

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JULIANA MOREIRA DA SILVA

REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA PELA ADOÇÃO DE
REQUISITOS DA CERTIFICAÇÃO LEED

CURITIBA

2015

JULIANA MOREIRA DA SILVA

REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA PELA ADOÇÃO DE
REQUISITOS DA CERTIFICAÇÃO LEED

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de especialização em projetos sustentáveis, mudanças climáticas e gestão corporativa de carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. M.Sc. José de Almendra Freitas Jr.

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

Aos Professores José de Almendra Freitas Jr, Carlos Roberto Sanquetta, Greyce C. B. Maas pelas contribuições e sugestões no trabalho.

À construtora que cedeu os dados ao trabalho prontamente.

Aos colegas de turma, por estarem sempre prontos a ajudar, contribuindo e incentivando.

O agradecimento especial aos meus pais, que sempre estiveram presentes no processo de elaboração deste trabalho, nos bons e maus momentos.

Sumário

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 8 |
| 2.1 | Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil | 8 |
| 2.2 | Emissões na Construção Civil | 9 |
| 2.2.1 | Cimento | 10 |
| 2.2.2 | Agregados: Areia e Brita | 10 |
| 2.2.3 | Aço | 11 |
| 2.3 | Vedação Prediais | 11 |
| 2.3.1 | Alvenaria de Vedação Vertical Interna com Bloco de Concreto | 12 |
| 2.3.2 | Vedação Vertical em <i>Drywall</i> | 12 |
| 2.4 | Dióxido de Carbono Equivalente (CO ₂ e) | 12 |
| 2.5 | Construções Sustentáveis | 13 |
| 2.5.1 | Certificação LEED | 13 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 14 |
| 3.1 | Fatores de Emissão | 14 |
| 3.2 | Cálculos de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa | 16 |
| 3.2.1 | Cálculo de Emissões e Reduções dos Materiais de Construção | 16 |
| 3.2.2 | Cálculo de Emissão e Redução do Consumo de Combustíveis Fósseis | 17 |
| 3.2.3 | Cálculo de Redução de Emissão dos Resíduos Sólidos | 17 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 19 |
| 4.1 | Parâmetros LEED de Contribuição para Redução de Emissões de GEE | 19 |
| 4.1.1 | Espaço Sustentável | 21 |
| 4.1.1.1 | Remediação de Áreas Contaminadas | 21 |
| 4.1.1.2 | Transporte Alternativo | 21 |
| 4.1.1.3 | Projetos para Águas Pluviais | 21 |
| 4.1.1.4 | Redução da Ilha de Calor | 22 |
| 4.1.1.5 | Redução da Poluição Luminosa | 22 |
| 4.1.2 | Uso Racional da Água | 23 |
| 4.1.3 | Energia e Atmosfera | 23 |
| 4.1.4 | Materiais e Recursos | 24 |
| 4.1.4.1 | Depósito de Coleta de Materiais Recicláveis | 24 |
| 4.1.4.2 | Gestão de Resíduos da Construção | 24 |
| 4.1.4.3 | Reuso do Edifício | 25 |
| 4.1.4.4 | Reuso de Materiais | 26 |
| 4.1.4.5 | Materiais Regionais | 27 |
| 4.1.4.6 | Conteúdo Reciclado | 27 |
| 4.1.4.7 | Materiais de Rápida Renovação | 28 |
| 4.1.5 | Qualidade Ambiental Interna | 28 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.1.5.1 | Aumento da Ventilação..... | 28 |
| 4.1.5.2 | Controle de Sistemas..... | 28 |
| 4.1.5.3 | Iluminação Natural e Paisagens..... | 29 |
| 4.1.6 | Inovação e Processo do Projeto | 29 |
| 4.1.6.1 | Inovação no Projeto | 29 |
| 4.1.7 | Créditos Regionais | 30 |
| 4.2 | Redução de Emissões de CO ₂ em Obra com Certificação LEED..... | 30 |
| 4.2.1 | Redução de Emissões dos Materiais de Construção | 30 |
| 4.2.1.1 | Redução de Emissão Conteúdo Reciclado..... | 30 |
| 4.2.2 | Redução de Emissões do Consumo de Combustíveis Fósseis..... | 32 |
| 4.2.2.1 | Redução de Emissão Materiais Regionais..... | 32 |
| 4.2.2.2 | Redução de Emissão pelo Transporte de Funcionários | 33 |
| 4.2.3 | Redução de Emissões da Geração de Resíduos | 34 |
| 4.3 | Redução de Emissões de CO ₂ | 35 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 36 |
| 6 | REFERÊNCIAS | 36 |

REDUÇÕES DE EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA PELA ADOÇÃO DE REQUISITOS DA CERTIFICAÇÃO LEED

Juliana Moreira da Silva
Orientador: Prof. M. Sc. José de Almendra Freitas Jr

Engenheiro Ambiental, Especialista, Rua Manoel Zeferino Teixeira, 353, São João - Itajaí- SC, juliana.moreiradasilva@gmail.com, (047) 97903900.

RESUMO

As emissões de gases de efeito estufa provenientes da construção civil ocorrem na extração de matérias-primas, nos processos de fabricação dos materiais, na energia dispendida durante o ciclo de vida da construção, operação e manutenção da obra, na disposição final dos resíduos e no transporte de materiais. Este trabalho objetivou identificar os requisitos da certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) que resultam em redução de emissões de gases de efeito estufa, utilizando como base o estudo de caso de uma obra em Belo Horizonte a qual atende os critérios da certificação. Foram analisados os manuais da certificação LEED New Construction & Major Renovation (Novas Construções & Grandes Renovações) e LEED Core & Shell (Envoltória e Estrutura Principal). A certificação LEED apresenta redução de emissões em todos as dimensões avaliadas (áreas), a partir da compensação dos estoques de carbono, redução no consumo de água e energia, reaproveitamento de resíduos recicláveis e redução de extração e processamento de matéria-prima finita, além de otimizar as escolhas de materiais eco eficientes. As reduções obtidas para todos os parâmetros analisados na fase de construção foram significativamente elevadas, sendo que as reduções totais de emissões pelo uso de materiais com conteúdo reciclável foram de 4.679,18 tCO₂e em relação a emissão de 8.066,23 tCO₂e.

Palavras-Chave: Construções Sustentáveis, Certificação LEED, Mudanças Climáticas

ABSTRACT

Greenhouse gas emissions from the construction industry occur during the extraction of raw materials, from the manufacturing process of materials, from the energy released during the life cycle of the execution, operation, and maintenance of the construction work, on final disposal of the residues and during the transportation of materials. This project aimed to identify the requirements for LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) certification due to the reduction of greenhouse gas emissions, based on the case study of a construction site in Belo Horizonte, which met the certification criteria. Two guides to LEED certification were analyzed, namely LEED for New Construction and Major Renovation, and LEED for Core and Shell. The LEED certification was granted for reduction of greenhouse gas emissions in all areas evaluated, due to carbon compensation, reduction of potable water and energy consumption, the reuse of recyclable waste, and reduced extraction and processing of finite raw materials, besides optimizing the selection of eco-efficient materials. The reductions in all parameters analyzed on the construction phase were substantially higher, with total greenhouse emission reduction of 4,679.18 tCO₂e due to the use of materials with recyclable components, in relation to the emission of 8,066.23 tCO₂e.

Keywords: Sustainable buildings, LEED certification, climate changes

1 INTRODUÇÃO

As mudanças globais do clima estão ocorrendo devido ao aumento de emissões de gases de efeito estufa, o dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos, hexafluoreto de enxofre e os chamados gases de efeito estufa indiretos, os óxidos de nitrogênio, o monóxido de carbono e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NOAA, 2015).

Segundo o quinto relatório do IPCC (2014), as mudanças climáticas estão afetando o nível, a temperatura e a acidez dos oceanos; a extensão e espessura do gelo nos polos e a disponibilidade de água no planeta. Para diminuir este processo é preciso reduzir drasticamente as emissões de GEE sob o risco de chegarmos ao final deste século com aumento médio da temperatura do planeta em até 5,8 °C (40% maior do que no início do século passado).

Nesse contexto, a construção civil detém globalmente 40% do consumo anual de energia e até 30% da emissão de todos os gases de efeito estufa (GEE) relacionados com o consumo de energia (UNEP,2011). O setor da construção também foi identificado como o que fornece o maior potencial para obter reduções significativas nas emissões de GEE (UNEP, 2011). Coletivamente, o setor da construção é responsável por um terço do consumo de recursos da humanidade incluindo 12% de todo o consumo de água doce, e pela produção de até 40% dos nossos resíduos sólidos (UNEP, 2011).

As emissões de gases de efeito estufa provenientes da construção civil ocorrem durante a extração de matérias-primas, nos processos de fabricação dos materiais, energia dispendida durante o ciclo de vida da obra, operação e manutenção da obra, e na disposição final dos resíduos e do transporte de materiais (BESSA, 2010).

A sustentabilidade na construção civil é importante para a preservação dos recursos naturais. Dessa forma as certificações ambientais atribuem credibilidade a esse pressuposto. No Brasil, dentre as certificações existentes estão: LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), concedido pelo *Green Building Council* (GBC), o HQE (*Haute Qualité Environnementale*) órgão Certivéa, entre outros.

As emissões de gases de efeito estufa tem sido uma questão de grande importância mundial, levando a cobrança em todos os setores industriais, sendo a o setor da construção civil responsável por um terço dessas emissões (MARCOS, 2009). Frente a isso os meios para se obter reduções de emissões são de grande relevância para esse setor.

