

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS LIMPAS

MARCO AURÉLIO DINIZ MACIEL

LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA EM OBRA DA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM MARINGÁ/ PR

MARINGÁ
2016

MARCO AURÉLIO DINIZ MACIEL

LEVANTAMENTO DE INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE GASES
DE EFEITO ESTUFA EM OBRA DA INDÚSTRIA DA
CONSTRUÇÃO CIVIL EM MARINGÁ/ PR

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Tecnologias Limpas
do Centro Universitário de Maringá, como
requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Tecnologias Limpas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Márcia Aparecida
Andreazzi

Coorientador: Prof. Dr. Carlos de Barros
Junior

MARINGÁ
2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha Catalográfica

M652I

MACIEL, Marco Aurélio Diniz

Levantamento de Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Obra da Indústria da Construção Civil em Maringá/PR.

Marco Aurélio Diniz Maciel Maringá-Pr. Unicesumar, 2016.
97p.

Contém Tabelas e Figuras

Mestrado em Tecnologias Limpas

Orientador: Prof^ª. Dra. Márcia Aparecida Andreazzi

Co-Orientador: Prof^º. Dr. Carlos de Barros Junior

1. Aquecimento Global. 2. Edificações. 3. Emissões de CO₂. 4. Mudanças Climáticas. I. Título. UNICESUMAR.

CDD 22^a Ed. 363.7

NBR 12899 - AACR/2

MARCO AURÉLIO DINIZ MACIEL

Levantamento de inventário de emissões de gases de efeito estufa em obra da
indústria da construção civil em Maringá/ PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro
Universitário de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em
Tecnologias Limpas pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof^a. Dr^a. Márcia Aparecida Andreazzi
Centro Universitário de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Carlos de Barros Junior
Centro Universitário de Maringá

Prof^a. Dr^a. Berna Valentina Bruit Valderrama Garcia Medina
Centro Universitário de Maringá

Prof. Dr. Dante Alves Medeiros Filho
Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 05 de Julho de 2016

Dedico este trabalho a Márcia e a Carolina

AGRADECIMENTOS

Aos professores Prof^a. Dr^a. Márcia Aparecida Andreazzi e Prof. Dr. Carlos de Barros Junior por terem orientado este trabalho, sempre com plena dedicação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas/ UNICESUMAR pelos valiosos ensinamentos.

Ao Centro Universitário de Maringá por ter-me possibilitado desenvolver este trabalho.

Ao engenheiro da construtora que disponibilizou os dados técnicos relativos à obra avaliada.

Aos colegas do Mestrado em Tecnologias Limpas, pela amizade, apoio e demonstração de companheirismo.

“Cada dia a natureza produz o suficiente para nossa carência. Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário, não haveria pobreza no mundo e ninguém morreria de fome.”

Mahatma Gandhi

Levantamento de inventário de emissões de gases de efeito estufa em obra da indústria da construção civil em Maringá/ PR

RESUMO

A mudança climática é reconhecida como uma das principais barreiras ao desenvolvimento sustentável e vários setores como transporte, indústria, edificações e agricultura são responsáveis por estas mudanças, contudo, o setor da construção, contribui com um terço das emissões mundiais de CO₂. A indústria da construção civil é uma das que mais danos causam ao meio ambiente, sobretudo pelo consumo de energia e de recursos naturais. Sabe-se que as emissões provenientes da construção civil estão associadas à extração das matérias-primas usadas nos materiais de construção, aos processos de fabricação desses materiais, à energia dispendida durante o ciclo de vida da obra, à operação e manutenção da obra, além da disposição final dos resíduos e do transporte de materiais. Para promover ações de redução das emissões de GEE e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, o setor da construção civil deve avaliar a origem das emissões e calcular a quantidade de GEE emitida, por meio de inventários de emissões de GEE. Os resultados obtidos com os inventários podem ser utilizados para a determinação de ações que resultem na redução das emissões. Portanto, quantificar e organizar os dados sobre as emissões de GEE e estudar o potencial de mitigação neste setor contribuirá com a resolução do problema da mudança climática global, além de trazer benefícios, como diminuição da poluição atmosférica, melhoria da saúde, redução da mortalidade, melhoria do bem-estar social, segurança energética, entre outros. O objetivo deste trabalho foi elaborar um inventário de emissões de GEE das atividades desenvolvidas na construção de um edifício comercial na cidade de Maringá/ PR. Para elaboração deste inventário foram obtidos os dados do memorial descritivo da obra e da planilha de serviços da obra e empregada a ferramenta do “GHG Protocol”, 2013, versão 2014.0 e 2013.1.1. O inventário foi apurado ao longo da construção da obra, no ano de 2014, e foram considerados os serviços de alvenarias e vedações, coberturas, impermeabilizações, revestimento de forro, pisos e paredes internas e externas, pintura e esquadrias constantes no memorial descritivo e na planilha de serviços da obra. Com base nos resultados encontrados concluiu-se que a emissão total de GEE na obra avaliada, foi de 907.049,93 kg CO₂ em uma área total da construção de 10.987 m². Estes dados resultaram em uma emissão de 82,56 kgCO₂/m². De forma isolada, os materiais utilizados que mais emitiram GEE foram o piso cerâmico (48%) e o concreto e a argamassa (32,3%). O total de emissões de GEE devido ao transporte de material foi de 55.002,54 kg CO₂, equivalente a 6,06% da emissão total do inventário. Buscando uma maior sustentabilidade ambiental, calculou-se que um reflorestamento com 7.068 unidades de árvores nativas é suficiente para compensar as emissões observadas.

Palavras-chave: Aquecimento Global, Construção Civil, Emissões de CO₂, Mudanças Climáticas.

Greenhouse gas emissions in industry works of construction in Maringá/PR

ABSTRACT

Climate change is recognized as one of the main barriers to sustainable development and many human activities such as transportation, industry, civil construction and agriculture are responsible for those changes. Nevertheless, the civil construction sector contributes to one third of global CO₂ emissions, what makes it one of the main human activities that causes the most severe environmental impacts, especially due to the consumption of energy and natural resources. It is known that civil construction emissions are associated with the extraction of raw materials used in construction materials, the production processes of these materials, the energy expended during the construction site life cycle, its operation and maintenance, besides the waste disposal and the transportation of materials. To promote actions to reduce GHG emissions and contribute to climate change mitigation, the civil construction sector has to evaluate the source of emissions and calculate the amount of greenhouse gases emitted. This can be done through GHG emission inventories. The results obtained from the inventories can be then used to define actions that result in lower emissions. Therefore, quantifying and organizing GHG emissions data and to study the mitigation potential in this sector will contribute to solving the problem of global climate change and provide benefits such as lower air pollution, human health improvement, lower mortality rate, improvement of the social welfare, energy security. The objective of this study was to develop a GHG inventory from the construction of a commercial building in the city of Maringá / PR. To prepare this inventory the data were obtained from the descriptive memorial of the construction site and the construction site service sheet and used the tool "GHG Protocol", 2013 version 2014.0 and 2013.1.1. The inventory was recorded throughout the construction time, occurred in 2014, and the following activities were considered: the masonry services and fencing, roofing, waterproofing, lining coating, flooring, interior and exterior walls, painting and frames as described in descriptive memorial and the construction site service sheet. Based on the results found it was concluded that the total GHG emissions in the assessed construction site was 907.049,93 kg CO₂ at a total construction area of 10,987 m². These data resulted in the issuance of 82,56 kgCO₂ / m². The materials responsible for the higher greenhouse gases emissions were the tile floors (48%), the concrete and mortar (32.3%). The total GHG emissions due to transportation of the equipment were 55.002,54 kg CO₂, equivalent to 6.06% of the total inventory emissions. Seeking for a greater environmental sustainability, it was estimated that a reforestation project with 7.068 units of natives trees is enough to compensate the emissions observed.

Key-words: Global Warming, Civil Construction, Emissions CO₂, Climate Changes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Cópia da aba inicial da Ferramenta GHG Protocol 2013, versão 2014.0	24
Figura 2.	Foto do Edifício Administrativo (Bloco 11) do Centro de Ensino Superior de Maringá/ Unicesumar.....	26
Figura 3.	Cópia da aba dos fatores de emissão da Ferramenta GHG Protocol 2013, versão 2014.0.....	31
Figura 4.	Resumo das emissões de GEE ocorrentes nas diferentes fases da obra avaliada (%).....	64
Figura 5.	Emissões de GEE pelos materiais utilizados no revestimento do piso..	65
Figura 6.	Emissões de GEE pelos materiais utilizados nas vedações internas.....	65
Figura 7.	Emissões de GEE pelos materiais utilizados na fachada.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
Tabela 1.	Fatores de emissão de CO ₂ na produção de cimento	13
Tabela 2.	Porcentagem de participação nas emissões de GEE, de acordo com as diferentes etapas da cadeia produtiva do alumínio	15
Tabela 3.	Parâmetros considerados para o cálculo do fator de emissão de GEE na produção de óxido de cálcio	17
Tabela 4.	Fatores de emissão referente ao beneficiamento de areia e brita (ano base 2009).....	18
Tabela 5.	Escopos para registro e inventário considerados neste estudo e suas respectivas fontes de emissão de GEE	27
Tabela 6.	Fases e atividades consideradas na execução da construção da obra	28
Tabela 7.	Fator de Emissão de CO ₂ dos materiais de construção, segundo vários autores.....	29
Tabela 8.	Fator de Emissão de CO ₂ médios mensais considerados para o cálculo de emissão de GEE a partir da energia elétrica adquirida no ano de 2014 (kgCO ₂ /kWh).....	29
Tabela 9.	Consumo médio de combustível, de acordo com o tipo de veículo, considerado no cálculo das emissões no transporte dos materiais para a obra.....	34
Tabela 10.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do cimento até a obra avaliada.....	38
Tabela 11.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do aço até a obra avaliada.....	39
Tabela 12.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do gesso, de sua origem até o local da obra avaliada.....	39
Tabela 13.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte da cal, da areia, da brita, do concreto e da argamassa usinada e da madeira, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.....	40
Tabela 14.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte bloco cerâmico furado, do bloco de concreto e do revestimento cerâmico, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.....	41
Tabela 15.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do vidro temperado, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.....	42
Tabela 16.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do alumínio, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.....	42
Tabela 17.	Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do EPDM e do EPS	43

Tabela	de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.....	Página
Tabela 18.	Quantidade de eletricidade adquirida durante a execução da obra, no período de janeiro a dezembro de 2014 e os respectivos Fatores de Emissão e quantidade de emissões de GEE.....	44
Tabela 19.	Quantidade de GEE emitidos na fase de preparação do terreno da obra	45
Tabela 20.	Quantidade de GEE emitidos pelo uso da madeira na instalação do canteiro da obra.....	46
Tabela 21.	Quantidade de GEE emitido na etapa de infraestrutura.....	48
Tabela 22.	Quantidade de GEE emitido no transporte dos materiais utilizados na infraestrutura da obra.....	49
Tabela 23.	Quantidade de GEE emitido na fase de infraestrutura.....	49
Tabela 24.	Quantidade de GEE emitida na etapa de transporte das divisórias utilizadas na obra	52
Tabela 25.	Quantidade de GEE emitida na fase de instalação das divisórias da obra	52
Tabela 26.	Quantidade de GEE emitida no transporte das esquadrias até a obra	53
Tabela 27.	Quantidade de GEE emitida na fase de instalação das esquadrias na obra.....	53
Tabela 28.	Quantidade de GEE emitida no transporte do forro até a obra	54
Tabela 29.	Quantidade de GEE emitida na fase de instalação dos forros da obra.....	54
Tabela 30.	Quantidade de GEE emitido na fase de vedações internas.....	55
Tabela 31.	Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais empregados na cobertura da obra	55
Tabela 32.	Quantidade de GEE emitida na fase de cobertura da obra.....	56
Tabela 33.	Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais do revestimento das paredes externas (fachada) da obra.....	57
Tabela 34.	Quantidade de GEE emitida na fase de revestimento das paredes externas (fachada) da obra.....	57
Tabela 35.	Quantidade de GEE emitido na fase de revestimento da fachada.....	57
Tabela 36.	Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais utilizados no revestimento do piso da obra.....	58
Tabela 37.	Quantidade de GEE emitida na utilização dos materiais de revestimento do piso da obra	59
Tabela 38.	Quantidade de GEE emitido na fase de revestimento do piso.....	59
Tabela 39.	Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais utilizados na fase de pintura das paredes internas da obra.....	60
Tabela 40.	Quantidade de GEE emitida na fase de pintura das paredes internas da obra.....	60
Tabela 41.	Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais utilizados na	61

Tabela	impermeabilização da obra.....	Página
Tabela 42.	Quantidade de GEE emitida na fase de impermeabilização da obra.....	62
Tabela 43.	Escopo 1: Quantidade de GEE emitida pelo consumo de combustível pelos maquinários utilizados na preparação do canteiro da obra.....	63
Tabela 44.	Escopo 2: Quantidade de GEE emitida pelo consumo de energia elétrica utilizados na preparação do canteiro da obra.....	63
Tabela 45.	Escopo 3: Quantidade de GEE emitida nas diferentes fases de execução da obra.....	63
Tabela 46.	Quantidade de GEE emitida nas diferentes fases da obra.....	64
Tabela 47.	Quantidade de GEE emitida nas diferentes fases de execução da obra e suas respectivas incertezas.....	66
Tabela 48.	Quantidade total de árvores a ser plantada, área de plantio e quantidade de árvores plantadas/m ² de construção, para mitigar as emissões de GEE oriundas da construção do prédio administrativo (Bloco11) do Unicesumar.....	68

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo Geral.....	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
3.	REVISÃO DA LITERATURA	4
3.1	Mudanças Climáticas e os Gases de Efeito Estufa.....	4
3.1.1	Gases de Efeito Estufa	4
3.2	Mudanças Climáticas e os Acordos Internacionais	5
3.2.1.	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC)	5
3.2.2.	Relatórios do IPCC sobre Mudanças do Clima.....	6
3.2.3.	Cenários das Emissões.....	7
3.2.4.	Convenção Quadro da Organização das Nações Unidas sobre Mudança do Clima	8
3.3.	Os Inventários de Emissões de GEE como Ferramenta de Redução de Emissões	10
3.3.1.	Programa Brasileiro “ <i>GHG PROTOCOL</i> ”.....	11
3.4.	Mudanças Climáticas e a Construção Civil.....	12
3.4.1.	Materiais Emissores de GEE da Construção Civil e seus Fatores de Emissão	13
3.4.1.1.	Cimento.....	13
3.4.1.2.	Aço	14
3.4.1.3.	Alumínio	14
3.4.1.4.	Concreto, Bloco de Concreto e Bloco Cerâmico Furado	15
3.4.1.5.	Argamassa usinada	16
3.4.1.6.	Óxido de cálcio (cal)	16
3.4.1.7.	Agregados: Areia e Brita	17
3.4.1.8.	Madeira	18
3.4.1.9.	Vidro laminado	19
3.4.1.10.	Monômeros Etileno Propileno Dieno –EPDM	20
3.4.1.11.	Tintas	20
3.4.1.12.	Impermeabilizantes	21
3.4.1.13.	Lã de rocha e Poliestireno Expandido – EPS.....	21
3.4.1.14.	Gesso	22
3.4.1.15.	Placas de gesso (Sistema Drywall®) para divisórias e forros.....	22

3.4.1.16.	Fachadas “ <i>Structural Glazing</i> ” e “ <i>Aluminium Composite Material</i> ”	23
4.	METODOLOGIA	24
4.1.	A Ferramenta do “ <i>GHG PROTOCOL</i> ”	24
4.2.	Princípios para a Realização do Inventário.....	25
4.3.	Passos Básicos para a Realização do Inventário	25
4.4.	Definição Temporal do Inventário da Obra	28
4.5.	Fluxo dos materiais utilizados na construção civil	29
4.6.	GEE Incluídos e Excluídos do Inventário	30
4.7.	Metodologia de cálculo	30
4.8.	Metodologia para o cálculo das emissões no transporte	32
4.9.	Análise das incertezas	35
4.10.	Estimativa da incerteza do inventário da obra	36
4.11.	Redução dos efeitos da emissão de GEE pela neutralização do carbono	36
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1.	Transporte do cimento	38
5.2.	Transporte do aço	38
5.3.	Transporte do gesso	39
5.4.	Transporte da cal, da areia, da brita, do concreto, da argamassa usinada e da madeira	40
5.5.	Transporte do bloco cerâmico, bloco de concreto e revestimento cerâmico	41
5.6.	Transporte do vidro laminado.....	41
5.7.	Transporte do alumínio	42
5.8.	Transporte do silicone e da lã de rocha	43
5.9.	Transporte do EPDM e EPS	43
5.10.	Cálculo das emissões devido a energia elétrica adquirida	43
5.11.	Cálculo das Emissões da Obra	44
5.12.	Preparação do terreno	44
5.13.	Infraestrutura.....	45
5.13.1.	Instalação do canteiro de obra	45
5.13.2	Sinalização e equipamentos de proteção coletivos	46
5.13.3	Fundação do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso	47
5.14.	Vedações internas: divisórias, esquadrias e forro	49
5.15.	Cobertura	55
5.16.	Revestimento de paredes externas (fachada)	56

5.17.	Revestimento do piso.....	57
5.18.	Pinturas das paredes internas	60
5.19.	Impermeabilizações	60
6.	Emissões totais de acordo com as etapas da obra	62
7.	Redução dos efeitos de emissão de GEE pela neutralização do carbono	67
8.	CONCLUSÕES	69
9.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	70
	REFERÊNCIAS	71
	ANEXO A	82
	ANEXO B	92

LISTA DE GLOSSÁRIOS E SIGLAS

ABAL: Associação Brasileira do Alumínio

ABM: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAPEX: Associação Brasileira do Poliestireno Expandido

ACM: Aluminium Composite Material

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

APA: Associação das Indústrias Extrativas de Areia do Noroeste do Paraná

CBCS: Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

CEBDS/WBCSD: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável /
World Business Council for Sustainable Development

CETESB: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CER/RCE: Certified Emission Reductions / Reduções Certificadas de Emissões

CFC: Clorofluorcarbono

CH₄: Metano

CIE: Comércio Internacional de Emissões

COP: Conferência das Partes

CO₂: Dióxido de Carbono

CO_{2eq}: Dióxido de Carbono equivalente, uma medida internacionalmente padronizada de quantidade de gases de efeito estufa como o dióxido de carbono e o metano. A equivalência leva em conta o potencial de aquecimento global dos gases envolvidos e calcula quanto de CO₂ seria emitido se todos os GEEs fossem emitidos como esse gás. O dióxido de carbono equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global. Por exemplo, o potencial de aquecimento global do gás metano é 21 vezes maior do que o potencial do CO₂. Então, dizemos o CO_{2eq} do metano é igual a 21.

CPIV: Comité Permanent des Industries du Verre Européennes

CQNUMC/UNFCCC: Convenção Quadro da Organização das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima / United Nations Framework Convention Climate Change

CTE: Centro de Tecnologia de Edificações

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

Emissões: Liberação de GEE para a Atmosfera

EPA: Environmental Protection Agency

EPDM: Monômero de Etileno Propileno Dieno

EPS: Poliestireno Expandido

Escopo: Define os limites operacionais em relação a emissões diretas e indiretas de GEE

FE: Fator de Emissão

FGV: Fundação Getúlio Vargas

GEE: Gases de efeito estufa

GEP: Global Environment Fund

GHG: Greenhouse Gas

GJ/t: GigaJoules por tonelada

GVces: Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas

HCFC: Hidroclorofluorcarbonetos

HFCs: Hidrofluorcarbonetos

HFEs: Éteres Fluorados

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática

KWh/t: KiloWatts hora por tonelada

MDF: Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Madeira de Média Densidade)

MDL: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

N₂O: Óxido Nitroso

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NF₃: Trifluoreto de Nitrogênio

NGGIP: Força Tarefa para Programas de Inventário Nacional de GEE do IPCC

NOAA: National Oceanic Atmospheric Administration

OMM: Organização Meteorológica Mundial

ONU: Organização das Nações Unidas

Países do Anexo 1: Países definidos na CQNUMC como aqueles que assumem obrigações de redução de emissões

Países não Anexo 1: Países que ratificaram a CQNUMC, mas não estão listados no Anexo 1, e, portanto, não têm obrigações de redução de emissões

PFCs: Perfluorcarbonetos

PFPEs: Perfluorpoliésteres

PNMC: Política Nacional sobre Mudança do Clima

ppm: partes por milhão

PNUD: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNUMA/UNEP: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente/United Nations Environmental Programme

PVC: Policloreto de Polivinila

PWG: Potencial de Aquecimento Global. Fator que descreve o impacto do grau de dano à atmosfera de uma unidade de determinado GEE relativamente a uma unidade de dióxido de carbono

SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SF₆: Hexafluoreto de Enxofre

SIN: Sistema Integrado Nacional

SINDUSCON-SP: Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo

TCPO: Tabela de Dados de Composições de Preços para Orçamentos

WRI: World Resources Institute

1. INTRODUÇÃO

A mudança climática é reconhecida como uma das principais barreiras ao desenvolvimento sustentável. O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC, 2007) indica que este processo está sendo causado e acelerado pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Vários setores de uso final de energia, como transporte, indústria, edificações e agricultura são responsáveis por estas mudanças, sendo que o setor da construção, abrangendo a construção e gestão de edifícios residenciais e comerciais, contribui com, aproximadamente, um terço das emissões mundiais de CO₂ relacionadas à energia (UNEP, 2012).

