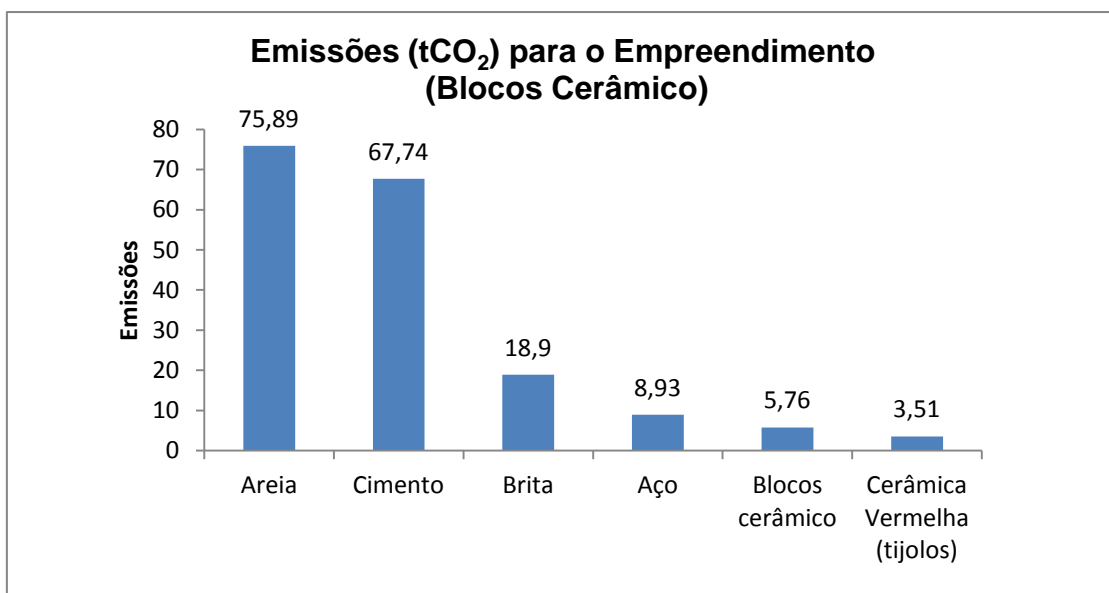


Figura 10: Emissões do Empreendimento (Bloco Cerâmico) (Autor, 2013)

Observa-se que na figura 10 a utilização de blocos cerâmicos representa uma menor emissão de CO₂ em comparação ao bloco de concreto da figura 9.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1- Conclusão

- A areia representou o material responsável pelas maiores emissões de CO₂ devido a sua intensa participação em volume no empreendimento;
- O cimento apresentou mais que 32% (nos dois empreendimentos simulados) das emissões totais geradas, 67,74 tCO₂, valor este ocasionado pela emissão gerada no transporte e pelas altas taxas de desperdícios;
- A utilização da brita (transporte e produção) na simulação do empreendimento analisado é responsável pela emissão de 18,9 tCO₂ para atmosfera;
- O aço na simulação do empreendimento é responsável por 8,93 tCO₂. Sendo que o aço apresenta um fator de emissão na produção maior que a brita, porém, as emissões devido a utilização desta no empreendimento é 2 vezes superior a do aço.
- A cerâmica vermelha (tijolos) destaca-se como material que apresenta menor emissão de CO₂ no processo de transporte e produção, chegando a 3,51 tCO₂.
- Ao comparar as emissões dos blocos cerâmicos com os blocos de concreto utilizados no empreendimento parâmetro, percebe-se uma diferença de 82%. Isto decorre do fato de que os blocos de concreto são constituídos de materiais com poder de emissão (no transporte e produção) maior do que os blocos de cerâmica vermelha;
- A cerâmica vermelha em comparação com a brita, o cimento e a areia apresenta baixas taxas de desperdícios;
- As emissões geradas pela construção de alvenaria de blocos de concreto e blocos cerâmicos por m² são distintas, tem-se que comparando o processo do ciclo de vida dos blocos de concreto com os de cerâmica, os de concreto lançam cerca de 5 vezes mais dióxido de carbono para atmosfera do que os blocos constituídos de cerâmica vermelha.

Assim, a simulação comparativa entre os empreendimentos nos dá uma ideia da magnitude dos impactos gerados pela utilização de materiais no setor da construção civil, dessa forma a análise de cada material utilizado faz-se necessária para avaliar os custos ambientais provocados pelas emissões que estes geram. Conclui-se então que a utilização de blocos de cerâmica torna-se uma alternativa ambientalmente mais viável para a construção de um empreendimento localizado na cidade de Cruz das Almas.