O objetivo deste trabalho foi avaliar quais dos requisitos da certificação de edificações LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*), contribuem para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, utilizando como base o estudo de caso de uma obra localizada em Belo Horizonte a qual atende os critérios da certificação.

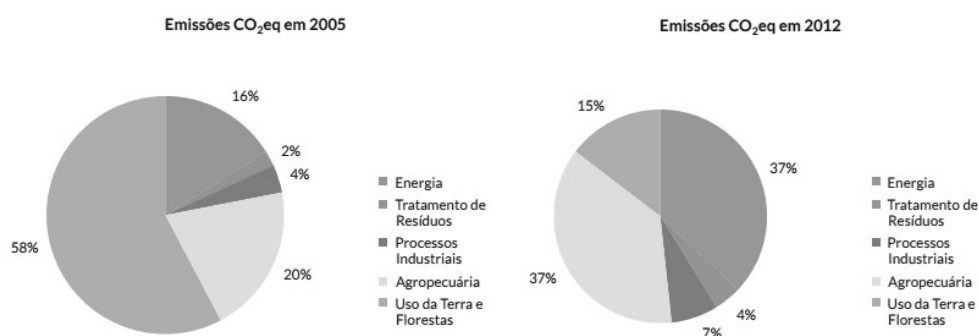
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os cenários pressupostos das mudanças climáticas apontam alterações de temperatura média acima de 2°C, incluindo grandes desequilíbrios em ecossistemas fundamentais para a sobrevivência da humanidade. Na medida do aquecimento do planeta, os padrões de chuva e temperatura mudam e eventos climáticos extremos como secas, chuvas intensas, podem gerar inundações, ondas de frio e de calor se tornam mais frequentes, com impactos importantes em todas as regiões do planeta (PBMC, 2013).

2.1 Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil

O relatório das estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa brasileiras destaca as variações para cada setor entre os anos de 2005 a 2012 (Figura 1).

Figura1. Variação da participação nas emissões para cada setor, de 2005 para 2012



Fonte: MCT (2014).

2.2 Emissões na Construção Civil

Na construção civil, a produção de cimento é o responsável por 2% (SOARES, 1998), a 7% (TOLEDO FILHO; REGO, 2002) das emissões de CO₂ totais no mundo. Nas obras civis o concreto é o componente mais utilizado, consiste no material mais consumido pela humanidade após a água (ISAIA e GASTALDINI, 2004). Em relação ao consumo de energia, as emissões de CO₂ da indústria de construção civil corresponde, nas cidades europeias, a aproximadamente 30% do total de emissões (PRESCO *apud* BARBOSA *et al*, 2003).

Os processos de produção/obtenção dos materiais utilizados na construção civil, são importantes emissores de gases causadores do efeito estufa, sendo estes o cimento, cal, aço e ferro, areia e brita (retirada e transporte), cerâmica vermelha, além da queima de combustíveis fósseis e transporte (BRIBÁN e CAPILLA, 2011).

Nas estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa brasileiras, observam-se as emissões na construção civil resultantes dos processos industriais, conforme tabela 1. Verifica-se um significativo aumento das emissões ao longo dos anos.

Tabela 1. Contribuição dos subsetores para as emissões do setor Processos Industriais no Brasil

| SETOR PROCESSOS INDUSTRIAIS | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2011 | 2012 |
|------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Gg CO ₂ e | | | | | |
| Produção de Cimento | 11.062 | 11.528 | 16.047 | 14.349 | 22.493 | 25.309 |
| Produção de Cal | 3.688 | 4.104 | 5.008 | 5.356 | 6.337 | 6.403 |
| Outros Usos do Calcário e Dolomita | 1.630 | 1.728 | 1.756 | 1.815 | 3.309 | 3.321 |
| Produção de Ferro-gusa e Aço | 24.756 | 30.686 | 35.437 | 38.283 | 40.590 | 36.655 |
| Produção de Alumínio | 3.781 | 4.197 | 3.176 | 3.373 | 3.115 | 3.126 |

Fonte: MCT (2014).

2.2.1 Cimento

A produção de cimento Portland, é a causadora de aproximadamente 7% das emissões mundiais de CO₂ para a atmosfera, emitidos devido a descarbonatação do calcário e o consumo de combustíveis fósseis (MEHTA, 2001). Segundo Soares (1998) a indústria do cimento consumiu cerca de 4,4% da energia do setor industrial e constitui-se em um dos grandes contribuintes às emissões de CO₂.

Em média para a produção de cada tonelada de cimento, é lançada 0,6 tonelada de CO₂ no ar. Somente no Brasil, com uma produção anual de 38 milhões de toneladas de cimento Portland (comum), liberam-se para a atmosfera aproximadamente 22,8 milhões de toneladas/ano de gás carbônico (TOLEDO, 2004).

2.2.2 Agregados: Areia e Brita

A produção dos agregados emite CO₂ durante as fases de extração, do transporte, e nas operações dentro da central de britagem (ou central de beneficiamento). Utiliza-se óleo diesel nas máquinas de extração, nos caminhões de transporte em alguns equipamentos da central de britagem e no beneficiamento de areia natural. Estes equipamentos das centrais também utilizam energia elétrica (MEHTA, 2006; COSTA, 2012).

2.2.3 Aço

O aço é utilizado na construção civil, principalmente para as estruturas ou nas esquadrias. O aço é obtido através de processos siderúrgicos nos quais o minério de ferro é acrescido de carbono em quantidades pré-estabelecidas para obter a resistência mecânica desejada. O ferro é encontrado na natureza em forma de óxido. A magnetita (Fe_3O_4), possui 72% de Ferro e a hematita (Fe_2O_3) possui 70%. A hematita é o minério mais empregado no Brasil (ALVES, 1987) e as principais jazidas se localizam no Estado de Minas Gerais.

A primeira etapa da produção de aço é a obtenção do ferro-gusa a partir dos minérios nos equipamentos chamados de altos-fornos. Nestes fornos se utiliza como combustível o coque de carvão mineral ou carvão de madeira. Nestes fornos também se utilizam cástinas como redutores de pH e fundente. A queima dos combustíveis e a descarbonatação das cástinas emitem CO_2 . Após esta etapa nos equipamentos chamados de conversores se precede a redução do teor de carbono no ferro-gusa até a obtenção do aço. Esta operação é feita com a injeção de oxigênio, provocando a combustão de quase todo o carbono que ficou solubilizado no ferro-gusa. Essa reação também é emissora de CO_2 (WSA, 2011).

2.3 Vedação Prediais

A vedação como um sistema está associado ao cumprimento dos requisitos de desempenho: segurança estrutural, isolamento térmica, isolamento acústica, estanqueidade, segurança ao fogo, estabilidade, durabilidade, estética e economia (FRANCO, 1998 *apud* OLIVEIRA, 2013).

Segundo SABBATINI (2003) as vedações verticais representam cerca de 35% a 60% do custo total do edifício. Conforme Barros (1998) através da racionalização da produção das alvenarias de vedação é possível reduzir os custos, aumentar a produtividade e reduzir os problemas patológicos.

A alvenaria de vedação constitui blocos ou tijolos unidos por juntas de argamassa, formando um conjunto monolítico de características próprias. Os elementos que formam a alvenaria de vedação possuem cada um, características próprias, porém são independentes, mas interagem entre si (TRAMONTIN, 2005).

Segundo Silva (2002), com a necessidade de novas técnicas para produção de vedação vertical em 1898 nos Estados Unidos, Augustine Sackett desenvolveu a chapa de gesso acartonado a qual revolucionou a construção civil devido ao aumento da produtividade. O uso do gesso na construção civil brasileira está crescendo continuamente e com maior intensidade desde meados dos anos 1990, quando o sistema *drywall* passou a ser utilizado nas vedações internas (paredes, forros e revestimentos) de todos os tipos de edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL, 2011).

2.3.1 Alvenaria de Vedação Vertical Interna com Bloco de Concreto

De acordo com a NBR 6136:2007, caracteriza-se o bloco vazado de concreto simples para alvenaria sem função estrutural o componente de alvenaria em concreto cuja área líquida for igual ou inferior a 75% da área bruta. Está enquadrado na Classe D, para uso em paredes acima do nível do solo.

2.3.2 Vedação Vertical em *Drywall*

Segundo COMAT (2012), o sistema *drywall* é utilizado na construção de paredes e forros de ambientes internos. Sendo um sistema composto por chapas de gesso, parafusadas em perfis de aço galvanizado, com alta resistência mecânica e acústica.

Para Maciel (1998), após a montagem das paredes de *drywall* a estrutura da edificação pode ser executada de maneira independente das vedações e instalações, o que aumenta a produtividade.

2.4 Dióxido de Carbono Equivalente (CO_{2e})

Dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}) é uma métrica utilizada para equalizar as emissões de vários gases de efeito estufa, com base no potencial de aquecimento global de cada gás. Para o cálculo do CO_{2e} são utilizadas conversões, baseadas no GWP (*Global Warming Potencial*) aprovados pelo IPCC (GHGP, 2012).

2.5 Construções Sustentáveis

Segundo CNI, CBIC (2012), a sustentabilidade na construção civil está em fase ainda de conscientização no Brasil. O setor busca avanços como: edifícios sustentáveis, consumo sustentável de recursos naturais, desenvolvimento de tecnologias e produtos que agredam menos o meio ambiente, incluindo a análise do ciclo de vida dos produtos e das obras; na gestão ambiental de resíduos nos canteiros de obras e educação ambiental.