A construção civil é uma atividade que produz grandes impactos ambientais, pois utiliza entre 40 e 50% dos recursos naturais no Brasil, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras (UNEP, 2012), além disso, responde por um terço das emissões de GEE no planeta (BENITE, 2011; ABREU, 2012). De fato, a indústria da construção civil é uma das que mais danos causam ao meio ambiente, sobretudo pelo consumo de energia e recursos naturais (MOURA e MOTTA, 2013).

De acordo com dados da UNEP (2012), 30% das emissões globais de GEE são causados pelas edificações, provenientes do consumo de energia gerada na queima de combustíveis fósseis, sendo que 80 a 90% destas emissões são geradas nas etapas de uso e operação e os outros 10 a 20% estão relacionados com a extração, processamento e fabricação de insumos e materiais e com as etapas de construção e demolição (BENITE, 2011). De acordo com Bessa (2010) as emissões provenientes da construção civil estão associadas à extração das matérias-primas usadas nos materiais de construção, aos processos de fabricação desses materiais, à energia dispendida durante o ciclo de vida da obra, à operação e manutenção da obra, além da disposição final dos resíduos e do transporte de materiais.

Segundo Abreu (2012), é significativo o consumo de energia pela construção civil, tanto na extração de materiais quanto na fabricação, transporte e processamento dos insumos. De fato, as produções de cimento, aço e cal são responsáveis pelas maiores emissões industriais e as atividades de transporte desses materiais também geram emissões, basicamente pelo consumo de diesel no transporte de materiais para o canteiro de obra, desde o seu local de origem (BENITE, 2011). Segundo Benite, um edifício comercial pode apresentar emissões de 301 kg de CO₂ por metro quadrado durante a etapa de construção e de 108 kg de CO₂ por metro quadrado durante a fase de operação e uso (BENITE, 2011).

De acordo com o Inventário Nacional de Emissões (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2013) a produção de cimento, aço e cal são responsáveis pelas maiores emissões industriais de gases de efeito estufa (GEE). Para promover ações de redução das emissões de GEE e contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, o setor da construção civil deve avaliar a origem das emissões e calcular a quantidade de GEE emitida.

O inventário de emissões de GEE é uma avaliação que se faz de uma empresa, setor produtivo, cidade, estado ou de um país a fim de determinar as fontes de emissões de GEE nas atividades produtivas e a quantidade lançada na atmosfera. Elaborar um inventário compreende quantificar e organizar dados sobre as emissões de GEE, com base em padrões e protocolos e definir essas emissões corretamente a uma unidade, negócio, operação, empresa, cidade, estado ou país (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2009).

Os resultados obtidos com os inventários podem ser utilizados para a determinação de ações que resultem na redução das emissões, como a elaboração de projetos arquitetônicos que privilegiem a ventilação e a iluminação natural, projetos de iluminação mais eficientes, adoção de energias renováveis, seleção, na fase de projeto, de materiais com menores níveis de emissões, projetos paisagísticos que resultem em sequestro de carbono, dentre outros.

Uma pesquisa conduzida para o IPCC (2007) estimou que, aproximadamente, 30% das emissões de CO₂ em edifícios projetadas para 2020, podem ser mitigadas, mundialmente, com uma relação custo-benefício eficientes se opções tecnológicas forem introduzidas, como sistemas de aquecimento e eletrodomésticos mais eficientes, por exemplo. Portanto, quantificar e organizar os dados sobre as emissões de GEE e estudar esse potencial de mitigação no setor da construção, contribuirá para resolver o problema da mudança climática global, além de trazer outros benefícios, como a diminuição da poluição atmosférica, melhoria da saúde, redução da mortalidade, melhoria do bem-estar social, segurança energética, entre outros (BORGSTEIN e LAMBERTS, 2014).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Elaborar um inventário de emissões de GEE das atividades desenvolvidas na construção de um edifício comercial na cidade de Maringá/ PR.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar as principais fontes de emissão de GEE nas etapas de infraestrutura, alvenaria e revestimentos de um edifício comercial.
- Aplicar a ferramenta de quantificação e gestão de emissões de GEE “*GHG Protocol*”, adaptada ao contexto nacional, em um edifício comercial;
- Calcular a quantidade de GEE emitida nas etapas de infraestrutura, alvenaria e revestimentos de um edifício comercial;
- Propor medidas para a mitigação das emissões de GEE originadas das diferentes fases de execução na construção de um edifício comercial.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Mudanças Climáticas e os Gases de Efeito Estufa

De acordo com estudos geológicos a terra tem passado por grandes variações climáticas desde a sua formação. Apenas nos últimos 650 mil anos houve sete ciclos de avanço e recuo glacial. A maioria dessas mudanças climáticas é atribuída a pequenas variações na órbita da terra que alteram a quantidade de energia solar recebida (NOAA, 2015). Quando a radiação ultravioleta do sol atinge a superfície da terra, uma parte retorna ao espaço, mas, devido à existência de alguns gases, outra parte fica retida na atmosfera terrestre. Esse fenômeno é denominado efeito estufa natural e mantém o planeta aquecido, em torno de 15°C. Caso este efeito não existisse, a temperatura média da terra seria de, aproximadamente, 19°C negativos.

A terra sempre esteve sujeita a fenômenos naturais, como o aumento cíclico de atividades na superfície do sol, erupções vulcânicas, ciclos naturais onde os oceanos concentram o carbono presente em grande quantidade na atmosfera e, atualmente, de acordo com cientistas, a terra está passando por um período de final de ciclo glacial, que está provocando um aumento da temperatura global (CRETON e STHIEL, 2011).

Porém, este aumento na temperatura média tem sido observado, com maior intensidade, a partir da segunda metade no século XVIII, coincidindo com o início da revolução industrial, que demandou a utilização de grandes quantidades de carvão mineral e petróleo como fontes de energia. Desde então, a concentração atmosférica de CO₂ passou de 280 ppm (partes por milhão) para 389,6 ppm (NOAA, 2015), um incremento de 39%. Este acréscimo na concentração de CO₂ implica no aumento da capacidade da atmosfera em reter calor e, conseqüentemente, no aumento da temperatura do planeta.

3.1.1 Gases de Efeito Estufa

São reconhecidos internacionalmente como GEE e regulados pelo Protocolo de Quioto o gás carbônico - CO₂, o metano - CH₄, o óxido nitroso - N₂O, além dos gases produzidos pela indústria química hexafluoreto de enxofre (SF₆) e as famílias dos hidrofluorcarbonetos - HFCs e perfluorcarbonetos - PFCs, constituídas pelos gases trifluoreto de nitrogênio - NF₃, éteres fluorados - HFEs, perfluorpoliésteres - PFPEs, clorofluorcarbono - CFC e hidroclorofluorcarboneto - HCFC (WRI, 2013).

O CO₂ é um importante GEE liberado por meio de atividades humanas, como o desmatamento e queima de combustíveis fósseis, bem como processos naturais, como a respiração entérica de ruminantes e erupções vulcânicas. Segundo o Quinto Relatório de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) os níveis de emissões do CO₂ foram 391 ppm na atmosfera, um aumento de 40% em comparação aos níveis emitidos no período anterior à revolução industrial.

De acordo com o IPCC (2013), as emissões totais de CO₂ antrópicas desde o início da era industrial foram de 545 bilhões de toneladas de carbono sendo responsável por, aproximadamente, 60%, do efeito estufa global. O CO₂ gerado por combustíveis fósseis foi de 365 bilhões de toneladas de carbono e pelo desmatamento e outros usos do solo foi 180 bilhões de toneladas de carbono. Contudo, os oceanos absorveram 155 bilhões de toneladas e os sistemas terrestres naturais, 150 bilhões de toneladas. Baseados nestes dados conclui-se que 240 bilhões estão na atmosfera contribuindo para o aquecimento global.

O metano é responsável por 15 a 20% do efeito estufa e possui um potencial de aquecimento global 23 vezes superior ao dióxido de carbono. É o principal componente do gás natural e, além disso, é produzido por bactérias durante a fermentação entérica de ruminantes, em aterros sanitários, plantações de arroz inundados, na mineração e na queima de biomassa (IPCC, 2013).

Ainda de acordo com o Quinto Relatório de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013), o N₂O é responsável por cerca de 6% do efeito estufa e seus níveis na atmosfera aumentam numa taxa de 0,2 a 0,3% ao ano, devido ao uso de fertilizantes químicos, à queima de biomassa, ao desmatamento e às emissões de combustíveis fósseis. Outros gases (HFC, SF₆, NF₃, PFCs, HFEs, PFPEs, CFC e HCFC) produzidos pela indústria química contribuem com 14% do efeito estufa (IPCC, 2013).

3.2. Mudanças Climáticas e os Acordos Internacionais

3.2.1 Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC

A Organização Meteorológica Mundial - OMM e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC com o objetivo de compreender e avaliar de forma clara e objetiva as informações científicas, técnicas e socioeconômicas sobre os riscos das mudanças climáticas provocadas pelo homem, seus impactos potenciais e as opções para adaptação e mitigação.

O IPCC é constituído por três grupos de trabalhos: o WG I: avalia os aspectos científicos do sistema climático e as mudanças do clima. Os principais temas avaliados pelo WG I incluem as mudanças nos GEE e aerossóis na atmosfera, as mudanças observadas no ar, terra e nas temperaturas do oceano, as chuvas, as geleiras e camadas de gelo, os oceanos e o nível do mar, as perspectivas históricas e paleoclimáticas sobre as alterações climáticas, biogeoquímicas, ciclo de carbono, gases e aerossóis, dados de satélite e outros dados, os modelos climáticos, projeções climáticas, causas e atribuição das mudanças climáticas; o WG II: avalia a vulnerabilidade dos sistemas naturais e sócio-econômicos frente às mudanças do clima, as consequências dessas mudanças e as opções para a adaptação a elas. Este Grupo também considera a inter-relação entre vulnerabilidade, adaptação e desenvolvimento sustentável e o WG III, que avalia as opções para limitar as emissões de GEE e outras formas de mitigação das mudanças do clima. O WG III Considera os setores de energia, dos transportes, construção, indústria, agricultura, silvicultura e gestão de resíduos, tanto numa perspectiva de curto prazo como de longo prazo.

Os Grupos de Trabalhos do IPCC organizam a pesquisa científica do “IPCC Forças Tarefas”, uma delas é a Força Tarefa para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa - TFI, que tem a função de supervisionar o Programa de Inventário Nacional de GEE do IPCC (NGGIP) (IPCC, 2015). Sua principal atribuição é desenvolver e aperfeiçoar uma metodologia internacionalmente aceita para o cálculo e a comunicação de emissões e remoções de gases do efeito estufa (ONU, 2009).

3.2.2. Relatórios do IPCC sobre Mudanças do Clima

O IPCC publica, em intervalos de 5 a 7 anos, relatórios de avaliação sobre mudanças climáticas globais. O Primeiro Relatório, publicado em 1990 apresentou avaliações científicas das mudanças climáticas, avaliações dos impactos e estratégias de respostas e correlacionou as mudanças climáticas ao desequilíbrio de GEE provocado pelas emissões antrópicas. O Segundo Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas apresentou contribuições da ciência sobre as mudanças climáticas, impactos, adaptações e mitigação das mudanças climáticas (IPCC, 2007a, b, c). O documento apontou que somente atividades naturais não seriam responsáveis pelo aumento entre 0,3°C e 0,6°C e pelo aumento do nível do mar entre 10 a 25 centímetros desde o fim do século XIX.

O Terceiro Relatório tratou sobre mitigação e impactos, adaptação e vulnerabilidade e apresentou evidências científicas de que o clima do planeta está mudando e relaciona tais mudanças às atividades antrópicas (IPCC, 2007a, b, c). O Quarto Relatório relatou as bases da

ciência física da mudança do clima, impactos, adaptações e vulnerabilidade e mitigação das mudanças climáticas. Este relatório também apresentou evidências paleoclimáticas, como largura de anéis de árvores e investigação de concentração de gases dentro de blocos de gelo, que sustentam que o aquecimento global é anormal, considerando os últimos 13.000 anos. O Quarto Relatório também apontou que, caso ocorra o derretimento de todo o volume de gelo polar, haverá um aumento de 4 a 6 metros no nível do mar (IPCC, 2007a, b, c).

O Quinto Relatório apresentou, com base na revisão de pesquisas realizadas nos cinco anos anteriores, as bases científicas da mudança climática global, projeções e cenários de sistemas climáticos global e regional (IPCC, 2013). O Quinto Relatório também reafirma que o aquecimento global é inequívoco e, muitas das mudanças observadas a partir de 1950 não têm precedentes em décadas ou milênios: a atmosfera e o oceano se aqueceram, a quantidade de gelo e neve diminuiu, o nível do mar se elevou e as concentrações de GEE aumentaram.

3.2.3. Cenários das Emissões

Os cenários climáticos do IPCC representam uma estimativa das emissões futuras de substâncias que têm um efeito potencial de mudanças na atmosfera baseados numa combinação coerente e consistente de suposições sobre fatores como demografia, desenvolvimento socioeconômico, mudança na tecnologia, mudanças da radiação solar e na propriedade da superfície da terra assim como suas interações (MARENGO, 2007).

Para limitar as mudanças do clima, é necessário que haja reduções substanciais e sustentadas de emissões de GEE. É provável que a variação da temperatura global de superfície no final do século XXI exceda 1,5°C em relação a 1850-1900 para todos os cenários e o aquecimento exibirá variabilidade interanual e decenal e não será uniforme regionalmente (PNUMA, 2007).

A variação na temperatura média global de superfície para o período 2016–2035 em relação a 1986–2005 estará provavelmente na faixa de 0,3°C a 0,7°C e as alterações no ciclo global da água em resposta ao aquecimento no século XXI não serão uniformes, haverá contraste na precipitação entre regiões úmidas e secas e entre estações úmidas e secas aumentará, embora possa haver exceções regionais (PNUMA, 2007).

A mudança do clima afetará os processos do ciclo do carbono de tal forma que agravará o aumento de CO₂ na atmosfera. A absorção adicional de carbono pelo oceano irá aumentar sua acidificação. As emissões cumulativas de CO₂ serão fortemente determinantes para o aquecimento médio global de superfície pelo século XXI e além dele. A maior parte

dos aspectos da mudança do clima persistirá por muitos séculos, ainda que as emissões de CO₂ sejam interrompidas (PNUMA, 2007).

Grande parte da mudança do clima antropogênica resultante das emissões de CO₂ é irreversível numa escala de tempo multissecular a milenar, exceto no caso de remoção líquida de CO₂ da atmosfera num período sustentado. As temperaturas de superfície permanecerão aproximadamente constantes em níveis elevados por muitos séculos após a completa interrupção de emissões antropogênicas líquidas de CO₂. Devido a grandes escalas de tempo de transferência de calor da superfície do oceano para águas profundas, o aquecimento do oceano continuará por séculos e, dependendo do cenário, cerca de 15% a 40% do CO₂ emitido continuará na atmosfera por mais de 1.000 anos (IPCC, 2013).

Desde o 4º Relatório, cresceu a evidência de que a influência humana seja a causa dominante do aquecimento desde meados do Século XX. As emissões continuadas de GEE causarão mais aquecimento e alterações em todos os componentes do sistema climático. Para limitar estas mudanças do clima, é necessário que hajam reduções substanciais e sustentadas das emissões de GEE. Para atingir a meta de aquecimento de menos de 2°C, com probabilidade de 50%, é necessário que as emissões cumulativas de CO₂ de todas as fontes antropogênicas fiquem entre zero e cerca de 1.210 GtC (IPCC, 2013).

3.2.4. Convenção Quadro da Organização das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

A preocupação dos cientistas, relatadas no Primeiro Relatório do IPCC sobre Mudanças do Clima, publicado em 1990, quanto a anomalias nos dados de temperatura observados, que indicavam uma tendência de aquecimento global devido a razões antrópicas, foi importante para que, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, ocorrida no Rio de Janeiro em 1992, fosse criada a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - CQNUMC (MISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012).

Esta convenção tem por objetivo discutir as alterações climáticas causadas pelos GEE e suas consequências para a humanidade. Como resultado desta reunião e com o intuito de se estabelecer metas de redução dos GEE foram estabelecidos os princípios da precaução e o da responsabilidade comum. Entretanto, essas ações não reduziram a tendência do aumento do aquecimento global, necessitando de outras medidas para mitigar os efeitos das alterações climáticas (MISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012).

No Brasil, alinhado às preocupações internacionais, em 2009 foi instituída a Política Nacional sobre a Mudança do Clima - PNMC, por meio da Lei nº 12.187/2009 que oficializou

o compromisso voluntário do Brasil junto à CQNUMC de redução de emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020, com base nos valores de 2005. Convém destacar que o Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção, que somente começou a vigorar em 29 de maio de 1994, 90 dias depois de ter sido aprovada e ratificada pelo Congresso Nacional.

A Convenção estabeleceu como seu objetivo principal estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático. Para tanto, foram definidos compromissos e obrigações para todos os países, denominados Partes da Convenção, incluindo-se os seguintes pontos: elaborar inventários nacionais de emissões de gases de efeito estufa; implementar programas nacionais e/ou regionais com medidas para mitigar a mudança do clima e se adaptar a ela; promover o desenvolvimento, a aplicação e a difusão de tecnologias, práticas e processos que controlem, reduzam ou previnam as emissões antrópicas de gases de efeito estufa; promover e cooperar em pesquisas científicas, tecnológicas, técnicas, socioeconômicas e outras, em observações sistemáticas e no desenvolvimento de bancos de dados relativos ao sistema do clima e promover e cooperar na educação, treinamento e conscientização pública em relação à mudança do clima.

Considerando o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, foram determinados os seguintes compromissos específicos para os países desenvolvidos: adotar políticas e medidas nacionais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, transferir recursos tecnológicos e financeiros para países em desenvolvimento e auxiliar os países em desenvolvimento, particularmente os mais vulneráveis à mudança do clima, a implementar ações de adaptação e se preparar para a mudança do clima, reduzindo os seus impactos.

Após a ratificação da Convenção em 1994, as Partes se reúnem anualmente a partir de 1995, para avaliar a situação das mudanças climáticas no planeta e propor mecanismos a fim de garantir a efetividade da Convenção. Segundo o artigo 7º da Convenção, para que a Conferência das Partes (COP) mantenha regularmente sob exame a implementação da Convenção e tome as decisões necessárias para sua efetivação, a COP deve, entre outros, examinar as obrigações das Partes e os mecanismos institucionais estabelecidos, promover e facilitar o intercâmbio de informações sobre medidas adotadas pelos países membros para enfrentar a mudança do clima e seus efeitos, promover o desenvolvimento e avaliar o aperfeiçoamento periódico de metodologias comparáveis para elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa e avaliar a eficácia de medidas para limitar as emissões e aumentar a remoção desses gases.