6.2- Sugestões para trabalhos futuros

No sentido de prosseguir com trabalhos futuros colocam-se as seguintes sugestões:

- Quantificar as emissões utilizando o método QE-CO₂ no nível intermediário e avançado com a finalidade de obter comparação entre as emissões;
- Quantificar as emissões de processos de manutenção (reformas) e descarte dos materiais;
- Avaliar a emissão gerada por outros materiais utilizados no Empreendimento tipo;
- Aperfeiçoar técnica da quantificação de emissões;
- Desenvolver métodos que possam estar quantificando as emissões geradas de qualquer empreendimento.
- Elaboração de um inventário regional de emissões.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. Dados oficiais. Disponível em: < <http://www.anicer.com.br>>. Acesso em: 15 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados terminologia. Rio de Janeiro, 1987.

BARBOZA, Marcos R; BASTOS, Paulo Sérgio. **Traços de concreto para obras de pequeno porte**. Bauru. UNESP, Faculdade de Engenharia de Bauru, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/site_paulo/Artigo%20Tracos%20Concreto-Paulo%20Bastos.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2013.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, Ministério de Minas e Energia. 2011. Brasília, DF.

BLOCOS DE CONCRETO. Disponível em: http://www.sinaprocim.org.br/Upload/Esp_Tecn/blocos.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2013.

BUENO, Eduardo Suliman. **Avaliação das propriedades tecnológicas dos agregados britados produzidos na região de Ijuí – RS**. Rio Grande do Sul, 2008. Disponível em: < <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Eduardo-Suliman-Bueno.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

CERÂMICA MATIELI Disponível em: www.ceramicamatieli.com.br. Acesso em: 23 abr. 2013.

COSTA, Bruno Luís de Carvalho da. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil**. Rio de Janeiro, 2012, 190 p. (Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de

Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE- Instituto Aberto Luiz Coimbra de Pós- Graduação e Pesquisa de Engenharia- UFRJ, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil).

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS, Balanço Energético Nacional 2008, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2008.

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE. Associação Nacional Da Indústria Da Cerâmica. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha**. 2010. 22 p.

FALCÃO BAUER, Luiz Alfredo. **Materiais de Construção**, 1994, Rio de Janeiro: LTC Editora, 5ª edição. vol. 2.

FKCOMÉRCIO- Disponível em: <http://www.fkcomercio.com.br/tijolos_ceramicos.html>. Acesso em: 10 abr. 2013.

GERVÁSIO, Helena Maria. **A sustentabilidade do aço e das estruturas metálicas**. 2008. Disponível em: <http://www.construmetal.com.br/2008/downloads/PDFs/27_Helena_Gervasio.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2013.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Relatório 2010. Rio de Janeiro. 55p.

JACOB, Silva Paulsen. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos no setor da construção civil**. In: II CONGRESSO BAIANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL: Cidade Campo e Sustentabilidade Sócio Ambiental, 2012. Feira de Santana: UEFS, 2012.

MANFREDINI, Constance; SATTTLER, Miguel Aloysio. **Estimativa da energia incorporada a materiais de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**. Disponível em: < <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/viewFile/3609/1990>>. Acesso em: 02 fev. 2013.

MAURY, Maria Beatriz; BLUMENSCHNEIN, Raquel Naves. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em

Debate. 2012. Disponível em: < <http://seer.bce.unb.br/index.php/sust/article/download/7199/5666>>. Acesso em: 02 mai. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico 2010**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - Setor de Transformação de não Metálico. Brasília-DF. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/noticias/ANUXRIO_DA_TRANSFORMAxO_DOS_NxO_METxLICOS_-_2010.pdf >. Acesso em: 29 jan. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico 2011**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – Setor Metalúrgico. Brasília-DF. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/noticias/ANUXRIO_DA_TRANSFORMAxO_DOS_NxO_METxLICOS_-_2010.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2013.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. Portaria Inmetro n.º 187, de 21 de maio de 2010. **Consulta Pública**. Duque de Caxias, RJ, 2010.

PEREIRA, Moacir. **O uso da curva ABC nas empresas**. São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.ivansantos.com.br/ousoABC.pdf>> Acesso em: 19 abr. 2013.

PRIMEIRO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Relatórios de referência - Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis: abordagem top-down**. 2006. Rio de Janeiro. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia – COPPE. Disponível em:< <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/energia/portugues/1.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2013.

ROBERTO, Fernando Antônio da Costa. Cimento. 2001. Disponível em: < <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/cimento.pdf> >. Acesso em: 15 abr. 2013.

RODRIGUES, Edmundo. **Agregados**. 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundo/Agregados.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

SEGUNDO INVENTÁRIO BRASILEIRO DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. **Relatórios de Referência - Emissões de Gases de Efeito Estufa nos Processos Industriais** – Produtos Mineraiis. Brasília, DF.