Charles Kibert em seu livro (KIBERT, 2008) estabelece os seguintes princípios para a construção sustentável:

- Minimização do consumo de recursos;
- Maximização da reutilização de recursos;
- Reciclar materiais no fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
- Proteger os sistemas naturais e a sua função em todas as atividades;
- Eliminar os materiais tóxicos e os subprodutos em todas as fases do ciclo de vida;
- Desenvolver a qualidade do ambiente construído.

2.5.1 Certificação LEED

A certificação LEED é um sistema de certificação que especifica parâmetros de sustentabilidade permitindo uma avaliação dos ambientes construídos, analisando o projeto e a construção. Esta avaliação é determinada através do atendimento a pré-requisitos, que são itens obrigatórios, e de um sistema de pontuação, que avalia o quanto uma edificação é sustentável. Os pré-requisitos se dividem em sete áreas (SOUZA, 2012).

- Espaço Sustentável (*Sustainable Sites*);
- Eficiência no uso da água (*Water Efficiency*);
- Energia e Atmosfera (*Energy & Atmosphere*);
- Materiais e Recursos (*Materials & Resources*);

- Qualidade ambiental interna (*Indoor Environmental Quality*);
- Inovação e Processos (*Innovation & Design Process*);
- Créditos de Prioridade Regional (*Regional Priority Credits*).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o levantamento dos critérios que contribuem para a redução de emissões de gases de efeito estufa, foram analisados os manuais da certificação LEED *New Construction & Major Renovation* (Novas Construções & Grandes Renovações) 2005 e 2009 e LEED *Core & Shell* (Envoltória e Estrutura Principal) 2009. Realizou-se levantamento bibliográfico sobre o tema sustentabilidade na construção civil e reduções de emissões.

Em seguida, foram analisados os dados de uma obra no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. Essa obra possui 17 andares e aproximadamente 27.000 m², a qual pleiteava certificação LEED nível ouro, sistema de avaliação LEED *Core & Shell*. O empreendimento, obteve redução de 13% de consumo de energia, 52% de redução de uso de água em referência aos valores especificados pela certificação e cerca de 89% dos resíduos foram encaminhados a reciclagem ou reuso. A obra também atendeu ao sistema de gerenciamento ambiental da construtora.

Para os cálculos das emissões e reduções de emissões de GEE obtiveram-se dados quantitativos das planilhas de indicadores de materiais, indicadores de resíduos, referentes a certificação LEED, dados de materiais de construção e o indicador de atitudes sustentáveis da construtora.

3.1 Fatores de Emissão

Os cimentos utilizados no empreendimento abordados neste trabalho, foram os seguintes:

- Cimento Portland Composto com Escória (CP II-E);
- Cimento Portland Pozolânico (CP IV);
- Cimento Portland de Alto Forno (CP III);

- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI).

A Tabela 2, demonstra os fatores de emissão de cimento usados na construção civil.

Tabela 2. Fatores de emissão por Tipo de Cimento

| Tipo de Cimento | Adição | kgCO₂/tonelada |
|------------------------|---------------------|----------------------------------|
| CP II E | 40% Escória + Filer | 580 |
| CP IV | 40% Cinzas Volantes | 530 |
| CP III | 75% Escória | 290 |
| CPV ARI | 5% Filer | 860 |

Fonte: Freitas JR (2013)

Na Tabela 3, consta o fator de emissão aplicado para os cálculos de redução e emissões do concreto estrutural.

Tabela 3. Fator de emissão do Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II-Z), em função da resistência característica.

| Resistência | kgCO₂/m³ |
|--------------------|---------------------------------------|
| 35 Mpa | 260 |

Fonte: Freitas JR (2013)

Na Tabela 4, constam os valores dos fatores de emissão para os demais materiais de construção abordados neste trabalho.

Tabela 4. Fatores de emissão de materiais de construção.

| Materiais de Construção | CO_{2e} (g/kg) |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Aço | 3778 |
| Perfil de Alumínio | 2264 |

Fonte: VTT Technology (2013).

Para os cálculos de consumo de combustíveis fósseis, foi empregado o valor de fator de emissão para veículos a diesel, conforme Tabela 5.

Tabela 5. Fator de emissão combustível fósseis em kg CO₂/L.

| Combustível | Fator de Emissão (kgCO₂/L) |
|--------------------|--|
| Diesel | 2,671 |

Fonte: MMA (2011).

3.2 Cálculos de Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa

Para os cálculos de redução e emissões de GEE provenientes da fase de construção do empreendimento, utilizou-se a Metodologia GHG Protocol customizada para as características da indústria da construção civil e também como referência para os cálculos de redução de emissão, a NBR ISO 14064-2:2007.

3.2.1 Cálculo de Emissões e Reduções dos Materiais de Construção

Para o cálculo das emissões de CO₂e pelo uso de materiais de construção na obra, as quantidades levantadas de consumo de cada tipo de material foram multiplicadas por seus respectivos fatores de emissão, sendo realizadas as conversões de unidades quando necessárias.

Para a estimativa das reduções de emissões foram considerados os conteúdos reciclados dos materiais utilizados. O uso de material reciclado, conforme citado anteriormente, reduz os impactos resultantes da extração e processamento de matérias-primas virgens, contribuindo para evitar maiores emissões de gases de efeito estufa nos processos de produção dos materiais (GBC, 2009). Neste trabalho, as emissões correspondentes ao conteúdo reciclado de cada material foram consideradas nulas, devido à carência de dados sobre a real redução de emissão desses materiais.

3.2.2 Cálculo de Emissão e Redução do Consumo de Combustíveis Fósseis

Na certificação LEED é solicitado o uso de materiais regionais, com as distâncias da extração de até 800 Km. Dessa forma, para realização da obra esse requisito foi seguido, com o uso de materiais oriundos de distâncias bem inferiores a solicitada.

Para calcular as emissões em uma situação de não atendimento ao critério LEED, foi estimada uma distância de 1500 km entre o ponto de extração/venda de materiais e a obra. Para estimar as reduções nas emissões obtidas pelo atendimento ao critério, as emissões das distâncias reais percorridas para obtenção dos materiais foram calculadas. Foi considerado apenas um trajeto (uma viagem) para cada material utilizado.

Para os cálculos das emissões pelo consumo de combustíveis fósseis, usou-se a equação 1.

$$\text{Emissões} = (\text{km} / \text{km/l}) * \text{FEa} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que:

km = distância da extração;

km/L = quilometragem por litro para veículo adotado;

FEa = fator de emissão do combustível utilizado (kgCO₂/L);

Emissões = emissões de CO₂e (t).

A quilometragem por litro média adotada foi 3,17 km/L diesel, correspondente aos caminhões pesados, obtida no Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (2011).

3.2.3 Cálculo de Redução de Emissão dos Resíduos Sólidos

Dos resíduos sólidos gerados na obra, 89% foram encaminhados para reciclagem. Para metodologia GHG Protocol, as emissões CO₂ dos resíduos encaminhados a reciclagem são nulas. Para estimar as emissões de gases de efeito estufa caso esses resíduos fossem depositados em aterro sanitário foram

utilizadas as equações 2, 3 e 4 obtidas no Guia de Inventário de Emissões Nacionais do IPCC (2006).

$$\text{CODDm} = m * \text{COD} * \text{CODf} * \text{MCF} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que:

CODDm = massa de COD decomponível (t);

m = massa de resíduo (t);

COD = Carbono Orgânico Degradável (tC/t resíduo);

CODf = Carbono Orgânico que decompõe (adimensional);

MCF = Fator de correção CH₄ para a decomposição aeróbia no ano de deposição (adimensional).

$$\text{Lo} = \text{CODDm} * f * (16/12) \quad \text{Equação (3)}$$

Em que:

Lo = potencial de geração de metano (t);

CODDm = massa de COD decomponível (t);

f = fator de concentração de metano no gás do aterro sanitário;

16/12 = razão de conversão de carbono (C) a metano (CH₄).

$$\text{CH}_4 = [\text{Lo} - \text{Rt}] * (1 - \text{ox}) \quad \text{Equação (4)}$$

Em que:

CH₄ = emissões de metano no ano avaliado (t);

Lo = potencial de geração de metano (t);

Rt = metano recuperado no aterro;

ox = fator de oxidação.

Segundo IPCC (2006), as constantes de resíduos adotadas para os cálculos foram:

$$f = 0,5 \quad \text{ox} = 0 \quad \text{MCF} = 1 \quad \text{DOCf} = 0,5$$

Com relação a emissão por deposição de resíduos sólidos, os resíduos de construção e demolição são essencialmente inertes, mas podem conter carbono orgânico degradável (COD) em alguns materiais, como na madeira (IPCC, 2006).

Para o cálculo de redução de emissão dos resíduos foram utilizados os valores de COD estabelecidos pelo IPCC (2006) conforme consta na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de Carbono Orgânico Degradável para os Resíduos Sólidos gerados durante a obra

| Resíduos | COD % |
|-----------------------------|--------------|
| Entulho | 4 |
| Metais | - |
| Madeira | 43 |
| Gesso | - |
| Papel | 40 |
| Vidro | - |
| Entulho reutilizado na obra | 4 |

Fonte: IPCC (2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros LEED de Contribuição para Redução de Emissões de GEE

Na Tabela 7 a seguir constam, para cada dimensão avaliada, os parâmetros de avaliação que contribuem para a redução de emissão e de que forma as reduções são obtidas.