3.3. Os Inventários de Emissões de GEE como Ferramenta de Redução de Emissões

Enquanto a CQNUMC incentivou os países industrializados a estabilizar as emissões de GEE voluntariamente, o Protocolo de Quioto, que entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, ratificado por 184 países, obriga-os a fazê-lo, por meio de medidas nacionais (ONU, 2014). Para garantir que as metas sejam alcançadas, a CQNUMC desenvolveu três mecanismos de flexibilização no âmbito do Protocolo de Quioto (ONU, 2012):

- O Comércio Internacional de Emissões (CIE), realizado entre países listados no Anexo 1, de maneira que, se um país tiver diminuído suas emissões abaixo de sua meta, poderá transferir o excesso de suas reduções para outro país que não tenha alcançado tal condição.
- A Implementação Conjunta (IC): implementação de projetos de redução de emissões de GEE entre países do anexo 1, que apresentam metas a cumprir.
- O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): realizado em países que não têm metas de reduções de emissões de GEE ou de captura (ou sequestro) de carbono por parte dos países do Anexo 1.

Estes mecanismos se aplicam de forma diferente a cada país. Países do anexo 1 podem se utilizar de todos eles, já o Brasil, como "não anexo 1" pode utilizar apenas o MDL. O MDL é o mecanismo pelo qual os países em desenvolvimento participam do Protocolo de Quioto, por meio da implantação de projetos que reduzem os níveis de emissão de GEE, gerando Reduções Certificadas de Emissões (RCE /CER). As RCE são compradas por países que possuem metas de redução para cumprirem suas cotas de emissão. O MDL tem os objetivos de incentivar investimentos diretos, transferência de tecnologia e matrizes energéticas de produção mais limpas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012).

Os projetos de redução de emissões incluem as energias térmicas renováveis, a biomassa renovável, a hidroeletricidade, a eólica e a eficiência energética; os processos industriais, envolvendo a eficiência energética e o reaproveitamento de gases residuais, a troca de combustíveis, como o uso de gás natural ou biomassa renovável, as estações de tratamento de efluentes e os aterros sanitários e a co-geração, como é o caso das usinas sucroalcooleiras. Por outro lado, os projetos de absorção de carbono incluem o reflorestamento e o desmatamento evitado (REDD), não sendo elegível ao MDL (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Para fins do comércio de emissões, bem como a manutenção do livre comércio entre os países, tornou-se necessário garantir o reconhecimento mútuo dos esquemas nacionais

relativos à verificação e a validação dos inventários de emissão de GEE (MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012; WRI, 2013).

Para credibilidade do sistema é necessário que estas declarações de redução de emissão de GEE sejam verificadas e auditadas por organismos independentes (INMETRO, 2014). Estes organismos, denominados de terceira parte, devem demonstrar sua competência e independência por meio da acreditação. Segundo a norma ABNT NBR ISO/IEC 17011:2005, a definição de acreditação é a atestação de terceira parte relacionada a um organismo de avaliação da conformidade, comunicando a demonstração formal da sua competência para realizar tarefas específicas de avaliação da conformidade. No Brasil, o único organismo de acreditação, reconhecido pelo governo federal, é o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), por meio da Coordenação Geral de Acreditação (CGCRE) (INMETRO, 2014).

3.3.1. Programa Brasileiro “*GHG Protocol*”

O “*GHG Protocol*” é o método mais utilizado para a realização de inventários de GEE. O método é compatível com as normas ISO e com os métodos de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (FGV, 2009), este protocolo foi desenvolvido pelo *World Resources Institute - WRI* em associação com o *World Business Council for Sustainable Development - WBCSD* (WRI, 2013).

Foram desenvolvidas ferramentas específicas de quantificação de emissões de GEE para diferentes setores da economia, chamados de Inventários de Emissões de GEE. Um inventário pode ter dois segmentos: um aplicado a países, estados e municípios e, outro, aplicado a empresas corporativas. Os dois segmentos seguem uma linha comum, porém cada um com suas especificações. Com o objetivo de padronizá-los em função das diferentes escalas de realização, foram desenvolvidas diretrizes e ferramentas de cálculo (FGV, 2009).

Em 2008, o método foi adaptado ao contexto nacional pelo Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas - Gvces e pelo WRI em parceria com o MAA, com o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável - CEBDS, com o Word Business Council for Sustainable Development - WBSCD e 27 empresas fundadoras (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2011).

3.4. Emissões de GEE e a Construção Civil

A construção civil possui uma enorme parcela de contribuição não só nos números econômicos e geração de empregos, mas na utilização intensa de recursos naturais e na

geração de resíduos e poluição (LAERA et al., 2012). Desse modo, de acordo com dados do United Nations Environmental Programme (UNEP, 2012) a construção civil consome 40% de toda energia, extrai 30% dos materiais do meio ambiente, gera 25% dos resíduos sólidos, consome 25% da água e ocupa 12% das terras.

As emissões de GEE provenientes da construção civil estão associadas, principalmente, aos processos industriais como o uso de energia durante o ciclo de vida do edifício, aos oriundos da extração das matérias-primas dos materiais de construção no processo de fabricação, da construção de edifícios, uso e operação do edifício, disposição final dos resíduos e no transporte de materiais (BESSA, 2010), contribuindo com, aproximadamente, 30% do total de emissões de gases de efeito estufa (UNEP, 2012). Nesse sentido, faz-se necessário estudar meios de reestruturar processos produtivos da construção civil, abordando tanto a redução das emissões de GEE como outros fatos geradores de impacto ambiental.

A fim de atender à legislação e de verificar os impactos provenientes da indústria da construção civil que mais contribuem para a mudança do clima, pesquisadores têm estudado o ciclo de vida energético desses materiais com diferentes metodologias para se mensurar os impactos e tornar o setor da construção civil mais eficiente (APOST e PAULSEN, 2014).

Com relação aos materiais emissores de GEE da construção civil, estudos apontam que os processos de produção ou obtenção do cimento, cal, aço (ferro), areia e brita (retirada e transporte), cerâmica vermelha, PVC e queima de combustíveis fósseis são os que mais emitem GEE (JOHN, 2005), sendo que a produção de cimento é responsável por 2% (SOARES, 1998) a 7% (TOLEDO e REGO, 2002) de todas as emissões de GEE. Isaia e Gastaldini (2004) afirmaram que, nas obras civis, o concreto é o material mais utilizado, sendo o mais consumido pela humanidade após a água. No Brasil, Stachera Júnior (2008) encontrou o valor de 224 kg CO₂/m² de área construída, emitidos no processo de produção e transporte dos principais produtos utilizados na construção de habitação de interesse social pela Companhia Habitacional do Paraná.

3.4.1. Materiais emissores de GEE na construção civil e seus Fatores de Emissões

3.4.1.1. Cimento

O cimento é um material aglomerante hidráulico, que sob certas condições endurece e é capaz de agregar outros materiais, obtido pela pulverização do clínquer Portland (MME, 2014). O cimento Portland é uma mistura de clínquer com gesso, sendo o clínquer obtido a partir da calcinação de calcário (MCT, 2006). O cimento Portland comum - CP I é referência,

por suas características e propriedades, aos 11 tipos básicos de cimento Portland disponíveis no mercado brasileiro.

A partir da mistura de cimento Portland, água e outros materiais, tais como areia, pedra britada, etc., obtêm-se o concreto e argamassas que são utilizadas na construção civil. O cimento Portland é basicamente uma mistura de clínquer com, sendo o clínquer obtido a partir da calcinação de calcário (MISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006).

Estudos internacionais apontam que aproximadamente 5% das emissões de CO₂ de origem antrópica no mundo provêm da produção de cimento, especificamente devido à calcinação do calcário (MCTI, 2013). No Brasil as emissões de CO₂ correspondem a 1,4%, de acordo com o último Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa (INGEE, 2010). Por sua vez, a previsão de demanda por cimento, principalmente nas economias emergentes como o Brasil, é o aumento substancial nas próximas décadas (KIHARA e GONZALO, 2014). De acordo com Demanboro et al. (2004), a indústria do cimento responde por cerca de 7% da emissão anual de CO₂ na atmosfera.

De acordo com Silva (2014) o fator de emissão de CO₂, conhecendo-se os teores de CaO e MgO do clínquer, é de 520 kg CO₂/t clínquer. Contudo, para Lima (2014) a estimativa do teor de clínquer no cimento nacional é difícil, devido à existência de valores discrepantes e por causa das adições de material pozolânico, escória de alto forno e material carbonático. A tabela 1 apresenta fatores de emissão de CO₂ na produção de cimento segundo alguns autores (SILVA, 2014). Neste estudo será adotado o fator de emissão de 0,613 kg CO₂/kg de cimento devido à proximidade da fábrica em relação à obra em estudo.

Tabela 1. Fatores de emissão de CO₂ na produção de cimento.

Referência	Fator de emissão (t CO ₂ /t cimento)
LAFARGE (2011)	0,606
WBCSD Cement (2010)	0,592
Lima (2014)	0,659
Votorantim (2012)	0,613
HARBERT (2009)	0,601

Fonte: Silva, 2014

3.4.1.2. Aço

O aço, que é utilizado na construção civil, principalmente como barras para as estruturas ou nas esquadrias, é obtido por meio de processos siderúrgicos onde o minério de ferro é acrescido de carbono, em quantidades pré-estabelecidas para alcançar uma resistência mecânica desejada (STACHERA JUNIOR, 2008).

A siderurgia usa o carbono para geração de energia e como agente redutor do minério de ferro, posteriormente uma fração deste carbono é incorporada aos produtos e a outra parte é emitida na forma de CO₂. No Brasil, a siderurgia é o maior emissor de gases de efeito estufa em processos industriais (MCTI, 2010). Até 75% das emissões de CO₂ oriundas da fabricação do aço ocorre durante a produção de ferro-gusa no alto-forno, na etapa de redução do minério de ferro, e o restante resulta do transporte de matérias-primas, da geração de energia elétrica e calor (CETESB, 2011).

De acordo com IPCC (2006) o fator de emissão da produção de aço (BOF- *Basic Oxygen Furnace*) é de 1,46 kgCO₂/kg aço. Hammond e Jones (2011) disponibiliza o mesmo fator de emissão de 1,46 kgCO₂/kg aço, porém com uma porcentagem de aço reciclado embutido.

3.4.1.3. Alumínio

O Brasil é o sétimo maior produtor de alumínio primário no mundo (MDIC, 2012) e segundo o DNPM (2008), o terceiro maior produtor mundial de bauxita, sendo que suas reservas mais expressivas se encontram no Pará.

Segundo a Associação Brasileira de Alumínio - ABAL a cadeia produtiva do alumínio é composta pelas etapas de extração e beneficiamento da bauxita, produção de óxido de alumínio (alumina), obtenção do alumínio puro (99,7%), fabricação de produtos semimanufaturados, fabricação de produtos finais e reciclagem (ABAL, 2012).

O alumínio é utilizado nos setores de transporte, embalagens, construção civil, máquinas e equipamentos e material elétrico. Segundo dados da ABAL (2010), a indústria da construção civil consome 14,8% do total do alumínio consumido no Brasil. Seu uso na construção civil permite a redução dos gastos com combustível por conta do seu menor peso específico, principalmente quando comparado ao aço, além das características como resistência física e à corrosão que permite boa manutenção, conservação e durabilidade. Outro aspecto relevante é a sua aparência decorativa que, muitas vezes, determina sua demanda em projetos modernos, tais como projetos de fachada em “*Aluminium Composite Material*” - ACM.

De acordo com a ABAL (2012), a produção de alumínio primário responde por 1% das emissões mundiais antrópicas de GEE, incluindo as emissões indiretas, relacionadas à geração de energia utilizada nos processos de produção. A tabela 2 mostra a porcentagem de participação nas emissões, de acordo com as diferentes etapas da cadeia produtiva do alumínio.

Tabela 2. Porcentagem de participação nas emissões de GEE, de acordo com as diferentes etapas da cadeia produtiva do alumínio.

Etapa da cadeia	Participação nas emissões totais
Alumínio primário	49%
Produção de alumina	26%
Energia elétrica	12%
Ânodo	2%
Lingotamento	1%
Produtos semimanufaturados	3%
Mineração de bauxita	1%
Reciclagem	5%
Transporte	1%

Fonte: Fundação Espaço Eco (2011).

No Brasil, a média de emissões do processo de produção de alumínio primário é de 2,7 t de CO_{2eq} por tonelada de alumínio, enquanto a média mundial é de 7,1 t de CO_{2eq} (ABAL, 2012).

3.4.1.4. Concreto, bloco de concreto e bloco cerâmico furado

O concreto dosado em central envolve a recepção e armazenamento das matérias-primas e a mistura automatizada dessas em caminhões betoneira, posteriormente é realizado o transporte para a obra onde será lançado com o auxílio de bomba estacionária ou manualmente e em seguida será adensado com equipamento vibratório. O concreto produzido no canteiro segue os mesmos procedimentos de produção, diferenciando somente quanto às quantidades de matérias-primas empregadas, definidas manualmente, e não havendo necessidade de transporte (LIMA, 2014).

Em relação às emissões, são levadas em consideração as oriundas da produção dos agregados e do cimento e, para os casos de concreto armado, do aço. Acrescidas a essas emissões, são consideradas as emissões provenientes do consumo de energia nas unidades (SILVA, 2014). São sempre contabilizadas as emissões de transporte, desde as unidades fornecedoras de matérias primas até as unidades fabris e/ou obra. De fato, Costa (2012) afirmou que para a estimativa do fator de emissão devem ser consideradas as emissões totais oriundas dos processos de extração, processamento e transporte das matérias-primas (cimento e agregados) e a quantidade de material empregado (traço) para a produção do concreto desejado.

O concreto de cimento Portland utiliza, em média, por metro cúbico, 42% de agregado graúdo (brita), 40% de areia, 10% de cimento, 7% de água e 1% de aditivos químicos, portanto, cerca de 70% do concreto é constituído de agregados (VALVERDE, 2001).

Os valores de fator de emissão para o concreto, encontrados na literatura apresentam grande variação. Com base em levantamentos de emissões de cimento, areia e pedra britada Lima (2014) estimou uma referência de emissão média para o concreto de $225 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3 \pm 19,1\%$. Silva (2014) estimou um fator de emissão igual a $282,5 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ de concreto e Costa (2012) determinou um fator de $387 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ de concreto com resistência de 30 MPa, na situação de uso de cimento CP-II-F-32. Porém, neste estudo foi considerado o fator de emissão de $0,347 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ para o concreto e blocos de concreto (Hammond e Jones, 2011).

As emissões relacionadas ao processo de produção de bloco cerâmico são resultantes da calcinação de carbonatos na argila e material carbonoso, que quando aquecidos a altas temperaturas produzem óxidos e CO_2 , o fator de emissão consiste em $0,111 \text{ kgCO}_2/\text{kg}$ de produto (COSTA, 2012).

3.4.1.5. Argamassa usinada

Os fatores de emissão relacionados às argamassas de assentamento e revestimento interno (reboco) são representados pelos fatores de emissões do cimento e dos agregados. A quantidade total emitida pelo consumo dos componentes da argamassa está intimamente relacionada ao traço de cada argamassa, conforme sua função, para a argamassa dosada em central com traço de 1:1:6 em volume a densidade é 1.967 kg/m^3 (MARTINS NETO e DJANIKIAN, 1999). De acordo com o estudo de Hammond e Jones (2011) para argamassas de cimento, cal e areia dosados em central dosadora utiliza-se fator de emissão equivalente a $0,174 \text{ kg CO}_2/\text{kg}$.

3.4.1.6. Óxido de cálcio (cal)

O calcário (CaCO_3) e a dolomita ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$) são produtos minerais utilizados na indústria da construção civil, na produção de cimento, na produção de cal, na indústria siderúrgica, na indústria do vidro, de papel, tintas, plásticos e cerâmicos, na purificação do ar e tratamento de esgotos. Segundo dados do MME (2014), o setor da construção civil foi responsável, em 2014, pelo consumo de 34% da produção de cal, sendo o restante consumido pelos setores siderúrgico e de pelotização de minério de ferro.

Para aplicações na construção civil são produzidos dois tipos de cal: a cal virgem com teor de óxido de cálcio entre 90% e 100%, que é o principal produto da calcinação de rochas

cálcio-carbonatadas (calcários/dolomitos) (MME, 2014) e a cal hidratada, que é o resultado da combinação química entre a cal virgem e água gerando a formação de hidróxido de cálcio e de outros compostos (MCTI, 2010). A cal virgem (óxido de cálcio) é produzida a partir da calcinação do calcário em fornos a temperaturas superiores a 725°C, gerando emissões de CO₂ (MCTI, 2010), considera-se que 1.000 kg de calcário produzem 400 kg de CO₂ (JOHN, 2005).

Costa (2012) considera que 85% da produção total de calcário no Brasil é do tipo com alto teor de cálcio e os 15% restantes são do tipo calcário dolomítico. Resultando, desta forma, em um fator de emissão de 0,753 kgCO₂/ kg de cal utilizada na construção civil (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros considerados para o cálculo do fator de emissão de GEE na produção de óxido de cálcio

Tipo de Cal	Razão Estequiométrica (tCO ₂ /tCaO ou CaO.MgO)	CaO (%)	MgO (%)	CaO ou MgO (fração)	Fator de emissão padrão (tCO ₂ /tCal) (1x2)
Cal com alto teor de cálcio	0,785	93-98	0,3-2,5	0,95	0,75
Cal dolomita	0,913	55-57	38-41	0,95 ou 0,85	0,86 ou 0,77
Cal hidráulica	0,785	65-92	ND	0,75	0,59

Fonte: IPCC (2006).

3.4.1.7. Agregados: areia e brita

O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada, granular, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades de uso imediato na indústria da construção civil. Os agregados mais comuns são a brita, areia e cascalho, e são as substâncias minerais mais consumidas no Brasil e no mundo. De acordo com a sua granulometria a areia é denominada de agregado miúdo e a brita de agregado graúdo (ABDI, 2012).

Na maioria das obras da construção civil é utilizada areia natural proveniente dos leitos dos rios, de onde é retirada por meio de dragas movidas a óleo diesel e a brita é retirada de pedreiras e as principais etapas da exploração são a perfuração da rocha, estabelecimento das linhas de fogo, colocação dos explosivos, detonação dos explosivos, transporte, britagem e transporte até a obra (STACHERA JR., 2008).

Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, a mineração de agregados para a construção civil deve ocorrer no entorno do local de consumo, devido à alta participação do transporte no custo final. O transporte responde por cerca de 1/3 do custo final da areia e 2/3 do preço final da brita (VALVERDE, 2001).

Os principais impactos relacionados ao uso de areia e brita são devidos à degradação das áreas de extração da matéria-prima, à geração de rejeitos lançados ao solo ou em corpos d'água e as emissões de gases dos motores de combustão dos equipamentos utilizados na atividade (STACHERA JR., 2008).

De acordo com o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração (2013), as principais fontes emissoras de GEE, responsáveis por cerca de 80% das emissões previstas em 2020, são a extração e o beneficiamento físico de minério de ferro, processamento de minério de ferro em pelotas e o beneficiamento de agregados areia e brita para a construção civil (Tabela 4).

Tabela 4. Fatores de emissão referente ao beneficiamento de areia e brita (ano base 2009).

Material	Total de emissões inventariadas (t de CO _{2eq})	Total de produção (t)	Fator de emissão (kgCO _{2eq} /kg)
Areia	569,116	269.723.342	0,00261
Brita	340.026	161.569.474	0,00211

Fonte: Adaptado do Plano de Mineração de Baixo Carbono (2013).

3.4.1.8. Madeira

Os produtos de madeiras utilizados na construção civil variam desde peças com pouco ou nenhum processamento, como madeira roliça, até peças com vários graus de beneficiamento, como madeira serrada e beneficiada, lâminas, painéis, placas e madeira tratada com produtos conservantes e os principais usos na construção civil são peças de madeira serrada na forma de vigas, caibros, pranchas e tábuas utilizadas em estrutura de cobertura, peças de madeira serrada na forma de tábuas e pontaletes empregados em uso temporários (andaimes, escoramento e fôrmas para concreto) e as ripas e caibros utilizados em partes secundárias de estruturas de cobertura e peças de madeira serrada e beneficiada, como forros, painéis, lâminas e guarnições, portas, caixilhos e pisos (IPT, 2009).