SOARES, Sebastião Roberto; SOUZA, Danielle Maia de; PEREIRA, Sibeli Warmling. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil**. COLETÂNEA HABITARE - **Construção e Meio Ambiente**, Cap 4, 2006, Porto Alegre, vol. 7.

TABELA DE PESOS ESPECÍFICOS - Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfB4AAA/tabela-pesos-especificos>>. Acesso em: 28 abr. 2013.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Santa Catarina, 2006, 225 p. (Tese submetida à obtenção do Título de doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC).

VALVERDE, Fernando Mendes. Balanço Mineral Brasileiro. 2001. **Agregados para a construção civil**. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <<http://simineral.org.br/arquivos/Agregados paraConstruoCivilFernandoMendesValverde.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2013.

8. ANEXO

8.1. Tabelas

Tabela 27: Quantidade de Aço utilizada no Empreendimento tipo

Tipo	Quantidade de Aço utilizada (toneladas)
Prego	2,14
Vergalhões	41,84
Arame recozido	1,43
Parafuso	2,83
Total (toneladas)	48,23

Tabela 28: Quantidade de Areia utilizada no Empreendimento tipo

Areia	Unidade	Quantidade
Total (m ³)	m ³	912,09
Total	Kg	1824,172

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 29: Quantidade de Brita 0 utilizada no Empreendimento Tipo

Brita 0	Unidade	Quantidade
Total	m ³	31,370

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 30: Quantidade de Brita 1 utilizada no Empreendimento Tipo

Brita 1	Unidade	Quantidade
Total	m ³	350,550

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 31: Quantidade de Brita 2 utilizada no Empreendimento Tipo

Brita	Unidade	Quantidade
Total	m ³	12,942

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 32: Quantidade de cimento utilizada no Empreendimento Tipo

Cimento CP II 50KG	Unidade	Quantidade
Total	SC	4.314,231
Total	kg	215711,55
Total	ton	215,71155

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 33: Quantidade de tijolo cerâmico utilizada no Empreendimento Tipo

Tijolo Cerâmico	Unidade	Quantidade	Quantidade em Kg
Tijolo Cerâmico Vedação 90x190x190mm	Un	3.847,147	8079,0087
Tijolo Cerâmico Vedação 14x19x29cm	Un	3.230,945	14539,2525
Tijolo Cerâmico Vedação 14x19x29cm	Un	29.796,152	134082,684
Tijolo Cerâmico Vedação 14x19x29cm	Un	5.077,281	22847,7645
Tijolo Cerâmico Vedação 09x19x29cm	Un	654,383	2159,4639
Tijolo Cerâmico Vedação 09x19x29cm	Un	4.430,596	14620,9668
Tijolo Cerâmico Ved 90x190x190mm	Un	1.022,789	2147,8569
Total (Kg)			198476,9973
Total (Tonelada)			198,48

Fonte: Autor, 2013.

Tabela 34: Resumo dos fatores de emissão e de emissão corrigido (FEC) dos energéticos, no Nível Básico (respectivamente colunas "B", "E" e "F", "G")

Identificação	A	B	C	D	F	G	H	I
Gás Natural Veicular	-	-	-	m ³	2,00	2,40	-	-
Gasolina Automotiva	18,9	69,3	32,2	m ³	2,23	2,68	0,0027	L
Óleo Combustível	21,1	77,4	40,2	m ³	11	3,73	0,0037	L
Óleo Diesel	20,2	74,1	35,5	m ³	2,63	3,16	0,0032	L

Fonte: Costa, 2012. (Adaptado). A: conteúdo de carbono, em tC/TJ; B: fator FE, em tCO₂/TJ; C: fator de conversão, em TJ/(D); D: unidade de medida; E: fator FE, em tCO₂/(D); F: fator FEC, em tCO₂/(D); G: fator FEC, em tCO₂/(H); I: unidade de medida.

Tabela 35: Consumo de combustível no transporte rodoviário de carga

Identificação	Leves (3,5t –7t)	Médios (9t – 13t)	Semipesados (17t – 26t)	Pesados (até 45t)	Extrapesados (acima de 45t)
Mercedes-Benz (km/l)	5,8	3,5	3,4	3,3	2,2
Ford (km/l)	5,9	4,4	3,3	3,2	2,6
General Motors (km/l)	5,0	5,3	3,1	2,8	-
Scania (km/l)	-	-	-	2,9	2,2
Volkswagen (km/l)	5,3	4,0	3,5	3,1	2,6
Volvo (km/l)	-	-	-	-	2,2
Médio (km/l)	5,6	3,6	3,4	3,3	2,2
Médio (l/t/km)	0,0446	0,0347	0,0196	0,0121	0,0114

Fonte: Costa, 2012.