Tabela 7. Parâmetros de Avaliação de Certificação com potencial para a Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa.

| Dimensões Avaliadas | Parâmetros de Avaliação de Contribuição para Redução de Emissões de CO₂ | Redução de Emissões de GEE |
|---------------------------------------|---|---|
| Espaço Sustentável | Remediação de Áreas Contaminadas Transporte Alternativo | Estoques de Carbono Redução no Consumo de Combustíveis Fósseis Redução do Desmatamento |
| | Seleção do Terreno | |
| | Projeto para Água Pluviais | Redução pelo Consumo de Água, Geração de Estoques de Carbono Redução no Consumo de Energia |
| | Redução Ilhas de Calor (externo, interno) Redução de Poluição Luminosa | Redução no Consumo de Energia |
| Uso Racional da Água | Redução no Uso de Água Uso Eficiente de Água no Paisagismo | |
| | Tecnologias Inovadoras para Águas Servidas | Redução no Consumo de Água |
| | | |
| Energia e Atmosfera | Comissionamento do Sistema de Energia Performance Mínima de Energia Geração local de Energia Renovável Melhoria no Comissionamento | Redução no Consumo de Energia |
| | Medições e Verificações Energia Verde | |
| Materiais e Recursos | Deposito de Coleta de Materiais Recicláveis Reuso do Edifício | Reaproveitamento de Resíduos Recicláveis Redução de Extração e Processamento de Matéria Prima Finita |
| | Gestão de Resíduos da Construção | Reaproveitamento de Resíduos Recicláveis |
| | Reuso de Materiais | Redução de Extração e Processamento de Matéria Prima Finita |
| | Conteúdo Reciclado | Redução de Extração de Matéria Prima Finita |
| | Materiais Regionais | Redução no Consumo de Combustíveis Fósseis |
| | Materiais de Rápida Renovação Madeira Certificada | Redução de Extração de Matéria Prima Finita Estoques de Carbono, Redução de Extração e Processamento de Matéria Prima Finita |
| Qualidade Ambiental Interna | Aumento da Ventilação Controle de Sistemas (Iluminação, Conforto Térmico) Conforto Térmico (Projeto, Verificação) | Redução no Consumo de Energia, Redução de Extração e Processamento de Matéria Prima Finita. |
| | Iluminação Natural e Paisagens | |
| Inovação e Processo do Projeto | Inovação no Projeto | Redução no Consumo de Água e Energia |
| Créditos Regionais | Prioridades Regionais | Redução no Consumo de Combustíveis Fósseis |

Fonte: o Autor

A seguir são detalhados os critérios que contribuem para a redução de emissões dentro das dimensões avaliadas da certificação LEED.

4.1.1 Espaço Sustentável

4.1.1.1 Remediação de Áreas Contaminadas

Neste crédito deve-se recuperar as áreas degradadas pelo empreendimento, como a retirada de vegetação, com plantio de espécies nativas (GBC, 2009), compensando os impactos ambientais gerados pelo empreendimento e gerando estoques de carbono.

4.1.1.2 Transporte Alternativo

Neste crédito o transporte público deve estar a 400 m de dois pontos de ônibus e ou 800 m de uma estação de transportes sobre trilhos; ter bicicletário e vestiário para os ocupantes. Também é preconizado o uso de veículo com baixa emissão e baixo consumo de combustíveis, sendo selecionado 5% do estacionamento para estes veículos. A área de estacionamento é calculada de acordo com zoneamento local, a fim de minimizar o tamanho do lote de estacionamento/garagem. Também preconiza a partilha de instalações do estacionamento, com edifícios adjacentes e uso de alternativas para limitar a utilização de veículos de ocupação individual, como carona solidária entre outros (GBC, 2009)

Neste crédito, as emissões de gases de efeito estufa são reduzidas pelo transporte dos funcionários ao empreendimento, através da redução de consumo de combustíveis fósseis.

4.1.1.3 Projetos para Águas Pluviais

Os projetos para águas pluviais obstinam-se a limitar o rompimento da hidrologia natural, diminuindo a cobertura impermeável, aumentando a infiltração no solo do local, reduzindo ou eliminando a poluição proveniente de escoamento de águas pluviais e eliminando contaminantes. Especifica-se na certificação os

telhados verdes (eco telhados); abordagens e tecnologias de gerenciamento de infraestrutura verde de infiltração, evapotranspiração; captação e reutilização de águas pluviais para fins não potáveis, como irrigação paisagística, ou o uso nos vasos sanitários e mictórios (GBC, 2009).

Em consequência, contribui para reduções de emissões devido a evitar o desperdício e auxiliar no menor volume de captação de água e eliminação, para os tratamentos de água e efluente, os quais emitem GEE, detalhado no item 4.1.2.

4.1.1.4 Redução da Ilha de Calor

Para a redução do efeito de ilha de calor, segundo GBC (2009) deve-se instalar os telhados verdes, os quais sequestram carbono da atmosfera; o uso de material refletivo nos telhados; ventilação natural; a escolha criteriosa de materiais, como os de baixa condutibilidade térmica, caso da madeira, gesso, vidros, poliestireno expandido, lã de rocha, entre outros; e integrar o estudo do ambiente com os restantes dos projetos: de iluminação natural e outras estratégias de comportamento solar passivo (AVAC) (MATEUS, 2004).

Neste item evita-se o aquecimento das construções, mantendo o conforto térmico do empreendimento, contribuindo para a redução do consumo de energia e consequente redução de emissão GEE, além da possibilidade de sequestro de carbono dos telhados verdes.

4.1.1.5 Redução da Poluição Luminosa

A redução da poluição luminosa adota critérios de iluminação local, nos projetos de iluminação noturna, não devendo exceder o índice de 20% de iluminação do edifício, com as luzes apagadas, para não interferir na iluminação local no entorno do empreendimento; e o uso de tecnologias para reduzir a poluição luminosa, os quais incluem luminárias de baixa refletância nas superfícies, sensor de presença, holofotes de baixo ângulo, entre outros (GBC, 2005).

Neste caso o consumo de energia diminui, ocorrendo redução de emissões de gases de efeito estufa, como detalhado no item 4.1.3.

4.1.2 Uso Racional da Água

O uso racional da água possui o intuito de diminuir o consumo de água pelo empreendimento, melhorando a eficiência do sistema. O uso eficiente de água no paisagismo, busca eliminar o uso de água potável, utilizando de outros recursos de captação de águas superficiais naturais ou sub superficiais disponíveis sobre ou perto do local do projeto.

Para a redução do uso de água, maximiza-se a eficiência no interior dos edifícios para reduzir a carga sobre o abastecimento de água municipal e águas residuais.

As tecnologias inovadoras de águas servidas, devem reduzir o uso de água potável para a construção eliminada nos esgotos em 50%, através do uso de equipamentos de conservação de água, captação de água da chuva, sistema para reciclar águas, e uso de águas residuais tratadas no local ou municipal; ou então tratar 50% de água residuais para uso no local ou infiltração (GBC,2005).

Dessa forma, a sobrecarga dos sistemas de água e esgoto da concessionária é reduzida, e o uso com eficiência da água permite que se reduza o consumo evitando a captação e tratamento desse recurso, contribuindo para evitar emissões gases de efeito estufa, devido aos processos de energia gastos para o tratamento e captação (RODRIGUES, 2007).

4.1.3 Energia e Atmosfera

No desempenho energético do empreendimento segundo GBC (2009), busca-se o consumo mínimo de energia. No Brasil utiliza-se o selo de eficiência energética PBE Edifica, concedido para edifícios que cumprem os mais elevados níveis de eficiência energética em três categorias: Iluminação, Envoltória e HVAC (condicionamento de ar).

A certificação LEED aprova os empreendimentos que receberem pontuação A para cada categoria do selo PBE Edifica, de modo que, posteriormente, seja feito o comissionamento do sistema de energia e as devidas melhorias neste, se necessário ou desejado, após as medições e verificações.

Um edifício certificado deve prover a utilização de energia renovável seguindo os critérios de certificação de selo de energia renovável, com a implantação e utilização de, no mínimo, 35% de energia verde no empreendimento (GBC, 2009).

Segundo Mateus (2004), os processos produtivos de energia elétrica apresentam elevado impacto ambiental, devido à grande quantidade de gases poluentes emitidos, portanto deve-se reduzir ao máximo o seu consumo. O uso contínuo de energia constitui provavelmente ao maior impacto ambiental dos edifícios, portanto deve-se constituir a prioridade principal de projetos de edifícios. No Brasil 85,5% (MME, 2008 *apud* ANEEL, 2008) da energia consumida, consiste de fonte considerada limpa, as hidrelétricas.

Neste requisito, as reduções de emissão de gases de efeito estufa ocorrem devido à redução do consumo de energia. As emissões geradas pelo setor de energia aumentam a cada ano, e as estimativas apontam aumento de 168.942 tCO₂e no ano de 1990 para 417.221 tCO₂e em 2012 (MCT, 2014).

4.1.4 Materiais e Recursos

4.1.4.1 Depósito de Coleta de Materiais Recicláveis

Neste crédito deve-se implantar coletores de resíduos, com a intenção de separar os resíduos recicláveis e destina-los aos depósitos de coleta no local, para o uso dos ocupantes do edifício (GBC, 2009). Estas medidas também são previstas pela Resolução CONAMA 275/2001 que indica a segregação dos resíduos, e a coleta seletiva, reduzindo emissões pelo encaminhamento dos resíduos a reciclagem, onde serão recuperados.