O processo produtivo da madeira serrada é constituído por quatro etapas: extração das árvores, transporte entre floresta e serraria, processamento das toras em produtos serrados e transporte da madeira serrada ao mercado consumidor (CBCS, 2012). Quanto à fabricação de madeira compensada, primeiramente as toras são descascadas e acondicionadas em tanques

contendo vapor ou água quente para amolecimento, em seguida são obtidas as lâminas por meio de um torno rotativo (Maranhão, 2000).

Hammond e Jones (2011) estimaram uma emissão geral para madeira de 0,72 kgCO₂/kg. Palermo et al (2004), cita um valor de 480 kgCO₂/m³ e Costa (2012) fornece o fator de emissão diretamente pelo volume de madeira, que corresponde a 404,6 kgCO₂/m³. Marcos (2009) determina um fator de emissão equivalente a 0,131 kgCO₂/kg, considerando a densidade aparente de 634 kg/m³ e umidade de 12%, da madeira de pinus (*Pinus elliottii*), Palermo et al. (2004) cita um equivalente a 87,33 kgCO₂/m³ para as peças de madeira serrada e beneficiada.

3.4.1.9. Vidro laminado

O vidro é o produto resultante da fusão, por calor, de óxidos ou de seus derivados e misturas, tendo como constituinte principal a areia quartzosa ou sílica (Portal Setor Vidreiro, 2012).

De acordo com dados do Anuário Estatístico: Setor de Transformação de Não-Metálicos (MME, 2014) as matérias primas e as respectivas proporções empregadas para a fabricação de vidro são sílica: 70%, barrilha: 15%, calcário:10%, dolomita:2%, feldspato:2% e aditivos como sulfato de sódio, ferro, cobalto, cromo e selênio. A mistura desses elementos é submetida a temperaturas em torno de 1.550 °C, em fornos, formando-se uma massa semi-líquida que dá origem ao vidro, em seus vários tipos e formas.

Uma parte da matéria-prima mineral virgem pode ser substituída por cacos de vidro reciclados e triturados. Esta prática apresenta vantagens de economia de energia, de matéria-prima e de uso de água. Para cada 10% de cacos de vidro na mistura economizam-se 3 a 4% da energia necessária para a fusão nos fornos industriais e reduz-se em 10% a utilização de água (MME, 2014).

A indústria brasileira de vidro emprega em seus fornos, principalmente, o gás natural (95%). Não se encontraram dados consolidados sobre o consumo específico de energia do segmento vidreiro nacional. A indústria de vidro da União Européia, por meio do *Comité Permanent des Industries du Verre Européennes* - CPIV divulgou um perfil do segmento, então, como a produtividade brasileira é similar à europeia, em tona de 200 kg/homem ano, tem-se uma estimativa dos indicadores da indústria brasileira de consumo específico total de energia igual a 10,0 GJ/t equivalente a 0,24 tep/t e consumo específico de energia elétrica igual a 555 kwh/t (MME, 2014).

A emissão de CO₂ informada pelo CPIV (2011) foi de 0,600 kg CO₂/kg de vidro laminado, dos quais 80% (480 kg CO₂/t) originários do uso de combustíveis e 20% da decomposição da matéria-prima carbonácea (120 kg CO₂/t).

3.4.1.10. Monômeros etileno-propileno-dieno - EPDM

De acordo com Bessa (2010) o EPDM é um termopolímero sintético cujas principais características são as propriedades de resistência ao calor, envelhecimento, resistência mecânica, resistência ao ozônio e à oxidação. Na construção civil é utilizado em perfis para janelas, mantas impermeabilizantes, membranas para revestimentos e juntas de dilatação, e especificamente, no caso de fachadas em *Structural Glazing* e ACM, é utilizado nas guarnições, que são elementos de vedação da estrutura das fachadas. Ainda, de acordo com Bessa (2010), o fator de emissão de CO₂ do EPDM utilizado na construção civil é de 0,195 kgCO₂/kg de material.

3.4.1.11. Tintas

Tinta é um material que se apresenta na forma líquida, constituída por resina, pigmento, solvente e aditivo, cuja função é revestir uma dada superfície com a finalidade de torná-la com um aspecto agradável ou conferir proteção. As principais tintas usadas na construção civil são as tintas látex, recomendadas para aplicação sobre superfícies de alvenaria, gesso, concreto e os esmaltes sintéticos, recomendados para aplicação em superfícies metálicas e de madeira (CEATEC, 2014).

Fazenda (2005) afirmou que são necessárias de 750 a 1000 diferentes matérias-primas em sua fabricação, sendo que grande partes dessas matérias-primas são usadas para a fabricação de produtos intermediários, como as resinas e emulsões. Uma fórmula típica para a fabricação de esmalte sintético ou tinta látex necessita de mais de 10 componentes para a sua produção.

O fator de emissão depende da quantidade de tinta utilizada por metro quadrado de pintura, de acordo com Hammond e Jones (2011) para o sistema de pintura em 3 demãos o seu valor é de 1,09 kg CO₂/m² com cobertura de 2,22 m² por quilograma de tinta, equivalente a 1,31 kg CO₂/kg.

3.4.1.12. Impermeabilizantes

De acordo com Silva (2004), a impermeabilização tem a função de promover a estanqueidade do piso ou parede, impedindo a ascensão capilar da umidade do solo ou a

infiltração de águas superficiais. São classificadas em dois tipos: a impermeabilização rígida, onde a argamassa torna-se impermeável pela adição de aditivos químicos, sendo indicada para elementos não sujeitos a trincas ou fissuras, por exemplo, em cargas estruturais estabilizadas como poço de elevador, reservatório de água e áreas não expostas ao sol, como banheiros e cozinhas, e impermeabilização plástica com a utilização de mantas compostas de asfalto modificado por polímeros.

Os impermeabilizantes utilizados na construção civil são produzidos a partir de derivados do petróleo, cujo uso não implica em emissões de CO₂, pois o carbono em forma de petróleo é transformado em um produto de longa durabilidade (CONSTRUÇÃO MERCADO, 2007). O impacto de emissões de GEE ocorre na fase de instalação da manta, com a utilização de maçaricos aquecidos com GLP. Segundo dados da Universidade de Bath o fator de emissão de impermeabilizantes é 4,32 kgCO₂/m² (HAMMOND e JONES, 2011).

3.4.1.13. Lã de rocha e Poliestireno Expandido - EPS

A principal matéria-prima utilizada na produção de lã de rocha, utilizada como material termo acústico é o basalto, podendo ser adicionado calcário ou outros elementos. Bessa (2010) afirmou que para 99% dos insumos materiais, como calcário, cimento, formaldeído e fenol são considerados apenas os insumos energéticos para sua produção, sendo assim, o fator de emissão igual a 1,438 kgCO₂/ kg de material.

O Poliestireno Expandido - EPS, conhecido comercialmente como Isopor®, é um plástico rígido resultante da polimerização do estireno em água com densidade média de 16 kg/m³ (ABRAPEX, 2016) e é utilizado na construção civil, principalmente, em sistemas de isolamento térmico de coberturas, paredes, forros e pavimentos, além de enchimento de lajes e formas para concreto e possui um fator de emissão de 3,29 kg CO₂/ kg de material (HAMMOND e JONES, 2011).

3.4.1.14. Gesso

O gesso origina-se da calcinação da gipsita realizada em fornos que consomem lenha como combustível, quando calcinada à temperatura da ordem de 160°C, a gipsita desidrata-se parcialmente (20%) transformando-se em gesso (MME, 2014). Um total de 97% da produção nacional de gipsita provém do Polo Gesseiro do Araripe/ PE.

A partir de 1995 surgiu no Brasil o sistema de forros e paredes com chapas de gesso acartonado que substituem paredes e forros de alvenaria, chamado *drywall*®. O processo de produção de placas de gesso acartonado consiste na extração da gipsita, sua moagem,

calcinação e resfriamento, em seguida o misturador com o gesso calcinado recebe os aditivos e a água convertendo-os numa massa homogênea, que é continuamente depositada sobre um papel de fibras longas, formando um tapete endurecido de gesso acartonado, que é cortado em placas, de comprimentos variados, e secadas, concluindo-se o processo de aderência papel/miolo de gesso. Após, as placas são transferidas para o acabamento, onde são esquadrejadas, identificadas e paletizadas (PLACO SAINT-GOBAIN, 2016). De acordo com Costa (2012) o fator de emissão do gesso é de 0,6386 tCO₂/ t de gesso e de 0,7664 tCO₂/ t de placa.

3.4.1.15. Placas de gesso (Sistema Drywall®) para divisórias e forros

O sistema *Drywall*® composto de placas de gesso acartonado é de uso, exclusivamente, interno podendo ser utilizadas para fechamento vertical de paredes e forros. A estrutura, em perfis de chapas de aço galvanizado, é constituída por guias e montantes, sobre os quais são fixadas as placas de gesso acartonado em camadas, podendo ser recheadas com lã de rocha para aumentar a eficiência termo acústica, gerando uma superfície apta a receber o acabamento final (CONDEIXA, 2015). Na construção civil, normalmente, são utilizados dois tipos de placas de gesso, placas standard, destinadas a paredes de áreas secas e placas resistentes à umidade, destinadas a áreas sujeitas à ação da umidade por tempo limitado. Os fatores de emissão por m² das divisórias e forros foram calculados por meio do somatório dos seus materiais constituintes conforme tabelas A7 e A16 do Anexo A, respectivamente.

3.4.1.16. Fachadas “*Structural Glazing*” e “*Aluminium Composite Material*” (ACM)

Existe uma variedade de vidros disponíveis no mercado, inclusive alguns tipos de vidro estão sendo utilizados para melhorar a eficiência energética dos edifícios. Contudo, a norma ABNT NBR 7199 para projetos, execução e aplicações de vidros na construção civil estabelece o uso de vidro laminado ou aramado em fachadas por serem os únicos tipos de vidro que, ao quebrarem, não liberam cacos (Bessa, 2010).

De acordo com Bessa (2010), os elementos constituintes da fachada “*Structural Glazing*” são as paredes de vidro, as colunas e travessas de alumínio, lã de rocha (selos cortafogo), silicone para fixação do vidro, e acessórios em alumínio, aço inox, PVC e EPDM, cujo fator de emissão foi calculado de acordo com a tabela A19 do Anexo A.

O tipo de fachada de painéis de alumínio composto, conhecida como “*Aluminium Composite Material*” (ACM) é formado por duas chapas de alumínio unidas por um núcleo de

material termoplástico extrudado. No Brasil, os tipos mais utilizados tem o núcleo em polietileno de baixa densidade, cujo fator de emissão é de 3 kg de componentes orgânicos voláteis por tonelada de produto (MCT, 2010c).

Bessa (2010) listou como elementos constituintes da fachada em “*Aluminium Composite Material*” (ACM) as paredes de tijolo cerâmico, o revestimento interno de gesso e do externo de painéis de ACM, as janelas de vidro, as esquadrias de alumínio, a lã de rocha (selos corta-fogo), o silicone para vedação, os acessórios em alumínio, aço inox, PVC e EPDM e a pintura em tinta para gesso.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa se caracterizou como uma pesquisa de natureza aplicada, apresentando uma abordagem exploratória e quantitativa, empregando procedimentos bibliográficos, documental e de estudo de caso.

4.1. A ferramenta do “GHG Protocol”

Para elaboração deste inventário, empregou-se a ferramenta “GHG Protocol”. Estas ferramentas são periodicamente atualizadas, sendo que para avaliar o ciclo de 2014 as ferramentas disponíveis foram: a Planilha MS Excel Ferramenta “GHG Protocol” 2013, versão 2014.0 (Figura 1) e a Planilha MS Excel Ferramenta auxiliar “GHG Protocol” versão 2013.1.1 – Transporte de Materiais, que permitiu acesso abas objeto deste estudo: Escopo 1 – combustão estacionária, combustão móvel e processos industriais, Escopo 2 – Compra de energia elétrica e Escopo 3 – categorias do escopo 3.

Programa Brasileiro GHG Protocol

Ferramenta GHG Protocol 2013
Versão 2014.0

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias de Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Orientações

(A) O primeiro passo para a utilização da ferramenta é a escolha do ano (célula E24). Esta escolha é essencial, pois os fatores de emissão variam com base no ano escolhido.

(B) Preencha somente as células **LARANJA CLARO** das abas da Ferramenta. Se os dados não estiverem disponíveis ou não forem relevantes, deixe o valor padrão (branco, zero ou outro) na célula.

(C) Utilize as unidades corretas nos dados inseridos. Se necessário, converta as unidades utilizando a aba 'Fatores de Conversão' antes de preencher a planilha.

(D) Utilize a notação do sistema brasileiro de unidades de medida, utilizando "." para designar milhares e seus múltiplos e "," para designar decimais.

(E) O Menu de Navegação, presente na parte superior de todas as páginas/abas da ferramenta, pode ser utilizado para facilitar a navegação do usuário. Cada botão possui um link para a referida página/aba.

(F) Orientações para cada método de cálculo estão incluídas no cabeçalho de cada página/aba.

(G) Se esta ferramenta for usada para uma fonte ou local único (como por exemplo uma das unidades da organização), os arquivos podem ser salvos com o nome da fonte ou do local. Neste caso, as emissões calculadas para cada escopo (1, 2 e 3) devem, então, ser somadas para chegar ao valor total de emissões de escopos 1, 2 e 3 da organização, resultando no inventário de GEE consolidado da organização.

Nome da organização:

Endereço da organização:

Ano inventariado:

Nome do responsável:

Telefone do responsável:

Data de preenchimento:

Legenda de cores

- Células a serem preenchidas pelo usuário com os dados da organização
- Emissões Escopo 1 (tCO₂e)
- Emissões Escopo 2 (tCO₂e)
- Emissões Escopo 3 (tCO₂e)
- Emissões de biomassa (tCO₂)

Figura 1. Cópia da aba inicial da Ferramenta GHG Protocol 2013, versão 2014.0
Fonte: Programa Brasileiro GHG Protocol (2014).

4.2. Princípios para a realização do inventário

O inventário foi desenvolvido de acordo com os princípios para contabilização e elaboração do relatório citados pelo Programa Brasileiro “*GHG Protocol*” (2014), que incluem:

- Relevância para assegurar que o inventário de GEE reflita com exatidão as emissões da obra.
- Integralidade para relatar todas as fontes de emissão de GEE e atividades relevantes dentro dos limites definidos.
- Consistência para utilizar metodologias que permitam comparações de emissões ao longo do tempo.
- Transparência para revelar todas as informações relevantes, de forma clara, neutra e compreensível, de forma a atender às necessidades de tomada de decisões dos usuários dos dados.
- Exatidão nos resultados, permitindo que os usuários tomem decisões com segurança razoável quanto à integridade das informações reportadas, assegurando que a quantidade das emissões de GEE não seja superior nem inferior às emissões reais e que as incertezas sejam reduzidas, se possível.

4.3. Passos básicos para a realização do inventário

A metodologia do “*GHG Protocol*” (2013) estabelece seis passos para a elaboração de inventários corporativos, que são: a definição dos limites organizacionais e operacionais do inventário, a seleção da metodologia de cálculo e fatores de emissão, a coleta de dados das atividades que emitem GEE, o cálculo das emissões e a elaboração do inventário de emissões de GEE.

Com relação aos limites organizacionais deste inventário, foi considerada neste trabalho a obra: prédio administrativo (Bloco 11) do Centro Universitário de Maringá/ Unicesumar, situado na Av. Guedner, 1610, Jardim Aclimação, Maringá/ PR (Figura 2). A obra é composta por 8 pavimentos e 2 subsolos, área do pavimento de 1.098 m², área de parede de 1.987 m², área total da obra de 10.987 m² e altura pé direito de 3,8 m. O edifício utiliza fachadas do tipo “*Structural Glazing*” e em “*Aluminium Composite Material*” (ACM). No tipo de fachada “*Structural Glazing*” o vidro é colado com silicone estrutural nos perfis dos quadros de alumínio, ficando a estrutura oculta, na face interna (Figura 2).



Figura 2. Foto do Edifício Administrativo (Bloco 11) do Centro de Ensino Superior de Maringá/ Unicesumar.

Este prédio está situado na latitude 23°26'31.83"Sul e longitude 51°55'3.57" Oeste, e como limite geográfico foi considerado um raio de 10 quilômetros, tendo como área de influência direta a região da cidade de Maringá/ PR. Este raio estabelecido abrangeu a distância dos fornecedores de material de construção e serviços, bem como o aterro sanitário, onde foram depositados os rejeitos sólidos inertes e os resíduos da construção.

Os limites operacionais foram determinados por meio da identificação das emissões de GEE associadas às operações da empresa incluída nos limites organizacionais. As emissões foram divididas em emissões diretas e indiretas. As emissões diretas abrangeram o consumo de combustíveis fósseis dentro da empresa por meio de equipamentos e veículos próprios e as emissões indiretas englobaram a aquisição de energia elétrica, o consumo de materiais de construção utilizados na obra e os combustíveis fósseis usados em seus transportes.

Para ajudar a delinear as fontes de emissões diretas e indiretas foram definidos três escopos (Tabela 5) para registro e inventários de GEE:

- Escopo 1: emissões diretas de GEE, que são aquelas provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela empresa, incluindo as emissões da queima de combustíveis por fontes fixas e móveis e pelo consumo de material de construção.
- Escopo 2: emissões indiretas de GEE, controladas pela empresa, provenientes da aquisição de energia elétrica.
- Escopo 3: contempla as fontes de emissão indiretas que possam ser atribuídas à ação da empresa, porém não controladas pela empresa. Tais emissões são decorrentes de atividades de extração, fabricação e transporte dos materiais aplicados na obra.

Tabela 5. Escopos para registro e inventário considerados neste estudo e suas respectivas fontes de emissão de GEE.

Escopos		Fontes Emissoras nas Obras
Escopo 1 Emissões diretas	Queima de Combustíveis	Emissões de consumos de combustíveis em equipamentos próprios ou locados pelas empresas para operarem sob sua gestão. Nesta categoria entram os equipamentos fixos e móveis que operam nos canteiros das obras.
	Outros processos	Emissões de transporte com veículos próprios ou controlados pelas empresas. Emissões de outros processos próprios das obras.
Escopo 2 Emissões indiretas da energia adquirida	Emissões da geração da energia adquiridas pelas obras	
Escopo 3 Outras emissões indiretas	Queima de combustíveis	Emissões de consumos de combustíveis em equipamentos de terceiros contratados para execução de serviços específicos. Nesta categoria entram os equipamentos fixos e móveis que operam nos canteiros de obras, cujos consumos de combustíveis estão fora da gestão direta das empresas.
	Fabricação dos materiais aplicados na obra	Emissões da produção dos principais materiais aplicados nas obras, principalmente materiais cimentícios e aço.
	Transporte dos materiais aplicados na obra	Fretes dos principais materiais aplicados na obra contratados e custeados pelos fornecedores ou de empresas transportadoras contratadas pela empresa.

Fonte: Guia Metodológico para Inventários de Emissões de GEE na construção civil, no setor de edificações (SINDUSCON/SP, 2013)

Não foram consideradas neste estudo as emissões de GEE provenientes dos serviços de fundações e supra-estrutura da obra que foram realizados por empreiteiros de serviços. Considerou-se apenas os serviços de alvenarias e vedações, coberturas, impermeabilizações, revestimento de forro, pisos e paredes internas e externas, pintura e esquadrias constantes no memorial descritivo e na planilha de serviços da obra.

Esta pesquisa considerou somente a etapa de pré-uso, que envolve a extração da matéria-prima, a fabricação de materiais e componentes, o transporte dos materiais até a obra e a execução da construção: etapas de alvenaria, cobertura, pintura e impermeabilizações (Tabela 6).