4.1.4.2 Gestão de Resíduos da Construção

O empreendimento deve destinar, pelo menos, 50% dos resíduos ao reuso/reciclagem, na etapa da obra, evitando o destino destes para aterros sanitários, e incineradores; desenvolvendo e implementando um plano de gestão de resíduos da construção civil (GBC, 2009).

A legislação brasileira, lei nº 12.305/2010 Política Nacional de Resíduos Sólidos, propõe a destinação adequada dos resíduos, a Resolução CONAMA 275/ 2001 indica a segregação dos resíduos, coleta seletiva, a Resolução CONAMA 307/2002 solicita o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção, indicando que os resíduos devem ser destinados corretamente. Sendo os resíduos encaminhados a reciclagem os mesmos especificados pela certificação.

Segundo o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2013) a geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2013 foi de 76.387.200 toneladas, registrando um percentual elevado de 42% de resíduos que ainda são encaminhados para destinos inadequados. Os municípios coletaram mais de 117 mil toneladas/dia de resíduos de construção e demolição (RCD) em 2013, sendo coletados apenas os resíduos lançados nos logradouros públicos, assim não sendo possível obter dados abrangentes da gestão desses resíduos. Segundo Torgal e Jalali (2007), a taxa média de reciclagem de RCD na Europa é de 50%, já na Dinamarca a taxa de reciclagem de resíduos da construção é de cerca de 89%, muito por força da imposição das taxas de deposição e de extração de recursos não renováveis.

O encaminhamento dos resíduos a reciclagem, podem levar os mesmos a serem incorporados em materiais de construção ou para processamento de matérias-primas em outras indústrias. Assim, evidencia-se que a destinação dos resíduos a reciclagem permite a redução de emissões que ocorreriam nos aterros sanitários e também por evitar as emissões da extração e fabricação de novos materiais, como por exemplo a incorporação de resíduos de construção, como matéria-prima na fabricação de concreto.

4.1.4.3 Reuso do Edifício

Os projetos de construção devem visar o desmonte e reuso do edifício, com a finalidade de desenvolver no mercado o costume da responsabilidade em reformas e remodelagens estruturais, as quais são grandes geradoras de resíduos na construção civil. Neste item promove-se a diminuição de energia

necessária para o reuso, utilizando de projetos modulares e sistemas desmontáveis.

Para este crédito, a desmontagem dos componentes deste sistema não deverá gerar novos resíduos como, por exemplo, a fixação de estruturas metálicas parafusadas e não soldadas; esquadrias fixadas com parafusos ao invés de chumbadas; estruturas de concreto pré-moldadas ou pré-fabricadas, paredes de drywall; fachadas construídas com elementos removíveis. O uso de materiais com maior durabilidade, possuem o objetivo de reduzir reparos durante a vida útil do empreendimento (GBC, 2009). Mateus (2004) descreve que materiais duráveis minimizam o uso de recursos e energia para a produção de resíduos. Quanto maior for a durabilidade de um material, maior será a sua vida útil e conseqüentemente menor será o seu impacto ambiental (TORGAL & JALALI, 2007).

Dessa forma facilita-se o uso de alternativas de alvenarias de vedação, caso de esquadrias de vidro, gesso, EPS, placas pré-moldadas as quais substituem o uso do concreto, blocos de concreto, blocos cerâmicos os maiores emissores de gases de efeito estufa.

4.1.4.4 Reuso de Materiais

Para este crédito a intenção é reutilizar os materiais e produtos de construção, a fim de reduzir a procura de matérias-primas virgens e para reduzir o desperdício, assim, diminuir os impactos associados à extração e processamento de recursos. A certificação LEED preconiza o uso de materiais recuperados, renovados ou reutilizados de modo que a soma destes materiais constitua, pelo menos, 5%, baseado no custo, do valor total dos materiais do projeto (GBC, 2005).

É preferível dar maior ênfase, na seleção dos materiais, à sua capacidade de reutilização e reciclagem em detrimento da energia incorporada na produção do material. Quanto mais vezes se usar um material ou componente, mais baixo será o custo de energia incorporada, pois este acaba por ser amortizado a cada uso do material (MATEUS, 2004).

4.1.4.5 Materiais Regionais

Os materiais de construção regionais, devem ser extraídos ou recuperados bem como fabricados, a uma distância de até 800 km do local do projeto para um mínimo de 10% ou 20%, com base no custo total dos produtos (GBC, 2009),

O transporte dos materiais de construção implica custos econômicos e ambientais, uso de energia e emissão de gases poluentes. Deve-se preferir os materiais produzidos na região (MATEUS, 2004). As emissões para veículos rodoviários brasileiras aumentam ao longo dos anos, no ano de 2010 5719 (mil t/ano) para caminhões médios, e de 50742 (mil t/ano) para caminhões pesados, com estimativas no aumento das emissões (MMA, 2011). Desta forma, reduzindo impactos ambientais resultantes do transporte, como as emissões de gases de efeito estufa pelo consumo de combustíveis fósseis, contribuindo, para a redução de emissão do empreendimento.

4.1.4.6 Conteúdo Reciclado

A intenção deste crédito é aumentar a procura de produtos de construção que incorporam materiais de conteúdo reciclado, 10% ou 20%, com base no custo total dos produtos, com intuito de reduzir os impactos resultantes da extração e processamento de matérias-primas virgens, contribuindo para evitar maiores emissões de gases de efeito estufa nos processos de produção dos materiais (GBC, 2009).

De acordo com alguns pesquisadores, a forma mais eficiente para a indústria da construção se tornar uma atividade sustentável passa pela incorporação de resíduos de outras indústrias em materiais de construção (METHA *apud* TORGAL & JALALI 2007).

Os materiais de construção fabricados a partir de matérias reciclados participam na mitigação dos problemas relacionados com os resíduos sólidos, diminuição dos consumos energéticos na fase de transformação, e contribuem para a preservação dos recursos naturais (MATEUS, 2004), colaborando para a redução de emissões de GEE evitando a extração e processamento de matéria prima finita, especialmente de materiais com elevada emissão para o setor da construção civil como o cimento e o concreto.

4.1.4.7 Materiais de Rápida Renovação

O uso de materiais renováveis visa reduzir o esgotamento de matérias primas finitas e de ciclo longo. A certificação especifica o uso de materiais de construção rapidamente renováveis para 2,5% do valor total de todos os materiais de construção e produtos usados no projeto, como madeira, entre outros (GBC, 2009).

A utilização de materiais provenientes de fontes renováveis contribui inequivocamente para a sustentabilidade da indústria da construção. Neste grupo podem incluir-se materiais como a madeira, ou o bambu, desde que o ritmo de renovação destas espécies seja superior ao ritmo do seu consumo pela indústria da construção. (LUGT e GERILLA *apud* TORGAL e JALALI, 2007).

Desta forma, é evitado o uso de materiais com elevada emissão de GEE, dos processos de extração e fabricação de matérias primas finitas, contribuindo para a redução de emissão de GEE no setor de construção civil.

4.1.5 Qualidade Ambiental Interna

4.1.5.1 Aumento da Ventilação

Neste crédito estabelece-se a ventilação de ar externa adicional, para melhorar a qualidade do ar interior e o conforto dos ocupantes, proporcionando bem-estar e produtividade (GBC, 2005). Os projetos de sistemas de ventilação natural para espaços ocupados devem atender normas internacionais. A ventilação natural proporciona redução no consumo de energia do edifício, assim reduzindo emissões de GEE.

4.1.5.2 Controle de Sistemas

Para esse crédito estabelece-se um alto nível de controle de sistema de iluminação por ocupante ou grupo para promover a produtividade, conforto e bem-estar dos ocupantes do edifício.

No sistema de conforto térmico, especifica-se controles de conforto individuais, e grupo, permitindo ajustes para adequar-se as necessidades e

preferências das tarefas dos indivíduos e grupos, descritos pela norma ASHRAE 55-2004. Este crédito proporciona a diminuição do consumo de energia, reduzindo emissões de gases de efeito estufa.

4.1.5.3 Iluminação Natural e Paisagens

Neste crédito estabelece-se aos ocupantes do edifício uma conexão entre espaços interiores e ao ar livre, através da introdução da luz do dia e vistas para as áreas normalmente ocupadas do edifício. Assim projetando o edifício para maximizar a luz natural interior, onde as estratégias a serem considerados nos edifícios incluem orientação, placas de piso raso, o aumento do perímetro edifício, permanentes proteções solares interior e exterior, vidros de alta performance e controles baseados em fotocélulas automáticas.

Para as vistas as estratégias a serem considerados incluem menores separações no ambiente (paredes), dispositivos de sombreamento interiores, vidros interior e controles baseados em fotocélulas automáticas (GBC, 2005).

Esse requisito contribui para a redução no consumo de energia, reduzindo as emissões de GEE, pois prioriza a luz natural, e também o uso de alternativas de alvenarias de vedação com o uso de materiais menos emissores, como gesso, entre outros, substituindo as alvenarias convencionais de bloco de concreto ou blocos cerâmicos.

4.1.6 Inovação e Processo do Projeto

4.1.6.1 Inovação no Projeto

Esse crédito fornece as equipes de design e projeto a oportunidade de ser premiado com pontos na certificação, para um desempenho excepcional acima dos requisitos estabelecidos pela certificação LEED ou inovador desempenho em categorias de edifícios verdes. Desse modo o desempenho de novas construções é melhorado, tais como, maior desempenho da eficiência energética ou de

consumo de água, aplicando estratégias ou medidas que demonstrem uma abordagem abrangente e quantificável do ambiente e/ou de saúde dos usuários (GBC, 2005).

As reduções de emissões de gases de efeito estufa ocorrem, pois, a eficiência nos processos de consumo de energia e água, conduz a menor necessidade de geração de energia ou captação de água e tratamento de efluentes.

4.1.7 Créditos Regionais

Os créditos regionais segundo GBC (2009), contemplam os projetos que utilizarem materiais e produtos fabricados no entorno do empreendimento, de modo a procurar e desenvolver economicamente a região próxima à obra, incentivando o uso de materiais e equipamentos produzidos em um raio de até 200 km.

Nesse caso são evitadas as emissões por transportes, diminuindo o consumo de combustíveis fósseis, portanto, reduzindo emissões de gases de efeito estufa do empreendimento.

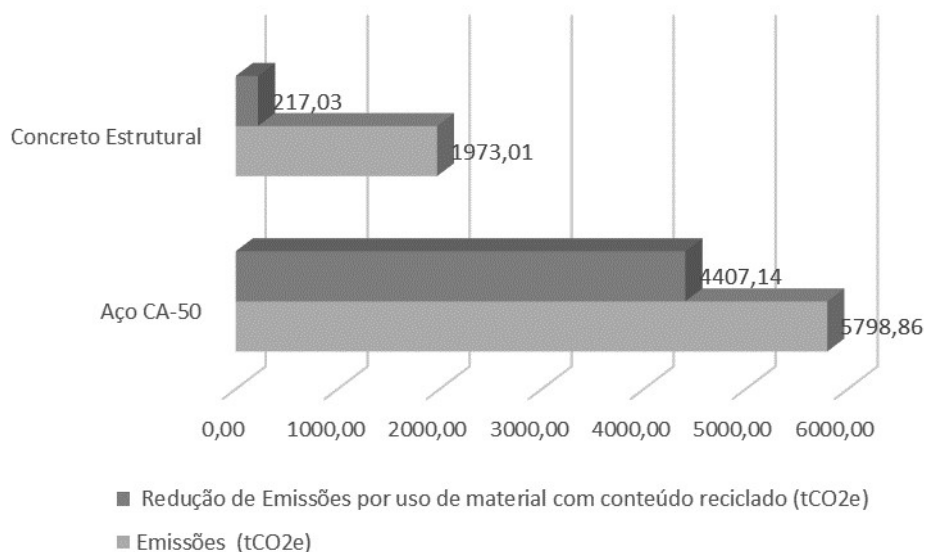
4.2 Redução de Emissões de CO₂ em Obra com Certificação LEED

4.2.1 Redução de Emissões dos Materiais de Construção

4.2.1.1 Redução de Emissão Conteúdo Reciclado

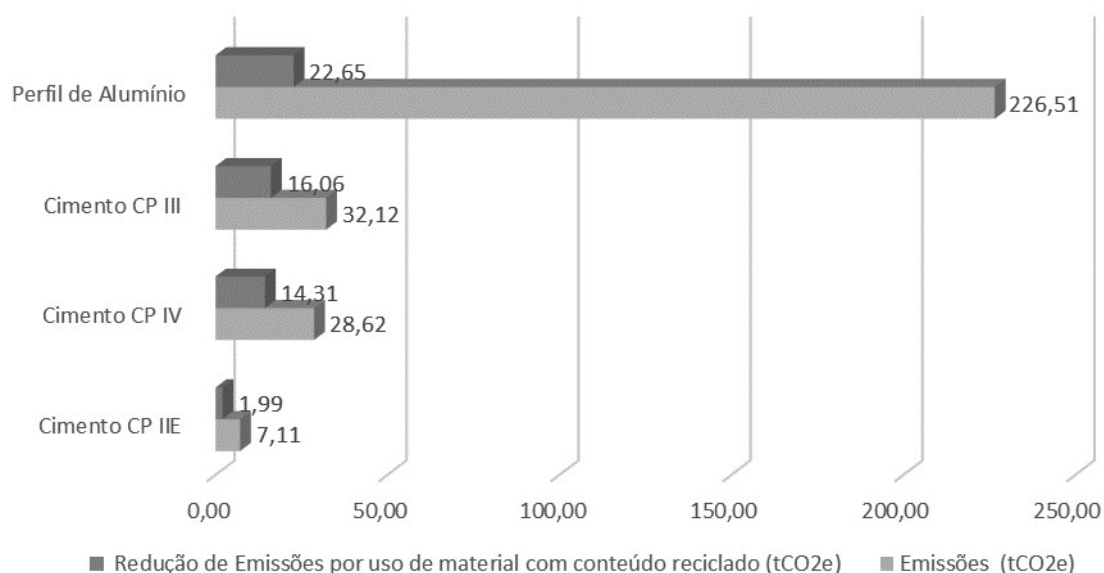
Para os cálculos de emissões e reduções de emissões dos materiais de construção com conteúdo reciclado, foram consideradas algumas das fontes mais emissoras, como aço, concreto estrutural, cimentos e perfil de alumínio. No empreendimento foram utilizados materiais com diferentes percentuais de material reciclado, pré e pós-consumo. Para esta estimativa, considerou-se a emissão do percentual reciclado dos materiais como nula. A emissão e redução de emissão de CO₂ equivalente encontra-se nas Figuras 2 e 3.

Figura 2. Emissão e redução de emissão de CO₂ equivalente do aço e concreto estrutural utilizados na obra pelo uso de conteúdo reciclado.



Fonte: o autor

Figura 3. Emissão e redução de emissão de CO₂ equivalente dos diferentes tipos de cimento e do perfil de alumínio utilizados na obra pelo uso de conteúdo reciclado.



Observa-se na Figura 2 e 3, que os materiais de construção com conteúdo reciclado pré-consumo e pós-consumo, demonstram reduções de emissões

elevadas, e quanto maior for a quantidade de reciclado nos materiais, maior são as reduções de emissões, aos modelos do aço que possui 76% de conteúdo reciclado pré-consumo. Os cimentos CP IV e CPIII possuem 50% de conteúdo reciclado pós-consumo.

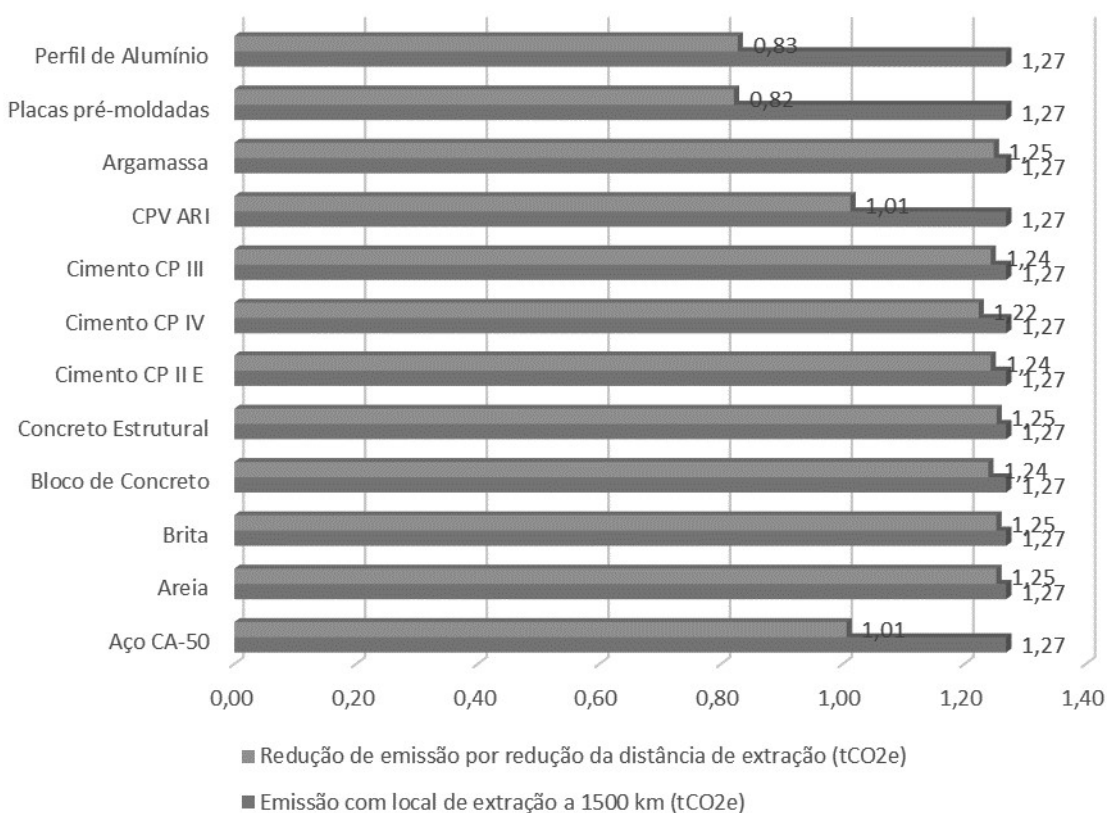
Assim as reduções de emissões totais pelo uso de materiais com conteúdo reciclado analisados, foi de 4.679,18 tCO₂e em relação a emissão de 8.066,23 tCO₂e.

4.2.2 Redução de Emissões do Consumo de Combustíveis Fósseis

4.2.2.1 Redução de Emissão Materiais Regionais

Para o cálculo das emissões do transporte de materiais foi estimada uma distância média dos locais de extração de 1500 km. Para o cálculo das reduções de emissão foram consideradas as distâncias reais percorridas para aquisição de material durante a obra, que segundo os critérios LEED deve ser inferior a 800 km. Foi considerada nessa estimativa apenas um percurso (uma viagem) para cada material transportado. Na Figura 4 constam as emissões e reduções obtidas pela minimização das distâncias percorridas.