Tabela 6. Fases e atividades consideradas na execução da construção da obra

Fase da obra	Atividades
Serviços preliminares	Instalação do canteiro de obra
Infraestrutura	Fundações: construção do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso
Vedações Internas	Preparação do terreno
Cobertura e Proteções	Divisórias, esquadrias e forros
Revestimento	Telhado e Impermeabilização
Pintura	Revestimento Interno e Externo
Pisos	Pintura
	Pisos

4.4. Definição temporal do inventário da obra

O inventário foi apurado ao longo da construção da obra, no ano de 2014, totalizando as emissões de GEE consideradas em três sistemas de avaliação:

- Sistema 1: os dados da atividade foram levantados por meio de entrevista com o engenheiro responsável pela obra, acesso as planilhas de serviços e preços-custo e do memorial descritivo da obra.
- Sistema 2: dados dos fornecedores de material de construção e serviços utilizados na construção, conforme memorial descritivo da obra.
- Sistema 3: Emissões de GEE: levantamento quantitativo dos dados de fabricação e consumo de materiais de construção, consumo de combustível no transporte e manuseio desses materiais dentro do canteiro de obra, energia elétrica consumida e outras fontes de emissão. Os dados de consumo foram multiplicados pelos fatores de emissão (Tabela 7) para determinar a quantidade total de emissões de GEE e por metro quadrado construído.

A definição dos fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica em kgCO₂/kwh tem como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a um determinado tipo de geração de energia elétrica. Para tanto, se considera o cálculo da média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia em um determinado momento (Tabela 8) e serve para inventários em geral, corporativos ou de outra natureza (MCTI, 2014).

Tabela 7. Fatores de Emissão de CO₂ dos materiais de construção, segundo vários autores.

Material	Densidade kg/m ³	Fator de Emissão kgCO ₂ / kg	Fonte
Aço	7.800	1,46	Hammond e Jones (2011)
Alumínio	2.700	1,655	MCT (2010)
Areia	1.800	0,00583	Marcos (2009)
Argamassa	2.100	0,174	Hammond e Jones (2011)
Bloco cerâmico	1.400	0,111	Costa (2012)
Bloco de concreto	2.500	0,347	Hammond e Jones (2011)
Brita	1.700	0,01546	Marcos (2009)
Cal	1.600	0,753	Costa (2012)
Cerâmica porcelanato	2.100	0,78	Hammond e Jones (2011)
Cimento	1.200	0,613	Votorantin (2012)
Concreto	2.500	0,347	Hammond e Jones (2011)
EPDM	120	0,195	Bessa (2010)
Emulsão adesiva	1.020	4,32 kgCO ₂ /m ²	Hammond e Jones (2011)
Gesso	1.400	0,6386	Costa (2012)
Placas de gesso	32	0,7664	Costa (2012)
Granito	2.600	0,781	Hammond e Jones (2011)
Lã de rocha	64	1,438	Bessa (2010)
Laminado Melamínico	1.160	4,19	Hammond e Jones (2011)
Madeira	634	0,131	Marcos (2009)
Madeirit®	552	0,72	IPT (2009)
Manta alfáltica	2.300	0,31 kgCO ₂ /m ²	Hammond e Jones (2011)
Silicone	950	0,623	Bessa (2010)
Vidro temperado	2.500	0,60	CPIV (2011)
Impermeabilizante	1.050	4,32 kgCO ₂ /m ²	Hammond e Jones (2011)
Tinta acrílica (3 demãos)	1.300	2,54	Hammond e Jones (2011)
Verniz sintético	1.010	3,76	Hammond e Jones (2011)
Esmalte sintético	1.040	3,76	Hammond e Jones (2011)

Tabela 8. Fatores de Emissão de CO₂ médios mensais considerados para o cálculo de emissão de GEE a partir da energia elétrica adquirida no ano de 2014 (kgCO₂/kwh)

Mês											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,0911	0,1169	0,1238	0,1310	0,1422	0,1440	0,1464	0,1578	0,1431	0,1413	0,1514	0,1368

Fonte: MCTI (2014).

4.5. Fluxo dos materiais utilizados na construção civil

A determinação das emissões de GEE dos materiais utilizados envolveu o levantamento dos fluxos de materiais desde as etapas de extração e transformação das matérias-primas, fabricação ou beneficiamento dos produtos e transporte e utilização dos materiais na construção do edifício. Não foram consideradas as emissões geradas devido ao uso, eventuais reformas ou demolições e disposição final dos resíduos.

4.6. GEE incluídos e excluídos do inventário

Embora os inventários de emissões elaborados de acordo com o Programa Brasileiro “*GHG Protocol*” devam incluir os cinco gases e as duas famílias reconhecidas como GEE regulados pelo Protocolo de Quioto (CO₂, CH₄, N₂O, SF₆, HFCs, PFCs e NF₃), na construção civil, as maiores emissões de GEE são de CO₂, CH₄ e N₂O, resultantes do uso de combustíveis em geral e relatados nos Escopos 1 e 3 (SINDUSCON-SP, 2013), porém, na realização deste inventário foi considerado somente o apenas a contribuição do CO₂.

Os gases HFCs são emitidos pelas fugas de aparelhos de refrigeração. O SF₆ é utilizado como isolantes em equipamentos elétricos de grande capacidade, como chaves, disjuntores e transformadores. As emissões de PFC ocorrem na produção do alumínio, enquanto o NF₃ é utilizado na fabricação de telas de televisores e aparelhos eletrônicos. Como referência para exclusões por irrelevância foi adotada a orientação do Guia Metodológico para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Construção Civil – Setor Edificações (SINDUSCON/SP, 2013) que recomenda que cada fonte excluída, não seja superior a 1% do total do inventário, e que o total das fontes excluídas não seja superior a 5% do total do inventário.

4.7. Metodologia de Cálculo

A metodologia de cálculo adotada foi baseada em GVces (2011) (equações 1 e 2):

Tonelada de emissão = Dado da atividade x Fator de emissão **eq. 1**

Emissão em CO₂ equivalente = Tonelada de emissão x Potencial de aquecimento global **eq. 2**

Foi calculada a emissão de GEE para cada etapa da construção, de acordo com o memorial descritivo da obra e com a planilha de serviços, multiplicando pelo respectivo fator de emissão, desta forma, foi determinado a quantidade de emissões de GEE da atividade. O inventário de emissões é o somatório de todas as contribuições individuais dos gases emitidos em cada atividade.

Os fatores de emissão específicos e as respectivas fontes da literatura são fornecidos pelas planilhas do “*GHG Protocol*” (Figura 3). A metodologia “*GHG Protocol*” e suas versões são compatíveis com a metodologia de quantificação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (GVces, 2011).

Abas gerais	Introdução	Resumo	Fatores de emissão	Fatores variáveis	Fatores de conversão	Menu de navegação	
Escopo 1	Combustão estacionária	Combustão móvel	Emissões fugitivas	Processos industriais	Atividades agrícolas	Resíduos sólidos	Efluentes
Escopo 2	Compra de Energia Elétrica	Compra de Energia Térmica					
Escopo 3	Categorias do Escopo 3	Transporte & Distribuição (upstream)	Resíduos sólidos gerados na operação	Efluentes gerados na operação	Viagens a negócios	Transporte & Distribuição (downstream)	

Seção 1 - Notas técnicas

Seção 2 - Fatores de emissão para combustão estacionária

Tabela 1. Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis

Nº ref.	Combustível (clique aqui para ver a definição de cada combustível)	Combustível correspondente adotado pelo IPCC	Unidades	Poder Calorífico Inferior (PCI)	Densidade	Fonte	Fatores de Emissão	
				(GJ/t)	(kg/unidade)		CO ₂ (kg/TJ)	Fonte
2	Alcatrão	Coal Tar	m³	35,8	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
3	Asfaltos	Bitumen	m³	41,0	1.025	BEN 2012	80.700	MCT 2010
4	Carvão Metalúrgico Importado	Coking Coal	Toneladas	31,0	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
5	Carvão Metalúrgico Nacional	Coking Coal	Toneladas	28,9	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
6	Carvão Vapor 3100 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	12,4	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
7	Carvão Vapor 3300 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	13,0	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
8	Carvão Vapor 3700 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	14,7	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
9	Carvão Vapor 4200 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	16,7	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
10	Carvão Vapor 4500 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	17,8	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
11	Carvão Vapor 4700 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	18,6	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
12	Carvão Vapor 5200 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	20,5	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
13	Carvão Vapor 5900 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	23,4	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
14	Carvão Vapor 6000 kcal / kg	Other Bituminous Coal	Toneladas	23,9	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
15	Carvão Vapor sem Especificação	Other Bituminous Coal	Toneladas	11,9	1.000	BEN 2012	94.600	MCT 2010
16	Coque de Carvão Mineral	Coke Oven Coke and Lignite Coke	Toneladas	28,9	1.000	BEN 2012	107.000	MCT 2010
17	Coque de Petróleo	Petroleum Coke	m³	35,1	1.040	BEN 2012	97.500	MCT 2010
18	Etano	Ethane	Toneladas	46,4	1.000	IPCC 2006	61.600	IPCC 2006
19	Gás de Coqueria	Coke Oven Gas	Toneladas	38,7	1.000	IPCC 2006	44.400	IPCC 2006

Figura 3. Cópia da aba dos fatores de emissão da ferramenta GHG Protocol 2013, versão 2014.0. Fonte: Programa Brasileiro GHG Protocol (2014).

A determinação de Fatores de Emissão é calculada conforme descrito abaixo:

$$\text{Energia de Base (EB)} = \text{EL} \times \text{FCO} \times (44/12) \times 1000 \quad \text{eq. 03}$$

Onde:

EL = Valor padrão de teor de carbono;

FCO = 1. Na elaboração de inventários considera-se a oxidação total do carbono;

(44/12) = Relação estequiométrica: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$, onde 44 é o peso molecular do CO_2 e 12 o peso molecular do carbono, ou seja, 1 kg de C gera 3,67 kg de CO_2 ;

1000 = valor dimensional fixo para compatibilizar a unidade quilograma por Tera Joule (kg/TJ).

Considerando que os fatores de emissões de carbono recomendados pelo IPCC são definidos com base na energia efetivamente aproveitável do combustível, a conversão deve ser feita multiplicando-se o consumo de combustível pelo seu Poder Calorífico Inferior (PCI) (COPPETEC, 2003):

$$\text{Massa de Base} = (\text{PCI} \times \text{Energia de Base})/1000 \quad \text{eq. 04}$$

Assim, o fator de emissão é calculado pela equação 05:

$$\text{Fator de Emissão (FE)} = (\text{Massa de Base}/1000) \times \text{densidade} \quad \text{eq. 05}$$

Neste estudo foram utilizados os fatores de emissão disponibilizados pela própria ferramenta de cálculo da metodologia do Programa Brasileiro “*GHG Protocol*”.

Cada gás de efeito estufa tem um potencial diferente de contribuição para o aquecimento global. Para permitir a comparação das emissões de diferentes setores com diferentes gases, os volumes de cada gás e seu potencial de contribuição para o aquecimento global são convertidos em uma unidade comum, o carbono equivalente: CO_{2e}. Para determinação do carbono equivalente foi utilizado o Potencial de Aquecimento Global (GWP), que considera a influência dos gases na alteração do balanço energético da terra (SEEG, 2013).

Os cálculos das emissões foram realizados utilizando a Planilha MS Excel, onde a quantificação das emissões de cada fonte foi realizada conforme a equação:

$$EF_i = DAF_i \cdot FEF_i \quad \text{eq. 06}$$

Onde:

EF_i = Emissão de GEE da fonte i, na unidade.

DAF_i = variável determinante de emissão de GEE que foi efetivamente medida na fonte i.

FEF_i = fator de emissão de GEE adotado para a fonte i. Neste estudo, foram considerados os fatores de emissões publicados pelo IPCC, Programa Brasileiro “*GHG Protocol*”, Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), Departamento para o Meio Ambiente, Alimentação e Assuntos Rurais do Reino Unido (DEFRA), Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e fornecedores.

4.8. Metodologia para o cálculo das emissões no transporte

O cálculo das emissões de GEE relativo ao transporte foi realizado segundo os seguintes critérios:

Escopo 1: como o transporte de materiais foi realizado em veículos de empreiteiros ou em veículos locados, foi utilizado como dado de atividade a quantidade de combustível consumido na obra, contabilizada pela própria empresa. A quantidade de emissões foi calculada aplicando diretamente o fator de emissões escolhido, para cada combustível.

Os deslocamentos dos trabalhadores envolvidos na construção (mão-de-obra registrada, prestadores de serviços e empreiteiros) entre as suas residências e o local da obra foram efetuados por meio de transporte público ou em veículos próprios, portanto o consumo de combustível desta atividade não foi considerado na elaboração do inventário.

Escopo 3: transporte realizado por terceiros, na ausência de dados sobre o consumo efetivo de combustíveis, foram utilizados a carga transportada e a distância percorrida, escolhendo os fatores de emissão correspondentes para cada modal utilizado.

A planilha relativa ao ciclo 2014 do Programa Brasileiro “*GHG Protocol*” para o Escopo 1 na aba combustão móvel apresenta os cálculos das emissões referentes aos modais rodoviário, ferroviário, hidroviário e aéreo.

Para o transporte rodoviário existem três opções, sendo a primeira opção por tipo e ano de fabricação da frota de veículo, a opção dois o cálculo é efetuado por tipo de combustível e a terceira opção o cálculo é pela distância percorrida para realizar o cálculo das emissões de GEE desta fonte. A opção 1 é a mais precisa e a 3 a menos precisa (Programa Brasileiro GHG Protocol - Ferramenta de Cálculo, 2014).

As emissões de GEE em função da etapa de transporte dos materiais utilizados na obra foram calculadas baseadas em Costa (2012):

$$E_{CO_2} = DIST \times FC \times FE \quad \text{eq. 07}$$

Onde:

E_{CO_2} = quantidade de emissões de GEE devido ao transporte dos materiais em tonelada de CO_2 /tonelada de material transportado;

DIST = distância percorrida pelo veículo no transporte do material até a obra, em km;

FC = fator de consumo médio de combustível pelo veículo utilizado, em L/t/km (Quadro 10);

FE = fator de emissão, em t CO_2 /L de combustível (Quadro 2).

No Brasil, alguns combustíveis fósseis têm, por regulamentação legal, um percentual de biocombustível incorporado antes da venda ao consumidor final. Na planilha, esses percentuais são separados automaticamente, portanto, deve ser inserido o valor bruto de consumo de combustível. As emissões de CO_2 provenientes da queima de biomassa não são incluídas nas emissões totais, mas são indicadas separadamente.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2014), os fatores de emissão não variam de acordo com o ano do veículo, dessa forma, foi adotado o mesmo fator de emissão para todos os anos da frota. A Tabela 9 apresenta o consumo médio de combustível de acordo com o tipo

de veículo. Segundo Costa (2012), o fator de emissão de GEE (tCO₂/L) para gasolina automotiva é de 0,0027, para óleo combustível 0,0037 e para óleo diesel comercial é 0,0032.

Tabela 9. Consumo médio de combustível, de acordo com o tipo de veículo, considerado no cálculo das emissões no transporte dos materiais para a obra.

Veículo		Consumo de combustível (L/t/km)
Caminhões leves	(3,5 t ≤ PBT ¹ < 10 t)	0,0446
Caminhões médios	(10 t ≤ PBT < 15 t)	0,0347
Caminhões semipesados	(15 t ≤ PBT < 40 t)	0,0196
Caminhões pesados	(PBT ≥ 10 t)	0,0121
Trem		0,0115
Navio		0,0050

Fonte: Costa (2012). ¹PBT: peso bruto total

Para a etapa de transporte foram contabilizadas as distâncias entre as fontes de extração e as fábricas dos materiais utilizados na construção do edifício e entre as fábricas e a cidade de Maringá. Desse modo, o consumo de óleo diesel para o transporte por caminhões foi definido conforme cada caso. No transporte empregando trens, Ribeiro (2003) afirmou que apenas 6% das linhas ferroviárias brasileiras são eletrificadas, por isso, admitiu-se neste trabalho que todas as locomotivas utilizadas são movidas a óleo diesel.

Para determinar a distância percorrida foram identificadas e localizadas as empresas responsáveis pela extração e siderurgia de cada matéria-prima, baseando-se em dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2006), da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM) e das Associações Brasileiras de cada matéria-prima.

As considerações gerais foram baseadas em Teixeira e Bizzo (2000), em que não foram considerados os trajetos de retorno dos meios de transportes e os gastos e emissões referentes à manutenção dos meios de transporte, o fator de emissão do óleo diesel adotado foi de 2,671 kgCO₂/L, de acordo com o Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosférica por Veículos Automotores Rodoviários – Relatório Final (MMA, 2011) e para a caracterização do óleo diesel foram adotados os valores do Poder Calorífico de 45008 kJ/kg e peso específico de 852 kg/m³.

4.9. Análise das incertezas

De acordo com o Guia Metodológico para Inventários de Emissões de GEE na Construção Civil – Setor Edificações (SINDUSCON/ SP, 2013) a análise das incertezas deve ser baseada em um intervalo de confiança de 95% (IC 95%), sendo atribuída porcentagem de

incerteza para cada etapa do processo e para cada fonte de emissão que compõem o inventário.

A incerteza do inventário de GEE está associada à quantificação dos parâmetros utilizados: dados da atividade e os fatores de emissão (SILVA, 2014). A análise de incertezas considera as incertezas das etapas da obra incluindo a coleta de dados da atividade, lançamento dos dados da atividade em uma planilha de cálculo, fator de emissão e a conversão dos dados de atividade na unidade sobre a qual se aplica o fator de emissão (SILVA, 2014). Assim, para uma fonte individual de emissões de GEE na obra foi aplicada a equação 08.

$$I_{\text{fonte individual}} = (I_{\text{coleta de dados}}^2 + I_{\text{lançamento}}^2 + I_{\text{conversão}}^2 + I_{\text{fator de emissão}}^2)^{0,5} \quad \text{eq. 08}$$

Onde

$I_{\text{fonte individual}}$ = Porcentagem de incerteza atribuída à fonte individual (IC 95%).

A incerteza das emissões de GEE da obra é obtida por meio da soma ponderada das incertezas (em %) de cada fonte individual da obra calculada de acordo com a equação 08, utilizando como peso as emissões associadas a cada fonte individual (em número absoluto), conforme a equação 09. (SINDUSCON/SP, 2013).

$$I_{\text{obra}} = [(I_{f1} \cdot E_{f1})^2 + (I_{f2} \cdot E_{f2})^2 + \dots + (I_{fn} \cdot E_{fn})^2]^{0,5} / (E_{f1} + E_{f2} + \dots + E_{fn}) \quad \text{eq. 09}$$

Onde

I_{obra} = Incerteza atribuída ao inventário de emissões de GEE da obra, dentro do intervalo de confiança de 95% (%).

I_{fn} = Incerteza associada a cada fonte de emissão das etapas consideradas neste estudo (%).

E_{fn} = Quantidade de emissões de GEE de determinada fonte individual (kg de CO₂).

As incertezas consideradas neste trabalho e recomendadas pelo Guia do Sinduscon/SP (2013) estão relacionadas nas tabelas B10, B11 e B12 (Anexo B).

4.10. Estimativa das incertezas do inventário da obra

Para estimativa das incertezas das emissões de GEE, adotou-se um critério conservador, e em cada etapa do inventário foram utilizados os dados das tabelas B1 a B9 do Anexo B e as seguintes considerações:

- Consumo de materiais (escopo 3) em função da coleta de dados (por documentos de terceiros): 1,0 %.
- Energia adquirida (escopo 2) em função da coleta de dados: 0,1 %. Realizou-se a medição direta do consumo de energia elétrica na obra, através da leitura mensal no medidor instalado na obra;
- Consumo de combustível (escopo 3) em função da coleta de dados: 3,0 %. Este resultado foi estimado a partir da média nacional por tipo de veículo com dados do CTI (2014);
- Consumo de materiais (escopo 3) em função da conversão dimensional: 0,6 %;
- Coluna de lançamento de dados: todos os lançamentos de dados coletados foram calculados manualmente e transferidos para planilhas de cálculo em Excel®. Portanto, adotou-se a incerteza de 1,5%.

4.11. Redução dos efeitos da emissão de GEE pela neutralização do carbono

A neutralização ou redução das emissões de GEE é a retirada do CO₂ da atmosfera e a conversão deste em biomassa pela reação de fotossíntese (Azevedo e Quintino, 2010). Esta reação permite o acúmulo de biomassa por meio da absorção do CO₂ e liberação do oxigênio (O₂) na atmosfera, fixando o carbono nas árvores. Ainda, de acordo com os mesmos autores o número de árvores a serem plantadas para neutralização do CO₂ emitido no período de um ano pode ser calculado pela equação 10:

$$N = [(E_t / F_f) \cdot 1,2] \quad \text{eq. 10}$$

Onde

N= número de árvores a serem plantadas;

E_t = quantidade total de GEE emitida pela obra, em tCO₂;

F_f = fator de fixação de carbono em biomassa no local do plantio, em tCO₂/nº de árvores plantadas, considerando um processo de regeneração natural das florestas situadas em regiões de clima tropical ou subtropical úmido com precipitação anual entre 1000 e 2000 mm e o plantio tradicional de espécies nativas para recuperação de áreas degradadas, no bioma Mata

Atlântica, é realizado sob espaçamento de 3 x 2 metros, totalizando cerca de 1.667 árvores por hectare. Assim, o fator de fixação adotado neste estudo foi de 0,154 tCO₂/ n° de árvores (OLIVEIRA, 2013);

1,2 = Fator de compensação para possíveis perdas de mudas;

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Transporte do cimento

O transporte mais utilizado para distribuição do cimento nacional é o rodoviário, responsável por 94%, o ferroviário, 3% e o hidroviário, 3%, utilizado principalmente na região norte do Brasil (MME, 2014), por isso, este tipo de transporte não foi considerado neste estudo.

Como resultado, constatou-se que a fábrica que abastece a cidade de Maringá está localizada no município de Rio Branco do Sul/ PR, distante 450 km e o transporte empregado entre a fábrica e o local da obra foi o rodoviário. Foi adotado o fator de emissão de 0,613 kgCO₂/kg cimento (Votorantim Brasil, 2012), desta forma, o fator de emissão de GEE devido ao transporte do cimento da fábrica até o local da obra avaliada foi de 0,0282 tCO₂/t_{cimento} (Tabela 10).

Tabela 10. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do cimento até a obra avaliada.

Veículo	Distância ¹ km	Consumo ² L/t _{material}	FE ³ tCO ₂ /t _{material}
Caminhão semipesado à óleo diesel	450	8,82	0,0282

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa (2012)

5.2. Transporte do aço

Com relação ao transporte do aço, constatou-se que todo o aço utilizado na obra foi originado da Empresa Usiminas e que o ciclo de produção envolve desde a extração do minério de ferro até a produção de aços planos. Deste modo, foi considerado como local da extração do minério de ferro as minas localizadas no Quadrilátero Ferrífero, próximo da cidade de Belo Horizonte/ MG e o transporte, realizado por trens movidos à óleo diesel, até a cidade de Cubatão, distante 800 km, onde se situa a Usiminas – Unidade Cubatão, que realiza a siderurgia do aço.

Em Cubatão, o minério é transformado em barras e chapas de aço e vendido para as indústrias fabricantes de tubos e acessórios de aço. Considerou-se, neste caso, que a Usiminas, unidade Cubatão, vendeu o aço para a Indústria Aços Vilarés S.A., localizada na cidade de Mogi das Cruzes S/P, distante, aproximadamente, 113 km de Cubatão/ SP. De lá, os acessórios de aço foram transportados (65 km) para São Paulo/ SP e, de São Paulo para Maringá/ PR (632 km). Considerou-se que todos esses trajetos foram percorridos por

caminhões. Sendo assim, baseado na distância e no consumo dos veículos, verificou-se que o fator de emissão de GEE devido ao transporte do aço foi de 0,0840 tCO₂/t_{material} (Tabela 11).

Tabela 11. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do aço até a obra avaliada.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² L/t _{material}	FE ³ tCO ₂ /t _{material}
Trem movido a óleo diesel	800	9,2	0,02944
Caminhão semipesado a óleo diesel	113	2,21	0,0071
Caminhão médio a óleo diesel	65	2,25	0,0079
Caminhão semipesado a óleo diesel	632	12,39	0,0396
Fator de emissão de GEE devido ao transporte do aço			0,0840

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³ Cálculado baseado em Costa (2012)

5.3. Transporte do gesso

Para o cálculo das emissões em função do transporte o gesso, foi considerado neste estudo, o gesso produzido no Polo Gesseiro do Araripe/ PE. As distâncias das minas até as fábricas de gesso variam de 3 a 40 km, assim, adotou-se uma distância média de 20 km. O gesso foi enviado das fábricas até Mogi das Cruzes/ SP, (2.427 km), onde está situada a fábrica das placas de gesso acartonado, utilizadas nas paredes e forros da obra e, deste local para Maringá (700 km). Foi considerado que todo o transporte foi realizado por caminhões. Portanto, baseado na distância e no consumo dos veículos, verificou-se que o fator de emissão de GEE devido ao transporte do gesso, calculado a partir de seu local de origem até a obra avaliada, em Maringá/ PR, foi de 0,1983 tCO₂/t_{material} (Tabela 12).

Tabela 12. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do gesso, de sua origem até o local da obra avaliada.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² L/t _{material}	FE ³ tCO ₂ /t _{material}
Caminhão médio a óleo diesel	20	0,69	0,0022
Caminhão semipesado a óleo diesel	2.427	47,57	0,1522
Caminhão semipesado a óleo diesel	700	13,72	0,0439
Fator de emissão de GEE devido ao transporte do gesso			0,1983

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa, 2012

5.4. Transporte da cal, da areia, da brita, do concreto, da argamassa usinada e da madeira

Para o cálculo do fator de emissão referente ao transporte da cal, foi considerado o transporte do calcário até a fábrica e desta, até Maringá, utilizando-se caminhões. O produto foi fornecido pelo Grupo Votorantim, Rio Branco do Sul/ PR, localizado a uma distância média de 450 km de Maringá. Adotou-se que a cal foi do tipo III, embalada em sacos de 20 kg. Considerando a distância e o consumo dos veículos, verificou-se que o fator de emissão de GEE devido ao transporte da cal, calculado a partir da origem até a obra, em Maringá/ PR, foi de 0,0282 tCO₂/t_{material} (Tabela 8).

A comercialização de areia e de brita é regional, por isso, foi considerado o consumo de areia bruta fornecida por empresas da Associação das Indústrias Extrativas de Areia do Noroeste do Paraná - APA, extraída da bacia do Rio Paraná, Loanda/ PR e transportada por caminhões, a uma distância média de 150 km de Maringá (APA, 2014). De acordo com a distância e o consumo dos veículos, foi possível verificar que o fator de emissão de GEE atribuído ao transporte de areia e brita, calculado a partir de sua origem até a obra, em Maringá/ PR, foi de 0,0094 tCO₂/t_{material} (Tabela 12).

O concreto e a argamassa usinada foram fornecidos por empresas concreteiras localizadas em Maringá, situadas a, aproximadamente, 10 km do local da obra. O transporte foi efetuado por caminhões betoneiras e fator de emissão de GEE referente a este transporte foi de 0,0006 tCO₂/t_{material} (Tabela 13).

Tabela 13. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte da cal, da areia, da brita, do concreto e da argamassa usinada e da madeira, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² (L/t _{material})	FE ³ (tCO ₂ /t _{material})
Transporte da cal			
Caminhão semipesado a óleo diesel	450	8,82	0,0282
Transporte da areia e da brita			
Caminhão semipesado a óleo diesel	150	2,94	0,0094
Transporte do concreto e da argamassa usinada			
Caminhão betoneira	10	0,196	0,0006
Transporte da madeira			
Caminhão semipesado a óleo diesel	230	4,51	0,0144

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa (2012)

A madeira empregada na obra foi madeira legal, extraída da região de Telêmaco Borba/ PR, distante 230 km de Maringá, transportadas por caminhões. Desta forma, o fator de emissão de GEE resultante do transporte da madeira foi de 0,0144 tCO₂/t_{material} (Tabela 12).

5.5. Transporte do bloco cerâmico furado, do bloco de concreto e do revestimento cerâmico

As olarias são regionais e, neste estudo, foi considerado o consumo de blocos cerâmicos originados de Japurá/ PR, a 110 km de Maringá. No caso de blocos de concreto o produto foi fabricado em Ribeirão Pires/ SP, a 700 km de Maringá. O revestimento cerâmico, do tipo porcelanato, foi oriundo de Criciúma/SC, a 905 km de Maringá. Todos estes materiais foram transportados por caminhões. Os fatores de emissão de GEE referentes ao transporte dos blocos cerâmicos furados, blocos de concreto e do revestimento cerâmico foram de 0,0069; 0,0439 e 0,0568 tCO₂/t_{material} , respectivamente (Tabela 14).

Tabela 14. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte bloco cerâmico furado, do bloco de concreto e do revestimento cerâmico, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² (L/t _{material})	FE ³ (tCO ₂ /t _{material})
Transporte do bloco cerâmico furado			
Caminhão semipesado a óleo diesel	110	2,16	0,0069
Transporte do bloco de concreto			
Caminhão semipesado a óleo diesel	700	13,75	0,0439
Transporte do revestimento cerâmico			
Caminhão semipesado a óleo diesel	905	17,74	0,0568

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa (2012).

5.6. Transporte do vidro laminado

Para o transporte do vidro, foram consideradas as afirmações de Taborianski (2002), que relata que todo o material provém da indústria Cebrace. Nesta indústria, a areia é coletada a 300 km da fábrica de vidro, que se localiza em Caçapava/ SP. Da fábrica, o vidro pronto é transportado para São Paulo/SP e então para Maringá/PR, por caminhões. O fator de emissão de GEE encontrado para o transporte do vidro temperado foi de 0,0756 tCO₂/t_{material} (Tabela 15).

Em relação à barrilha, Domingues (2010) afirma que a Indústria Cebrace tem três fornecedores no mundo: em Westport (Connecticut, EUA), em Overlandpark (Kansas, EUA)

e em Bruxelas (Bélgica). Porém, a contribuição do transporte da barrilha não foi considerada neste inventário devido a sua irrelevância.

Tabela 15. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do vidro temperado, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² (L/t _{material})	FE ³ (tCO ₂ /t _{material})
Caminhão semipesado a óleo diesel	300	5,88	0,0188
Caminhão médio a óleo diesel	120	2,96	0,0095
Caminhão semipesado a óleo diesel	754	14,78	0,0473
Fator de emissão de GEE devido ao transporte do vidro			0,0756

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa (2012).

5.7. Transporte do alumínio

Neste estudo foram considerados os relatos de Taborianski (2002), que afirmou que toda bauxita, alumina e alumínio é produzida pela Empresa CBA. A bauxita extraída por essa empresa é originada de minas existentes em Poços de Caldas/ MG e, de lá, é transportada para a usina de britagem, distante 15 km de Poços de Caldas. Na sequência, o produto é transportado 290 km, via transporte ferroviário, movido a óleo diesel, para a indústria da CBA, em Alumínio/SP. Por fim, o alumínio é enviado, por caminhões, para São Paulo/SP (80 km) e depois para Maringá/PR (700 km). O fator de emissão de GEE calculado referente ao transporte do alumínio foi de 0,0556 tCO₂/t_{material} (Tabela 16).

Tabela 16. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do alumínio, de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² (L/t _{material})	FE ³ (tCO ₂ /t _{material})
Caminhão pesado a óleo diesel	15	0,18	0,0006
Trem movido a óleo diesel	290	3,34	0,0107
Caminhão semipesado a óleo diesel	80	1,57	0,0050
Caminhão semipesado a óleo diesel	632	12,39	0,0396
Fator de emissão de GEE devido ao transporte do alumínio			0,0556

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa (2012).

5.8. Transporte do silicone e da lã de rocha

De acordo com Becker (2009), as principais etapas para a produção de silicone ocorrem nos Estados Unidos e, os materiais são transportados para o Brasil, via marítima, até Santos, de onde é transportado, por caminhões, até a fábrica da Dow Corning Brasil. Assim, considerou-se o transporte marítimo e fluvial realizado entre a matriz da Dow Corning, em Midland (Michigan/ EUA) até o Brasil, com uma distância aproximada de 8.000 km.

No caso do transporte rodoviário, considerou-se o transporte, por caminhões, do porto de Santos até Hortolândia/ SP, onde está localizada a fábrica da Dow Corning do Brasil, e de Hortolândia até São Paulo/SP, percorrendo 191 e 116 km, respectivamente. Todavia este material não é utilizado diretamente na obra, sendo agregado nos painéis de ACM e nas placas de gesso acartonado, portanto para o estudo da contribuição para as emissões de GEE deste material foi considerado o transporte dos materiais nos quais ele foi incorporado.

Analogamente ao caso do silicone, a lã de vidro é utilizada no enchimento de placas de gesso acartonado, portanto a sua contribuição para as emissões de GEE foi considerada juntamente com as emissões originadas das placas de gesso acartonado.

5.9. Transporte do EPDM e EPS

No Brasil, a única empresa fabricante de EPDM é a DSM Elastômeros do Brasil, localizada em Triunfo/ RS. O produto é transportado, por caminhões, de Triunfo até São Paulo/ SP (1.115 km), onde o mesmo é incorporado na fabricação da telha trapezoidal. Os fatores de emissão de GEE para o transporte do EPDM e do EPS (Isopor®) foi de 0,0699 tCO₂/t_{material} (COSTA, 2012).

Tabela 17. Fator de emissão de GEE atribuído ao transporte do EPDM e do EPS de sua origem até o local da obra avaliada, em Maringá/ PR.

Veículo	Distância ¹ (km)	Consumo ² (L/t _{material})	FE ³ (tCO ₂ /t _{material})
Caminhão semipesado a óleo diesel	1.115	21,85	0,0699

Fonte: ¹Google maps; ²calculado; ³Costa (2012).

5.10. Cálculo das emissões devido à energia elétrica adquirida

A energia elétrica adquirida engloba o consumo de eletricidade para iluminação e operação de equipamentos. A eletricidade foi proveniente de distribuidoras e centrais elétricas pertencentes ao Sistema Interligado Nacional (SIN), cuja quantidade consumida foi estimada

a partir de leitura realizada no medidor de Watt-hora instalado no canteiro da obra (Tabela 18).

Tabela 18. Quantidade de eletricidade adquirida durante a execução da obra, no período de janeiro a dezembro de 2014 e os respectivos Fatores de Emissão e quantidade de emissões de GEE.

Mês	Eletricidade comprada ¹ (kwh)	Fator de emissão ² (kgCO ₂ /kwh)	Emissões de GEE ³ (kgCO ₂)
Jan	3.116	0,0911	283,87
Fev	2.665	0,1169	311,54
Mar	3.258	0,1238	403,34
Abr	2.833	0,1310	371,12
Maio	2.975	0,1422	423,04
Jun	3.123	0,1440	449,71
Jul	3.161	0,1464	462,77
Ago	3.272	0,1578	516,32
Set	3.245	0,1431	464,36
Out	2.915	0,1413	411,88
Nov	2.870	0,1514	434,52
Dez	2.585	0,1368	353,63
Total	36.018	0,1356	4.884,04

Fonte: ¹coleta *in loco*; ²MCTI (2014); ³calculado.

5.11. Cálculo das emissões da obra

As emissões de GEE foram calculadas com base nos serviços realizados, na quantidade de insumos consumidos e materiais adquiridos para sua realização (Tabelas do anexo A), tendo como referência o memorial descritivo e a planilha de serviços e preços-custos, da construtora contratada para realização da obra, usando os respectivos fatores de emissões das planilhas da Ferramenta “*GHG Protocol*”.

5.12. Preparação do terreno

O terreno onde foi edificada a construção foi limpo e isolado com tapumes ou faixas. Dentro dele foi montada uma estrutura destinada ao estoque de materiais e equipamentos utilizados na construção, denominada Canteiro de Obra, compatível com as dimensões da obra e conforme as exigências na NR 18 – Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção (Memorial descritivo da obra).

O terreno foi escavado e rebaixado até o nível apropriado para a construção. A escavação consistiu nos serviços de corte e raspagem mecanizada do solo, exceto rocha, até uma profundidade média de 4 metros e remoção de terra e transporte para locais adequados de

descarte, situados a uma distância média de 3 km da obra. A seguir foi realizada a compactação da área escavada, que compreendeu o espalhamento, aeração, umedecimento e acabamento do material importado, já depositado no local. Após a conclusão dos serviços gerais dos pavimentos: subsolo 01 e 02, as áreas escavadas no entorno da edificação foram aterradas de acordo com o projeto arquitetônico e de paisagismo. A terra para o aterro foi importada, estando limpa e isenta de material orgânico. O aterro foi feito em camadas com menos de 30 cm de espessura (Memorial descritivo da obra).

Na preparação do terreno, foram utilizados os equipamentos listados na Tabela A2 (Anexo), sendo todos movidos a óleo diesel. A potência em HP e o consumo de combustível horário e por metro cúbico foram estimados de acordo com os dados do DNIT (2003) e TCPO (2014). Para o cálculo do tempo de utilização de cada equipamento para realização da tarefa específica, foi multiplicada a quantidade de terra movimentada (Tabela A1) pelo consumo específico (h/m³) (TCPO, 2014).

Foi considerado que todos os equipamentos funcionavam no regime de intensidade média, com fator de potência igual a 55% e consumo específico de óleo diesel de 0,15L/hp.h (FARIA, 2012). Assim, o consumo horário de combustível foi calculado multiplicando-se a potência nominal do equipamento e o fator de potência pelo consumo do motor. Finalmente, o consumo total do equipamento foi calculado multiplicando-se o consumo horário de combustível pelo tempo de utilização. Desta forma, o total de GEE emitido na etapa de preparação do terreno foi de 22.756,8 (kg CO₂) (Tabela 19).

Tabela 19. Quantidade de GEE emitidos na fase de preparação do terreno da obra

Tipo de Combustível	Consumo ¹ (L)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /L)	Quantidade de emissão de GEE ³ (kg CO ₂)
Óleo diesel (puro)	8.212,4	2,63	21.598,6
Biodiesel (B100)	493,3	2,35	1.158,2
Total de GEE emitido na etapa de preparação do terreno			22.756,8

Fonte: ¹ memorial descritivo; ² Hammond e Jones (2011) (2011); ³ calculado.

5.13. Infraestrutura

5.13.1. Instalação do canteiro de obra

Na construção civil, a madeira é utilizada de forma temporária, como fôrmas para concreto, andaimes, escoramentos e em estruturas temporárias como banheiros, depósitos,

podendo ser reutilizada ou não. De forma definitiva, é utilizada nas esquadrias de portas e janelas e em forros e pisos (IPT, 2009).

Neste estudo, foram utilizados os fatores de emissão determinados por Marcos (2009), equivalente a 0,131 kgCO₂/kg, considerando a densidade aparente de 634 kg/m³ e umidade de 12%, da madeira de pinus (*Pinus elliottii*) e determinada por Palermo et al. (2004), equivalente a 87,33 kgCO₂/m³ para as peças de madeira serrada e beneficiada e os valores obtidos por Hammond e Jones (2011) para as madeiras empregadas em usos temporários. Desta forma, o total de GEE emitidos em função da quantidade de madeira utilizada na instalação do canteiro foi de 2.773,95 (kg CO₂) (Tabela 20), o que equivale a 5,412 kg CO₂/m² de construção e o total emitido no transporte desta madeira foi de 58,75 kg CO₂.

Tabela 20. Quantidade de GEE emitidos pelo uso da madeira na instalação do canteiro da obra

Material	Área ¹ (m ²)	Densidade ² (kg/m ³)	Massa ³ (kg)	Fator de Emissão ⁴ (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE emitidos ³ (kg CO ₂)
Chapa de compensado para tapume (esp.14 mm)	407	552	3.145,30	0,72	2.264,62
Chapa de compensado para escritório (esp.14 mm)	85	552	656,88	0,72	472,95
Madeira para portão (esp. 25 mm)	9,68	634	153,43	0,131	20,10
Madeira para lavatório, chuveiro e sanitário (esp.18 mm)	10,89	634	124,28	0,131	16,28
Total	512,57	-	4.079,89	-	2.773,95

Fonte: ¹memorial descritivo; ²literatura; ³calculado; ⁴ Hammond e Jones (2011) (2011).