Figura 4. Redução de emissões de um trajeto nos transportes de materiais de construção por redução na distância da extração.



Fonte: o autor

Com o critério de materiais regionais, com no máximo 800 km de distância do empreendimento, observa-se na Figura 4, a elevada redução de emissão por transporte dos materiais de construção como no caso do cimento CP II e CP III em que a redução foi de 1,24 tCO₂e e sua distância de extração ao empreendimento corresponde a 30 km, a emissão para 1.500 km foi de 1,26 tCO₂e.

4.2.2.2 Redução de Emissão pelo Transporte de Funcionários

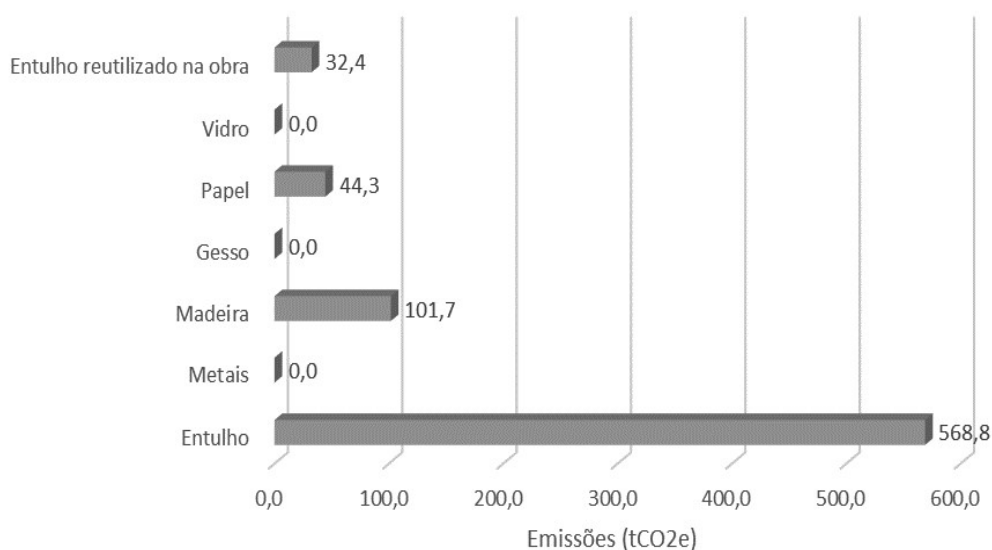
O transporte de funcionários até a obra, exceto gerência (3 funcionários) não entrou no cálculo pois não foi possível obter dados e foi realizado a pé, devido ao alojamento dos funcionários ser próximo a obra, 800 m, onde conseqüentemente as emissões por transporte dos funcionários a obra ficou nula, sendo este item,

considerado como uma boa prática pela certificação LEED. Desse modo, reduzindo emissões GEE por consumo de combustíveis fósseis pela obra.

4.2.3 Redução de Emissões da Geração de Resíduos

A obra encaminhou 89% dos resíduos para reciclagem, somente o restante foi encaminhado para aterros e incineradores, resíduos misturados e perigosos. Considerando, que em Belo Horizonte a Superintendência de Limpeza Urbana (SDLU) recicla o entulho. Pela metodologia GHG Protocol, as emissões CO₂ dos resíduos encaminhados a reciclagem são nulas.

Figura 5. Emissões de CO₂e caso os resíduos sólidos da obra fossem destinados a aterro sanitário.



Fonte: o autor

Observa-se, na Figura 5, valores altos de redução de emissões, principalmente do entulho de 568 tCO₂e e a madeira com 101 tCO₂e estes seriam contabilizados no inventário de emissões como fontes de gases de efeito estufa caso não fossem destinados a reciclagem.

Apesar da obrigatoriedade legal do descarte correto de entulhos de obras, priorizando a reciclagem (Resolução CONAMA 307/2002 e a própria Lei 12.305/2010), as deposições irregulares são comuns nos municípios brasileiros.

4.3 Redução de Emissões de CO₂

Na certificação LEED, evidencia-se a premissa de evitar e reduzir impactos causados por um empreendimento contribuindo, nesse contexto, para reduções de emissões de gases de efeito estufa.

Nota-se a preferência pela escolha de materiais eco eficientes na certificação LEED como detalhados nos itens 4.1.1, 4.1.4, 4.1.5. Segundo a CBCS (2009) a melhor ferramenta para selecionar produtos com base em critérios de eco eficiência é a ferramenta de análise de ciclo de vida, esta contabiliza todas as emissões e todo consumo de matéria-prima e energia associados a vida do produto, da sua produção ao seu descarte final, porém, dependente de base de dados com emissões e consumos das principais matérias primas nacionais o que ainda não está disponível.

Na construção civil, mais de 40%, (UNEP, 2011) das emissões de energia global vêm do consumo de energia nas construções, nesse quesito o uso de energia renovável e os projetos com a proposta de eficiência energética, para redução de consumo como detalhado nos itens 4.1.3, 4.1.6, 4.1.5.

Para alcançar soluções construtivas convergentes de neutralizar o CO₂, considera-se a existência de quatro vetores fundamentais, esses vetores são o uso de materiais construtivos naturais (materiais disponíveis localmente), o recurso à reutilização de materiais de construção, e o plantio de árvores próximas à construção funcionando como estoque de carbono (MURTA, 2010). Nesse quesito a certificação LEED estabelece critérios para alcançar esses vetores, observou-se as reduções de emissões elevadas por escolha de materiais processados localmente.

Nos itens 4.1.4.2, 4.1.4.3 e 4.1.4.4 respectivamente, o uso de materiais recicláveis, o encaminhamento de resíduos a reciclagem, e a preocupação com o reuso do edifício, o vetor de reutilização dos materiais.

5 CONCLUSÕES

Verifica-se na certificação LEED, o contexto global, de adotar medidas efetivas em relação a sustentabilidade, mudanças climáticas e por conseguinte redução dos gases de efeito estufa. Comprova-se que estão inseridos nas dimensões avaliadas da certificação LEED diversos preceitos para redução de emissão de GEE.

A escolha dos materiais é de grande importância para redução de emissões. Demonstra-se pelos cálculos de redução de emissão, as reduções pelo uso de materiais com conteúdo reciclado são elevadas, ao exemplo do aço.

Comprova-se que a opção pela compra de materiais regionais de construção aos modelos dos cimentos CP II e CP III, reduzem expressivamente as emissões de GEE.

Demonstra-se que o destino dos resíduos a reciclagem evita as emissões que poderiam ocorrer no caso de encaminhamento irregular desses resíduos a aterro sanitário.

Constata-se nos regulamentos da certificação LEED, reduções de emissões de GEE indiretas do empreendimento para o setor da construção civil. As premissas da certificação LEED contribuem para diminuir a extração de matérias-primas finitas, o incentivo ao uso de materiais reciclados, destinação adequada para os resíduos, a preocupação com o reuso do edifício, entre outras.

Conclui-se sobre a importância de aplicar os parâmetros de certificação sustentável no setor da construção civil, empregando os conceitos que proporcionam reduções de emissões de gases de efeito estufa, para de fato efetiva-las no setor.

6 REFERÊNCIAS

ABNT.NBR 15758-1 - **Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall - Projetos e procedimentos executivos para montagem.** Parte 1: Requisitos para sistemas usados como paredes. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT; SEBRAE. **Associação Brasileira de Normas Técnicas Guia de implementação: Gestão de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa.** Rio de Janeiro: ABNT; Sebrae, 2015. Disponível em:

<http://abnt.org.br/paginampe/biblioteca/files/upload/anexos/pdf/4ee5b810af4a3aee073ab89f0a573a1a.pdf> Acesso: 3 nov. 2015.

ALVES, J.A. **Materiais de Construção**. 6° ed. Goiânia. Universidade Federal de Goiás, 1987.

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689> Acesso: 07 fev. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE DRYWALL. **Resíduos de Gesso na Construção Civil – Coleta, Armazenagem e Destinação para Reciclagem** – 2ª edição. São Paulo – SP, setembro de 2011. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/22.pdf>> Acesso em: 10 julho 2015.

BARBOSA, J.C; INO, A.; SHIMBO, I. **Sustainable indicators in the productive cycle of reforested wood housing**. Disponível em: <<http://www.timber.ce.wsu.edu/Resources/papers/P26.pdf> > Acesso: 20 nov. 2015.

BARROS, M.M.B. **Processo de Produção das alvenarias Racionalizadas**. São Paulo, EPUSP-PCC, 1998.

BESSA, V.M.T. **Contribuição da metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios e escritórios**. 286 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BRIBÁN, Z. I.; CAPILLA, V. A. **Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential**. Building and Environment Volume 46, pg. 1133 e 1140, May 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003549>> Acesso em 14 out. 2015.

CNI; CBIC. **Construção Verde: Desenvolvimento com Sustentabilidade/ Confederação Nacional da Indústria**. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. CNI, Brasília, 2012 Disponível em: <http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2013/09/23/4970/20131002175850295139e.pdf> Acesso em: 11 fev. 2016

COMISSÃO DE MATERIAIS E TECNOLOGIA (COMAT) - Sindicato da Indústria da Construção Civil (SINDUSCON). **Sistema Drywall**. Minas Gerais – MG, 2009-2012. Disponível em: <http://www.sindusconmg.org.br/site/arquivos/up/comunicacao/cartilha_qualimat_sistema_drywall.pdf> Acesso: 10 julho 2015.