5.13.2. Sinalização e equipamentos de proteção coletivos

Os materiais utilizados na sinalização e os equipamentos de proteção coletivos listados na tabela A4 (Anexo) foram locados e foram de uso temporário, seguidos de devolução ao locador no término de sua utilização, portanto não foram considerados neste estudo.

5.13.3. Fundação do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso

As fundações, responsáveis por transmitir as cargas da construção ao terreno onde ela é apoiada, foram executadas de acordo com os projetos arquitetônicos, estrutural e de sondagem do terreno, de acordo com o peso da edificação, com a profundidade e o tipo de solo.

A execução das fundações e estrutura foi realizada por empresa especializada terceirizada e contratada, cujas emissões de GEE estão fora do controle organizacional e operacional da construtora, conforme detalhado no Memorial descritivo da obra, portanto não foram considerados neste estudo. Além disso, de acordo com a metodologia do Programa Brasileiro “*GHG Protocol*” (Fundação Getúlio Vargas, 2011), estas fontes de emissão de GEE são classificadas no Escopo 3, cuja inclusão no inventário é optativa, pois inclui emissões que são consequentes das atividades da construtora, mas ocorrem em fontes que não são de propriedade ou controladas pela mesma (Sinduscon/ SP, 2013).

Neste estudo, foram consideradas as fases de fundação dos serviços de construção do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso, que foram executados sob a responsabilidade da construtora.

Na Tabela A5 (Anexo A) estão listados os materiais consumidos na execução da fundação do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso.

A alvenaria foi composta pela atividade de assentamento dos blocos cerâmicos furados de dimensões 0,09 m de largura, 0,19 m de comprimento e 0,19 m de altura, cujo peso médio, segundo os fabricantes e fornecedores equivale a 2,45 kg. O assentamento foi realizado no sistema tijolo deitado utilizando argamassa de traço 1:4, espessura de 0,19 m e espessura da junta de 0,01 m. Neste sistema de assentamento, em 1 m² são utilizados 50 tijolos e 0,028 m³/m² de argamassa (TCPO, 2014).

Na sequência foi realizado o chapisco com argamassa de cimento e areia, com traço 1:3, espessura 0,005 m. Este estudo se refere, especificamente, ao cimento Portland tipo CP II – F – 32, para uso na construção civil e será empregada a palavra “cimento” para se referir ao tipo Portland. O chapisco foi realizado em uma superfície de 130 m² consumindo 0,650 m³ de argamassa (TCPO, 2014).

No material para a confecção de 585,72 m² das fôrmas para concreto armado em fundações, foram consideradas as tábuas, estrados da laje e escoramento e duas vezes de utilização (Memorial descritivo da obra). Foram consumidos, por m² de fôrma para concreto armado em fundações, 0,15 kg de prego 18 x 27, 0,17 L/m² e 0,10 L/m² de desmoldante para

formas de tábuas e madeirit[®], respectivamente e 0,02 kg de arame recozido nº18 por kg de aço CA-60 consumido na armadura (TCPO, 2014).

Baseado nas considerações colocadas acima, no tipo de material empregado, massa e fator de emissão, obteve-se como resultado um total de emissão de GEE na etapa de infraestrutura da obra de 80.242,76 kg CO₂ (Tabela 21).

Tabela 21. Quantidade de GEE emitido na etapa de infraestrutura

Material	Massa ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (Kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ³ (Kg CO ₂)
Tábua (25 mm)	9.283,67	0,131	1.216,2
Madeirit [®] (12 mm)	1.260,68	0,72	907,69
Aço armadura CA-60 (5 mm)	6.524,4	1,46	9.525,62
Prego para forma	87,86	1,46	128,76
Desmoldante para forma de tábuas de madeira	89,613	4,572	409,10
Desmoldante para forma de madeirit [®]	17,127	4,572	78,30
Arame recozido	130,49	2,25	293,60
Concreto 30 MPa	158.675	0,407	64.580,72
Bloco cerâmico	7.962,5	0,24	1911
Cimento	910	0,613	557,83
Areia	5.714	0,0026	14,86
Cal	804	0,77	619,08
Total de GEE emitido na etapa de infraestrutura			80.242,76

¹memorial descritivo da obra; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

A tabela 22 mostra um total de 974,65 kg CO₂ emitidos no transporte dos materiais utilizados na etapa de construção da fundação do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso (Tabela 22).

Tabela 22. Quantidade de GEE emitido no transporte dos materiais utilizados na infraestrutura da obra

Material	Massa ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (KgCO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ² (Kg CO ₂)
Tábua (25 mm)	9.283,67	0,0144	133,68
Madeirit [®] (12 mm)	1.260,68	0,0144	18,15
Aço armadura CA-60 (5 mm)	6.524,4	0,0840	548,05
Prego para forma	87,86	0,0840	7,38
Desmoldante para forma	89,613	0,0398	3,57
Desmoldante para forma de madeirit [®]	17,127	0,0398	0,68
Arame recozido	130,49	0,0840	10,96
Concreto 30 MPa	158.675	0,0006	95,20
Bloco cerâmico	7.962,5	0,0069	54,94
Cimento	910	0,0282	25,66
Areia	5.714	0,0094	53,71
Cal	804	0,0282	22,67
Total de GEE emitido no transporte dos materiais das fundações			974,65

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

A tabela 23 mostra a quantidade de GEE emitido na fase de infraestrutura considerada no inventário da obra.

Tabela 23. Quantidade de GEE emitido na fase de infraestrutura

Atividades na fase de infraestrutura	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Instalação do canteiro	2.773,95
Fundação do muro de arrimo, do portal de entrada e da rampa de acesso	80.242,76
Transporte de Materiais	1.033,40
Total de GEE emitido na fase de infraestrutura	84.050,11

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

5.14. Vedações Internas: Divisórias, Esquadrias e Forro

De acordo com o memorial descritivo da obra, o fechamento interno da obra (Tabelas 23 a 28 do Anexo), consistiu de, quase exclusivamente, gesso acartonado, com isolamento acústica e vidro temperado, com exceção do pavimento subsolo 02, cujo fechamento foi realizado em alvenaria convencional e a escada enclausurada em tijolos de concreto leve.

A alvenarias do pavimento subsolo 02 foi executada com tijolos cerâmicos de 6 furos, medindo 10x15x20cm, de primeira qualidade, secos e padronizados, respeitando-se os padrões técnicos necessários para uma boa segurança, durabilidade e conforto ambiental. O

assentamento foi realizado com regularidade, formando fiadas perfeitamente niveladas, aprumadas, alinhadas e dispostas em amarração, utilizando argamassa usinada, com espessura máxima de 1,5cm, sem juntas abertas. Neste sistema de assentamento, em 1 m² foram utilizados 28 tijolos e 0,016 m³/m² de argamassa (TCPO 2014).

O assentamento da escada enclausurada foi realizado com blocos de concreto autoclavado (Siporex[®]) com densidade de 550 kg/m³ e peso unitário de 12, 375 kg, utilizando argamassa usinada (Siporex[®]).

Como a alvenaria de vedação foi executada depois da concretagem da estrutura, foi feita na fixação da mesma, o encunhamento com argamassa aditivada com compensador de expansão, de primeira qualidade, na proporção indicada pelo fabricante do produto. Neste caso, também foram chumbadas, nos elementos estruturais verticais (pilares) que ficam em contato com a alvenaria, a cada três fiadas de tijolos, barras de aço com 6,4 mm de espessura e 60 cm de comprimento, fazendo a amarração da alvenaria à estrutura. As barras foram chumbadas nos pilares com adesivo estrutural fluido, a base de epóxi, de primeira qualidade.

As vergas e contravergas de concreto armado foram executadas, conforme projeto estrutural, que corresponderam, no mínimo, ao comprimento do vão acrescidos de 30 cm para cada lado, sobre os vãos (vergas) de todas as portas e janelas e sob os vãos (contravergas) de todas as janelas.

A Tabela A6 (Anexo A) mostra o consumo de material, por m², utilizado na montagem de 39,55 m² de verga 0,10x0,10 em concreto de 15 Mpa com diâmetro: 6,3 mm (TCPO, 2014).

As divisórias em gesso acartonado (esp. 10 cm) foram executadas por empresa especializada. Estas são compostas de estrutura de perfis de aço galvanizado e chapas de gesso, em ambas as faces, com miolo acústico de lã de rocha. Os principais componentes do sistema são as placas de gesso acartonado para divisórias, com dimensões de 12,5 mm de espessura, 1,20 m de largura e 2,8 m de altura e os perfis, guias e montantes de aço galvanizado. Utilizando-se para as guias os perfis com espessura de no mínimo 0,50 mm G48, G75 e G90 com largura de 48 mm, 75 mm e 90 mm, respectivamente. Para os montantes foram utilizados os perfis M48, M75 e M90 com largura de 48 mm, 75 mm e 90 mm, respectivamente e altura de abas de 35 mm, com densidade linear de massa de 0,62 kg/m, 0,50 kg/m e 0,21 kg/m, respectivamente (IPT, 2002).

Os principais acessórios empregados foram os parafusos auto-atarrachantes, para a fixação das placas e para fixação metal/metal, fita de papel microperfurado, para a execução

das juntas entre as placas, massa para juntas, empregada na execução das juntas entre placas e para o arremate das cabeças dos parafusos e cola para calefação do espaço entre as placas e o piso (IPT, 2002).

As chapas utilizadas foram dos tipos “Standard” e “Resistente a Umidade” dependendo da utilização, com espessura de 12,5 mm, cujos pesos são 9,5kg e 10kg, respectivamente, com acessórios do próprio fabricante. O peso total das placas montadas, por metro quadrado, é de 12,321kg e 12,821kg, respectivamente (PLACO DO BRASIL, 2013).

No cálculo das emissões de GEE dos componentes da placa de gesso acartonado, não foi considerado o aço galvanizado. A explicação reside no fato de que ele é obtido por meio de imersão em zinco fundido, onde, através de uma reação química o zinco é incorporado ao aço, tornando-o resistente à corrosão e, neste processo, as emissões de GEE são muito baixas, devido ao fato de que o ácido descartado no processo é utilizado para neutralização de outros resíduos e na fabricação de produtos químicos para tratamento de água (GALVANIZAÇÃO, 2015).

Os demais componentes como silicone, colas, aditivos e fitas para juntas também não foram considerados nos cálculos, em função de não serem produzidos no Brasil e devido a pequena quantidade utilizada (KNAUF DRYWALL, 2012).

O fator de emissão da placa de gesso acartonado montada, em kg CO₂/kg, é o somatório total dos fatores de emissão de cada material componente da placa. Foram consideradas placas de gesso acartonado para forro modular removível, com dimensões de 0,625m de largura e 0,625m de altura, com sistema de perfis ocultos do tipo cantoneira, transversal e longarina do tipo T, com peso por placa de 7,2 kg/m² (PLACO DO BRASIL, 2013).

A partir das considerações colocadas e dos materiais e suas respectivas massas e fatores de emissão, obteve-se um total GEE emitidos na etapa de transporte das divisórias de 16.959,37 (kg CO₂) (Tabela 24) e um total de GEE emitido na etapa de instalações das divisórias internas de 81.375,58 kg CO₂ (Tabela 25).

Tabela 24. Quantidade de GEE emitida na etapa de transporte das divisórias utilizadas na obra

Material	Massa ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Tijolo cerâmico	15.640,8	0,0069	107,92
Bloco de concreto	24.750	0,0439	1.086,52
Argamassa usinada	16.916,2	0,0006	10,15
Areia lavada	1.398,9	0,0094	13,15
Brita	1.421,2	0,0094	13,36
Cimento	10.599,4	0,0282	298,90
Aço CA-60	2.373	0,0840	199,33
Arame recozido	47,46	0,0840	3,99
Prego 18 X 27	79,1	0,0840	6,64
Tábua	3.184,5	0,0144	45,86
Pontolete	877,6	0,0144	12,64
Desmoldante	4,8053	0,0398	0,191
Divisória completa RU	5.388,2	0,1983	1.068,48
Divisória completa ST	70.759,8	0,1983	14.031,67
Divisória em vidro laminado,	801,25	0,0756	60,57
Total de GEE emitido na etapa de transporte			16.959,37

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 25. Quantidade de GEE emitida na fase de instalação das divisórias da obra

Material	Massa ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ³ (kg CO ₂)
Tijolo cerâmico (10x15x20cm)	15.640,80	0,11100	1.736,13
Bloco de concreto (12,5x30x60cm)	24.750,00	0,34700	8.588,25
Argamassa usinada	16.916,20	0,17400	2.943,40
Areia lavada	1.398,90	0,00261	3,65
Brita	1.421,20	0,00211	3,00
Cimento	10.599,40	0,61300	6.497,40
Aço CA-60	2.373,00	1,46000	3.464,60
Arame recozido	47,46	2,25000	106,80
Prego (18x27)	79,10	2,31000	182,70
Tábua	3.184,50	0,13100	417,20
Pontolete	877,60	0,13100	114,90
Desmoldante	4,8053	4,57200	22,00
Divisória completa RU	5.388,20	0,75020	4.042,20
Divisória completa ST	70.759,80	0,74580	52.772,60
Divisória em vidro laminado	801,25	0,60000	480,75
Total de GEE emitido na etapa de vedações internas			81.375,58

¹memorial descritivo da obra; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

Baseado nas considerações colocadas e nos tipos de materiais, quantidade e suas respectivas massas e fatores de emissão, obteve-se um total de GEE emitidos na etapa de

transporte das esquadrias de 812,68 kg CO₂ (Tabela 26) e um total de GEE emitidos na etapa de montagem das esquadrias de 9.047,6 (kg CO₂) (Tabela 27).

Tabela 26. Quantidade de GEE emitida no transporte das esquadrias até a obra

Material	Quantidade ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Porta de abrir em madeira	5.622,54	0,0144	80,96
Porta de abrir em ferro completa	167,08	0,0840	14,03
Porta de abrir em alumínio completa	1.386,00	0,0556	77,06
Porta em vidro temperado completa	283,50	0,0756	21,43
Visor em vidro temperado	1.606,50	0,0756	121,45
Porta metálica corta-fogo completa	456,00	0,0396	18,06
Corrimão em aço, para escada social fixado na parede	64,67	0,0840	5,43
Soleira em granito	2.010,95	0,0396	79,63
Pingadeira em granito	9.487,30	0,0396	375,70
Cimento	119,80	0,0282	3,38
Cal	28,90	0,0282	0,815
Areia	1.566,50	0,0094	14,73
Total de GEE emitido no transporte das esquadrias			812,68

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 27. Quantidade de GEE emitida na fase de instalação das esquadrias na obra

Material	Quantidade ¹	Fator de emissão ²	Quantidade de GEE ³ (kg CO ₂)
Porta em madeira	154 un.	13,250 kg CO ₂ / un.	2.079,0
Porta em ferro completa	9 un.	27,103 kg CO ₂ / un.	243,9
Porta em alumínio completa	42 un.	54,620 kg CO ₂ / un.	2.294,0
Porta em vidro temperado	6 un.	28,350 kg CO ₂ / un.	170,1
Visor em vidro temperado	34 un.	35,790 kg CO ₂ / un.	1.216,9
Porta metálica corta-fogo	8 un.	70,220 kg CO ₂ / un.	561,8
Corrimão da escada social	64,67 kg	1,460 kg CO ₂ / kg	94,4
Soleira em granito	2.010,95 kg	0,112 kg CO ₂ /kg	225,2
Pingadeira em granito	9.487,3 kg	0,112 kg CO ₂ /kg	2.062,6
Cimento	119,8 kg	0,6130 kg CO ₂ /kg	73,4
Cal	28,9 kg	0,7700 kg CO ₂ /kg	22,2
Areia	1.566,5 kg	0,0026 kg CO ₂ /kg	4,07
Total de GEE emitido na etapa de montagem das esquadrias			9.047,6

¹memorial descritivo da obra; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

Segundo os tipos de materiais empregados nas diferentes áreas da construção, quantidades e fatores de emissão, obteve-se um total de GEE emitidos na etapa de transporte do forro de 9.460,46 kg CO₂ (Tabela 28) e um total de GEE emitidos na etapa de instalação do forro de 39.829,4 (kg CO₂) (Tabela 29).

Tabela 28. Quantidade de GEE emitida no transporte do forro até a obra

Descrição	Quantidade ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ³ (kg CO ₂)
Área nobre:			
Forro modular com sistema de perfis ocultos, placas de 62,5x62,5cm, removíveis, na cor branca, microperfurado.	14.560,13	0,1983	2.887,27
Área comum:			
Forro de gesso acartonado, com lâ de rocha comum, placas de 62,5x62,5cm, removíveis, na cor branca, microperfurado.	33.147,72	0,1983	6.573,19
Total de GEE emitido no transporte dos materiais do forro			9.460,46

Fonte: ¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 29. Quantidade de GEE emitida na fase de instalação dos forros da obra

Descrição	Quantidade ¹ (m ²)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /m ²)	Quantidade de emissão de GEE ³ (kg CO ₂)
Área nobre:			
Forro modular com sistema de perfis ocultos, placas de 62,5x62,5cm, removíveis, na cor branca, microperfurado.	2.022,24	6,011	12.155,7
Área comum:			
Forro de gesso acartonado, com lâ de rocha comum, placas de 62,5x62,5cm, removíveis, na cor branca, microperfurado.	4.603,85	6,011	27.673,7
Total de GEE emitido na etapa de instalação do forro			39.829,4

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

A tabela 30 mostra a quantidade de GEE emitido na fase de vedações internas: Divisórias, Esquadrias e Forro.

Tabela 30. Quantidade de GEE emitido na fase de vedações internas

Atividades na fase de vedações internas	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Instalação das divisórias internas	81.375,58
Instalação das esquadrias	9.047,60
Instalação dos forros	39.829,40
Transporte de materiais	27.232,51
Total de GEE emitido na fase de vedações internas	157.485,09

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

5.15. Cobertura

A cobertura foi executada em telhas de aço galvanizado trapezoidal, do tipo sanduíche, sendo a chapa inferior com espessura de 0,43 mm, meio em camada de EPS de 30 mm e chapa superior com espessura de 0,43 mm, na cor natural, apoiadas sobre terçamento e tesouras da estrutura metálica. Foram obedecidas as inclinações e especificações do projeto de estrutura metálica e seu respectivo memorial descritivo, fornecidos pelo contratante.

De acordo com o memorial descritivo da obra o fabricante forneceu a estrutura metálica de aço para cobertura, telhas trapezoidal tipo sanduíche, acessórios de fixação, peças de arremate e montagem com equipamento próprio. As calhas metálicas e os rufos metálicos foram executados em chapas galvanizadas nº 24.

O total de GEE emitido no transporte dos materiais empregados na cobertura foi de 1.511,08 kg CO₂ (Tabela 31) e o total emitido na fase de cobertura da obra, considerando 828,44 m², foi de 41.942,9 kg CO₂ (Tabela 32).

Tabela 31. Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais empregados na cobertura da obra

Material	Quantidade de material ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de emissão de GEE ² (kg CO ₂)
Placa de aço (0,43 mm)	2.816,6	0,0840	236,59
Placa de EPS (30 mm)	414,2	0,0699	28,95
Estrutura de aço para telha	10.023,8	0,0840	841,99
Contra-rufo	1.030,1	0,0840	86,53
Calha	215,6	0,0840	18,11
Rufo	792,4	0,0840	66,56
“ <i>Structural Glasing</i> ”	3.073,4	0,0756	232,35
Total de GEE emitido no transporte dos materiais da cobertura da obra			1.511,08

Fonte: ¹memorial descritivo da obra; ² baseado na tabela 7; ³calculado.