CORRÊA, L.R. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 70f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) - UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível

em: <<http://www.especializacaocivil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>> Acesso: 29 maio 2015.

COSTA, B. L. C. **Quantificação das emissões de CO₂ geradas na produção de materiais utilizados na construção civil**. Rio de Janeiro, 2012, 190 p. (Dissertação de Mestrado do Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE - UFRJ. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/doc_download/1215-bruno-luis-de-carvalho-da-costa-mestrado?Itemid=> Acesso em 19 nov. 2015.

FLIIZIKOWSKI, L. C. **Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso**. Dissertação Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, 2012 Disponível em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2012/d600_0809-M.pdf Acesso: 28 out. 2015.

FREITAS JR, J. de A. Emissões de CO₂. **Notas de aula da disciplina Materiais de Construção Civil III da UFPR**, 2013d. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/6/69/TC034_Impacto_ambiental_x.pdf>. Acesso: 19 out. 2015

GHG Protocol; WBCSD; WRI. **The GHG Protocol for Project Accounting**. 2003. Disponível em: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/ghg_project_protocol.pdf> Acesso: 03 nov. 2015.

GHG Protocol; WRI Brasil; UNICAMP. **Metodologia do GHG Protocol da Agricultura. 2012**. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Metodologia.pdf> > Acesso: 14 maio 2015

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, **Rating System LEED**, São Paulo, 2009 Disponível em: < <http://gbcbrasil.org.br/leed-new-construction.php> > Acesso: 15 out. 2015.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL, **Rating System LEED**, U.S. Green Building Council, 2005.

IPCC. **5º Relatório de Avaliação do Clima**. 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>> Acesso: 30 maio 2015.

IPCC. **Chapter 2: Waste Geration, Composition and Management Data. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf> Acesso: 21 jan. 2016.

INPE. **Relatório Técnico Sintético: Estimativas de CO₂ por Desmatamento na Amazônia Brasileira**. 2009. Disponível em: < http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/Emissoes_CO2_2009.pdf > Acesso em 10 fev.2016.

KIBERT, C. J. **Sustainable Construction - Green Building Design and Delivery**. Second Edition. John Wiley e Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2008. Disponível em:

<http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9781118332849_sample_413384.pdf>

Acesso em 15 jan. 2016.

LAERA, L.H.N.; MEIRELLES, M. S.P.; TANIZAKI, K.F. **Controle de Emissões de CO₂ na Construção Civil: Análise da Eficiência dos Instrumentos Legais Disponíveis no município do Rio de Janeiro**. Disponível em:

<<https://periodicos.ufsc.br/index.php/interthesis/article/viewFile/1807-1384.2012v9n1p223/22512>> Acesso: 30 maio 2015.

LIBRELOTTO, L.I. **A Teoria do Equilíbrio: Alternativas para a Sustentabilidade na Construção Civil**. Florianópolis: DIOSC, 2012. 350p.

KIBERT, C. J. (1994). **Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction of CIB TG 16**. pp. 917. Center for Construction and Environment, University of Florida, Tampa, Florida.

MACIEL, L.L.; BARROS, M.M.S.B.; SABBATINI, F.H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, EPUSP-PCC, 1998.

MARCOS, M. H. C. **Análise da emissão de CO₂ na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. Paraná, 2009. Disponível em:

<<http://pesquisatichis.blogspot.com.br/p/publicacoes.html>> Acesso em 18 jan. 2016.

MARENGO, José A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre Biodiversidade: Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI**. Brasília: MMA, 2006. 212p.

MARENGO, José A. **Água e Mudanças Climáticas**. Estudos Avançados v. 22 n°63 p. 83-96. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a06.pdf>> Acesso: 15 out. 2015.

MATEUS, Ricardo F.M.S. **Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção**. Dissertação Mestrado Engenharia Civil- Universidade do Minho. 2004. Disponível em:

<<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/817>> Acesso: 13 out. 2015.

MCT. **Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 2010. Brasília. Disponível em:

<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/326988/Texto_Completo_Publicado.html> Acesso: 27/07/2015.

MEHTA, P. K.; **Reducing the Environmental Impact of the Concrete**. Concrete International, ACI -American Concrete Institute, October 2001. Disponível em: <<https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal?m=de tails&i=10735>> Acesso em 13 out. 2015

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials 4th Edition**. McGraw-Hill, 2006.

MMA. **Inventario Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários**. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/ publicacao/163_publicacao27072011055_200.pdf> Acesso: 21 jan. 2010.

MURTA, A.A.J.; VARUM, H.; PINTO, J.T.Q.S. **Proposta e Verificação de Soluções Visando a uma Construção com Saldo Nulo de Emissões de CO₂**. Revista CIATEC - Universidade de Passo Fundo, vol.2 (2), p.1-14, Vila Real, 2010. Disponível em: <<http://perguntaserespostas.com.br/seer/index.php/ciatec/article/view/1266/1201>> Acesso:13out.2015.

NOAA. **Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division**. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, 2015b. Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/faq_cat-3.html#2> Acesso: 22 out. 2015.

Nobre, Carlos A. **Mudanças Climáticas e o Brasil-Contextualização**. Parcerias Estratégicas, Brasília, n.27, dez 2008. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/326/320> Acesso: 20 julho 2015.

OLIVEIRA, Dayana R.B. **Estudo Comparativo de Alternativas para Vedações Internas de Edificações**. Trabalho Final de Curso. Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/1/19/Tfc_2012_Dayana_Ruth.pdf> Acesso: 20 julho 2015.

PACHECO, Tathiana Cardoso. **Diagnóstico da Gestão de Resíduos na Construção Civil – Comparação de Obras no Rio de Janeiro Visando a Certificação LEED e Obras sem Certificação**. 2011. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2011/DissertacaoTathiana_Cardoso_Pacheco.pdf> Acesso: 30 maio 2015.

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Sumário Executivo do GT2**. PBMC, Brasília, 2013. 28 p.

RODRIGUES, Wlamir. **Critérios para o Uso Eficiente de Inversores de Frequência em Sistemas de Bombeamento de Água**. Tese Doutorado Engenharia Civil- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em:

<http://www.escoladavida.eng.br/mecfluquimica/planejamento_12009/aulas_12009/inversor%20de%20frequ%C3%Aancia.pdf> Acesso: 15 out. 2015.

SABBATINI, F.H. **Notas de aula da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios**. São Paulo: EPUSP-PCC, 2003.

SANQUETTA, C.R.; FLIZIKWSKI L.C.; CORTE, A.P.D.; MOGNON, F. MAAS, G.C.B. **Estimativas das Emissões de Gases do Efeito Estufa. Em uma obra de Construção Civil com Metodologia GHG Protocol**, 2013 Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/agrarias/Estimativa%20das%20emissoes.pdf>> Acesso: 30 maio 2015.

SILVA, F. B. da. **Revestimento de Gesso Projetado**. São Paulo, 2012. Revista Techné. Disponível em:

< <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/178/artigo287911-1.aspx>> Acesso: 15 ago. 2015.

STACHERA JR., T. **Avaliação de Emissões de CO₂ na Construção Civil: Um Estudo de Caso da Habitação de Interesse Social no Paraná**. 2006.176p. Dissertação (Mestrado) Universidade Tecnológica Federal do Paraná-Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2006. Disponível em:

<http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/ppgte/dissertacoes/2006/ppgte_dissertacao_198_2006.pdf> Acesso: 20 ago. 2015.

SOARES, J. B. **Potencial da Conservação de Energia e de Mitigação das Emissões de Gases do Efeito Estufa para a Indústria Brasileira de Cimento Portland até 2005**. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.

TRAMONTINI, A. P. **Avaliação experimental dos métodos de prevenção de fissuras na interface da alvenaria de vedação de pilar de concreto**. São Paulo. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.

TOLEDO FILHO, R. D.; REGO, E. M. **Pesquisa sobre cimento promete reduzir emissão de poluentes**. CNPq Sala de Imprensa.

TORGAL, F.P., JALALI, Said. **Construção Sustentável. O Caso dos Materiais de Construção**. Congresso Construção. Coimbra 2007.

Disponível em:

<<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/7542/1/Artigo%204.pdf>>

Acesso: 14 out. 2015.

TUFANINI, AUGUSTO P.; PAULEK D. M. **Estimativa de Geração de Dióxido de Carbono em Construção Residencial de Interesse Social: Comparativo entre Concreto Armado, Alvenaria Estrutural e Light Steel Framing.**

TCC Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba 2013.

UNEP. **Iniciativa para Edifícios Sustentáveis e Clima (PNUMA –SBCI): Promovendo Políticas e Práticas para o Ambiente Construído.** Disponível em: <http://www.unep.org/sbci/pdfs/sbci_2pager_portuguese_feb2011.pdf> Acesso 30 maio 2015.

VALENTE, J. P. **Certificação na Construção Civil: Comparativo entre LEED e HQE.** 65p. Monografia (Curso de Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2009

Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000277.pdf>> Acesso: 30 maio 2015.

VTT Technology. **Carbon Footprint for Building Products ECO2 data for materials and products with the focus on wooden building products.** Espoo, 2013.

WSA. **Methodology report - Life cycle inventory study for steel products.**

World Steel Association - WSA, Brussels, Belgium, 2011. Disponível em:

<<https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/LCA-Methodology-Report/document/LCA%20Methodology%20Report.pdf>> Acesso em 17 nov. 2015