Tabela 32. Quantidade de GEE emitida na fase de cobertura da obra

Material	Quantidade de material ¹ (kg)	Fator de Emissão de GEE do material ² (kg CO ₂ /kg de material)	Quantidade de emissão de GEE ² (kg CO ₂)
Telha Trapezoidal	-	-	-
Placa de aço (0,43 mm)	2.816,6	1,46	4.112,2
Placa de EPS (30 mm)	414,2	3,76	1.557,4
Estrutura de aço para telha	10.023,8	1,46	14.634,7
Contra-rufo	1.030,1	3,62	3.729
Calha	215,6	3,62	780,5
Rufo	792,4	3,62	2.868,5
“ <i>Structural Glazing</i> ”	3.073,4	4,64	14.260,6
Total de GEE emitido na etapa da cobertura da obra			41.942,9
Transporte de materiais			1.511,08
Total de GEE emitido na fase de cobertura			43.453,98

Fonte: ¹memorial descritivo da obra; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

5.16. Revestimento de paredes externas (fachada)

O tipo de revestimento das paredes externas empregado na obra em estudo, foi o vidro laminado refletivo *Royal Blue* 4 mm, alumínio com pintura eletrostática bronze.

Baseando-se na descrição, material utilizado e seus respectivos fatores de emissão, obteve-se um total GEE emitidos na etapa de transporte dos materiais do revestimento das paredes externas (fachada) de 17.799,32 kg CO₂ (Tabela 33) e um total de GEE emitidos na etapa de revestimento das paredes externas de 108.618,1 kg CO₂ (Tabela 34).

Tabela 33. Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais do revestimento das paredes externas (fachada) da obra

Descrição	Quantidade ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Fachada em “ <i>Structural Glazing</i> ” sistema unitizado com vidro laminado refletivo <i>Royal Blue</i> 4 mm, alumínio com pintura eletrostática bronze	72.793,8	0,1983	14.435,01
Revestimento em alumínio prata, nano 4 mm, lâminas 0,5 mm	16.965,74	0,1983	3.364,31
Total de GEE emitido no transporte do revestimento da fachada			17.799,32

Fonte: memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 34. Quantidade de GEE emitida na fase de revestimento das paredes externas (fachada) da obra

Descrição	Quantidade ¹ (m ²)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /m ²)	Quantidade de emissão de GEE ² (kg CO ₂)
Fachada em “ <i>Structural Glazing</i> ” sistema unitizado com vidro laminado refletivo <i>Royal Blue</i> 4 mm, alumínio com pintura eletrostática bronze	3.639,69	20,438	74.388
Revestimento em alumínio prata nano 4 mm, lâminas 0,5 mm	2.212,25	15,473	34.230,10
Total de GEE emitido na etapa de revestimento da fachada			108.618,10

Fonte: ¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

A tabela 35 mostra a quantidade de GEE emitido na fase de revestimento de paredes externas (fachada)

Tabela 35. Quantidade de GEE emitido na fase de revestimento da fachada

Atividades na fase de revestimento da fachada	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Instalação da cobertura revestimento de paredes externas (fachada)	108.618,10
Transporte de materiais	17.799,32
Total de GEE emitido na fase de revestimento da fachada	126.417,42

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

5.17. Revestimento do piso

De acordo com a descrição, material utilizado, quantidade e fatores de emissão, este estudo revelou um total GEE emitido na etapa de transporte dos materiais do revestimento do piso de 6.885,87 kg CO₂ (Tabela 36) e um total de GEE emitido na etapa de revestimento do piso de 433.129,70 kg CO₂ (Tabela 37).

Tabela 36. Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais utilizados no revestimento do piso da obra

Descrição	Quantidade ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de emissão de GEE ² (kg CO ₂)
Lastro 5 cm de concreto magro, sem impermeabilizante	113.808	0,0006	68,28
Regularização de piso com argamassa, cimento/areia, traço 1:3, concreto leve auto adensável (5 cm)	843.596	0,0006	506,16
Piso em porcelanato tipo 1	2.268	0,0568	128,82
Piso em porcelanato tipo 2	6.948	0,0568	394,65
Piso tipo laminado de PVC: áreas nobres	12.740	0,0699	890,53
Rodapé MDF, 20 cm: áreas nobres	10.436	0,0144	150,28
Piso tipo laminado PVC: áreas de trabalho	38.752	0,0699	2.708,8
Rodapé MDF, 20 cm: áreas de trabalho	28.349	0,0144	408,22
Piso em porcelanato tipo 5 – antiderrapante	3.006	0,0568	170,74
Rodapé em porcelanato para piso tipo 5	4.788	0,0568	271,96
Acabamento rústico em piso de cimento alisado	4.851	0,0006	2,91
Piso de garagem armado, 12 cm, armadura dupla (Gerdau®)	28.500	0,0396	1.128,6
Piso elevado Data Center – padrão Tate® formicado	1.106	0,0396	43,98
Acabamento para piso de garagem, com alisamento mecânico	19.908	0,0006	11,94
Total de GEE emitido no transporte do revestimento de pisos			6.885,87

Fonte: ¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 37. Quantidade de GEE emitida na utilização dos materiais de revestimento do piso da obra

Descrição	Quantidade (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de emissão de GEE ³ (kg CO ₂)
Lastro 5 cm de concreto magro, sem impermeabilizante	113.808	0,347	39.491,38
Regularização de piso com argamassa, cimento/areia, traço 1:3, concreto leve auto adensável (5 cm)	843.596	0,174	146.785,70
Piso em porcelanato tipo 1	2.268	0,78	1.769,04
Piso em porcelanato tipo 2	6.948	0,78	5.419,44
Piso tipo laminado de PVC – áreas nobres	12.740	4,19	53.380,60
Rodapé MDF, 20 cm – áreas nobres	10.436	0,113	1.179,27
Piso tipo laminado PVC – áreas de trabalho	38.752	4,19	162.370,88
Rodapé MDF, 20 cm – áreas de trabalho	28.349	0,113	3.203,43
Piso em porcelanato tipo 5 – antiderrapante	3.006	0,78	2.344,68
Rodapé em porcelanato para piso tipo 5	4.788	0,78	3.734,64
Acabamento rústico em piso de cimento alisado	4.851	0,347	1.683,30
Piso de garagem armado 12 cm armadura dupla (Gerdau®)	28.500	0,347	9.889,50
Piso elevado Data Center – padrão Tate® formicado	1.106	0,347	383,78
Acabamento para piso de garagem com alisamento mecânico	19.908	0,347	6.908,08
Total de GEE emitido na etapa de revestimento de pisos			438.543,72

¹memorial descritivo da obra; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

A tabela 38 mostra a quantidade de GEE emitido na fase de revestimento do piso

Tabela 38. Quantidade de GEE emitido na fase de revestimento do piso

Atividades na fase de revestimento do piso	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Revestimento do piso	438.543,72
Transporte de materiais	6.885,87
Total de GEE emitido na fase de cobertura	445.429,59

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

5.18. Pintura das paredes internas

A pintura das paredes internas foi executada sobre massa corrida, em 3 demãos, sendo considerado um rendimento da cobertura de 2,22 m² de superfície por kg de tinta (HAMMOND E JONES (2011), 2011).

Considerando o tipo de tinta, a área e o fator de emissão, observou-se que foram emitidos na etapa de transporte dos materiais utilizados na fase de pintura das paredes internas 102,00 kg CO₂ (Tabela 39) e dos materiais utilizados na fase de pintura das paredes internas da obra foram emitidos 14.686,82 kg CO₂ (Tabela 40) sendo que a emissão de GEE total nesta fase foi de 14.788,82 kg CO₂.

Tabela 39. Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais utilizados na fase de pintura das paredes internas da obra

Material	Quantidade de material ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de emissão de GEE ² (kg CO ₂)
Tinta acrílica	2.575	0,0396	102

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 40. Quantidade de GEE emitida na fase de pintura das paredes internas da obra

Descrição	Área ¹ (m ²)	Fator de Emissão ² kg CO ₂ /m ²	Quantidade de emissão de GEE ³ (kg CO ₂)
Pintura das paredes internas Látex acrílico, 3 demãos	5.716,08	2,12	12.118,09
Verniz em esquadrias de madeira Verniz sintético, 3 demãos	748,44	3,13	2.342,62
Esmalte em esquadrias de ferro Esmalte sintético, 3 demãos	72,24	3,13	226,11
Total de GEE emitido na etapa da pintura das paredes internas			14.686,82

Fonte: ¹memorial descritivo da obra; ²Hammond e Jones (2011) (2011); ³calculado.

5.19. Impermeabilizações

As impermeabilizações foram executadas empregando com manta asfáltica aluminizada, com espessura mínima de 3 mm (Viapol[®]), aplicada a maçarico, conforme orientações do fabricante e com mão de obra especializada. A aplicação a maçarico consome 1.750 g de GLP/ hora (Memorial descritivo da obra). Previamente à instalação das mantas, as superfícies foram limpas, tornando-as isentas de pó, areia, resíduos de óleo, graxa e desmoldante, dentre outros.

Sobre a superfície horizontal úmida, foi executada a regularização, com caimento mínimo de 1%, em direção aos pontos de escoamento de água, preparada com argamassa de cimento e areia média, traço 1:3, utilizando água de amassamento composta de 1 volume de emulsão adesiva (VIAFIX®) e 2 volumes de água, visando maior aderência ao substrato. A argamassa teve acabamento desempenado, com espessura mínima de 2 cm.

A impermeabilização das áreas verticais em alvenaria foi realizada por meio de chapisco de cimento e areia grossa, traço 1:3, seguido da execução de uma argamassa desempenada, de cimento e areia média, traço 1:4, utilizando água de amassamento composta de 1 volume de emulsão adesiva (VIAFIX®) e 2 volumes de água.

Sobre a laje de cobertura da central de GLP e da cisterna de águas pluviais e nas superfícies internas das alvenarias, a impermeabilização foi feita por meio de manta asfáltica Torodim®, com espessura mínima de 4 mm, aplicada a maçarico, conforme orientações do fabricante e com mão de obra especializada, sobre camada de regularização de cimento e areia média, traço 1:3. Posteriormente, foi executada a proteção mecânica em argamassa de cimento e areia grossa no traço 1:3.

Os muros de arrimo receberam impermeabilização de superfície com manta asfáltica com polímeros tipo APP, espessura de 3 mm.

Neste estudo foi considerado apenas o consumo de materiais para produção de argamassa por m² de impermeabilização, sendo 13,20kg de cimento, 0,0365m³ de areia grossa, 1,15 m² de manta e 0,30L de emulsão adesiva. O tempo médio de aplicação da impermeabilização foi de 0,30 h por m² (TCPO 2014).

Segundo o tipo, quantidade de material e fator de emissão, obteve-se um total GEE emitido na etapa de transporte dos materiais utilizados na impermeabilização de 438,36 kg CO₂ (Tabela 41) e um total de GEE emitido na fase de impermeabilização da obra de 3.756,90 kg CO₂ (Tabela 42).

Tabela 41. Quantidade de GEE emitida no transporte dos materiais utilizados na impermeabilização da obra

Material	Quantidade de material ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Quantidade de GEE ² (kg CO ₂)
Cimento	05.846,41	0,0282	164,87
Areia grossa	29.094,48	0,0094	273,49
Total de GEE emitido no transporte dos materiais utilizados na impermeabilização			438,36

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

Tabela 42. Quantidade de GEE emitida na fase de impermeabilização da obra

Descrição	Quantidade ¹	Fator de Emissão ²	Quantidade de emissão de GEE ³ (kg CO ₂)
Impermeabilização da laje	186,40 m ²	-	-
Manta asfáltica aluminizada (esp.3 mm)	214,36 m ²	4,32 kg CO ₂ /m ²	926,12
Emulsão adesiva	55,92 L	1,04 kg CO ₂ /L	58,16
Impermeabilização de pisos, banheiros e cozinha	385,74 m ²	-	-
Emulsão adesiva	116 L	1,04 kg CO ₂ /L	120,64
Impermeabilização de poço de elevador	46,60 m ²	-	-
Manta asfáltica aluminizada (esp. 3 mm)	53,59 m ²	4,32 kg CO ₂ /m ²	231,51
Emulsão adesiva	13,98 L	1,04 kg CO ₂ /L	14,54
Impermeabilização de caixa d'água	144,91 m ²	-	-
Manta asfáltica Torodim® (esp.4 mm)	166,65 m ²	4,32 kg CO ₂ /m ²	719,93
Emulsão adesiva	43,47 L	1,04 kg CO ₂ /L	45,21
Impermeabilização de muro de arrimo	65 m ²	-	-
Manta asfáltica com polímeros tipo APP (esp. 3 mm)	74,75 m ²	4,32 kg CO ₂ /m ²	322,92
Emulsão adesiva	19,5 L	1,04 kg CO ₂ /L	20,28
Proteção mecânica, argamassa, traço 1:3	-	-	-
Cimento	5.846,41 kg	0,613 kg CO ₂ /kg	3.596,28
Areia grossa	29.094,48 kg	0,006 kgCO ₂ /kg	169,62
Aplicação da impermeabilização por manta	220 h	-	-
GLP para maçarico	385 kg	2,932 kg CO ₂ /kg	1.128,82
Total de GEE emitido na etapa da impermeabilização da obra			3.588,13
Total de GEE emitido na proteção mecânica da argamassa			3.756,90

¹memorial descritivo da obra; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

6. Emissões totais de acordo com as diferentes etapas da obra

De acordo com os resultados obtidos e apresentados, verifica-se que as quantidades totais de emissões de GEE de acordo com as diferentes etapas da obra avaliada e segundo os escopos da ferramenta GHG Protocol 2013, versão 2014.0, foram, para o Escopo 1: que considera o total de GEE emitidos pelo consumo de combustível dos maquinários utilizados na preparação do canteiro da obra, 11,62 kg CO₂/ m² (Tabela 43), para o Escopo 2- que calcula o total de GEE emitido pelo consumo da energia adquirida, 0,4446 kg CO₂/m² (Tabela 44), e para o Escopo 3 – que considera o total de GEE emitidos nas diferentes fases de execução da obra, 79,46 kg CO₂/ m² (Tabela 45).

Tabela 43. Escopo 1: Quantidade de GEE emitida pelo consumo de combustível pelos maquinários utilizados na preparação do canteiro da obra

Etapa da Obra	Quantidade de GEE ¹ (kg CO ₂)	Área do terreno ² (m ²)	Quantidade ¹ (kg CO ₂ /m ²)	Porcentagem ¹ (%)
Combustível consumido na preparação do terreno	22.756,80	1.958,50	11,62	2,52

¹calculado; ²memorial descritivo da obra.

Tabela 44. Escopo 2: Quantidade de GEE emitida pelo consumo de energia elétrica utilizados na preparação do canteiro da obra

Etapa da Obra	Quantidade de emissão de GEE ¹ (kg CO ₂)	Energia adquirida ² (kwh)	Quantidade ¹ (kg CO ₂ /m ²)	Porcentagem ¹ (%)
Energia elétrica	4.884,04	36.018	0,4446	0,53

Fonte: ¹calculado; ²memorial descritivo da obra

Tabela 45. Escopo 3: Quantidade de GEE emitida nas diferentes fases de execução da obra

Etapa da Obra	Quantidade de emissão de GEE ¹ (kg CO ₂)	Quantidade ¹ (kg CO ₂ /m ²)	Porcentagem ¹ %
Instalação do canteiro	2.773,95	0,25	0,30
Transporte de material da instalação	58,75	-	-
Fundação	80.242,76	7,32	8,80
Transporte de material da fundação	974,65	0,09	0,10
Divisórias	81.375,58	7,41	9,03
Transporte de material das divisórias	16.959,37	1,54	1,78
Esquadrias	9.047,60	3,82	4,65
Transporte de material das esquadrias	812,68	0,14	0,16
Cobertura do telhado	41.942,90	0,82	1,00
Transporte de material da cobertura	1.511,08	0,07	0,09
Revestimento do forro	39.829,40	3,62	4,32
Transporte de material do forro	9.460,46	0,86	1,04
Fachadas	108.618,10	9,89	11,95
Transporte de material das fachadas	17.799,32	1,62	1,97
Revestimento do piso	438.543,72	39,91	48,07
Transporte do revestimento do piso	6.885,87	0,63	0,76
Pintura das paredes internas	14.686,82	1,34	1,63
Transporte de material de pintura	102	-	-
Impermeabilização	7.345,03	0,67	0,80
Transporte de material para impermeabilização	438,36	0,04	0,49
Total das emissões de GEE	879.408,40	80,04	96,95

¹calculado.

A porcentagem de contribuição nas emissões de GGE nas diferentes fases da obra evidenciou que a fase de revestimento do piso foi a que mais impactou o valor das emissões (48%) e, por outro lado, a emissão em função da energia elétrica adquirida foi a menos representativa (0,54%) (Figura 4).

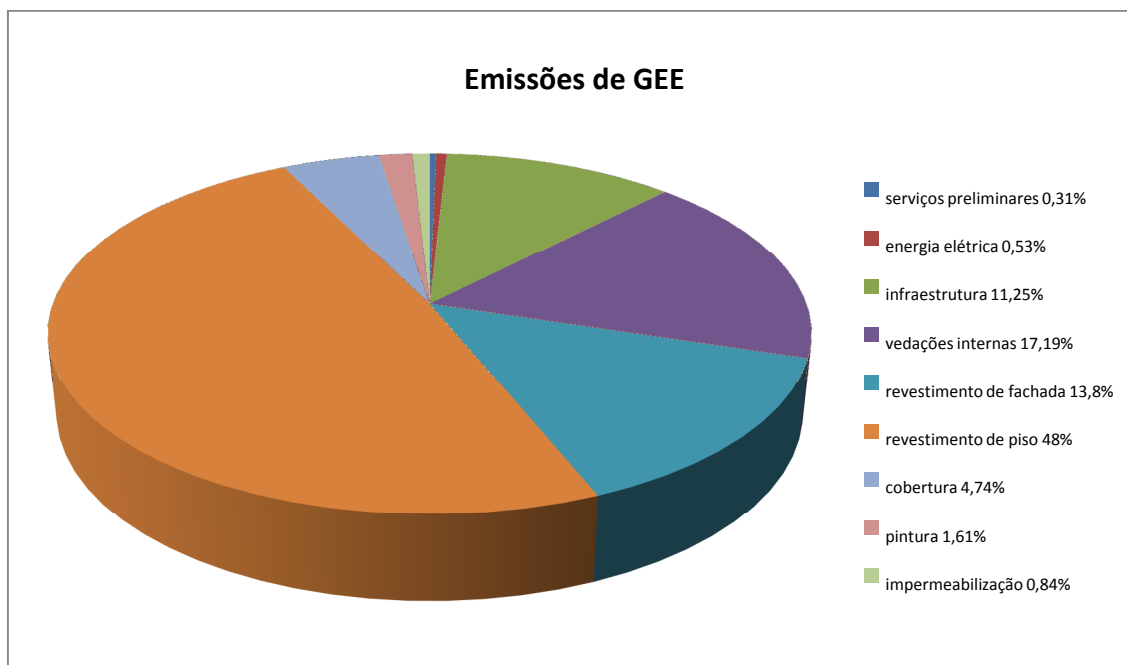


Figura 4. Resumo das emissões de GEE ocorrentes nas diferentes fases da obra avaliada (%)

A tabela 46 mostra a quantidade total de GEE emitida nas diferentes fases da obra e suas respectivas incertezas, que foram calculadas empregando os valores do Anexo B e de acordo com a equação 08.

Tabela 46. Quantidade de GEE emitida nas diferentes fases da obra.

Fase	Atividade	GEE emitido ¹ (kg CO ₂ /kg material)
Serviços preliminares	Preparo do terreno	22.756,80
Energia Elétrica	Energia elétrica adquirida	4.884,04
Infraestrutura	Fundação e instalação do canteiro de obra	84.050,09
Vedações Internas	Divisórias, esquadrias e forro	157.485,09
Revestimento da Fachada	Structural Glazing e ACM	126.417,42
Revestimento do Piso	Instalação do piso	445.429,59
Cobertura	Instalação do telhado	43.453,98
Pintura	Pintura	14.788,82
Impermeabilização	Impermeabilização	7.784,08
Total das emissões de GEE		907.049,93

¹Calculado.

As etapas que mais contribuíram com as emissões de GEE na obra foram o revestimento do piso, as vedações internas e a fachada com 445.429,59 kgCO₂, 157.485,9 kgCO₂ e 126.417,42 kgCO₂, respectivamente.

As representações gráficas das emissões nestas fases, em porcentagem, estão listadas nas figuras 5, 6 e 7.

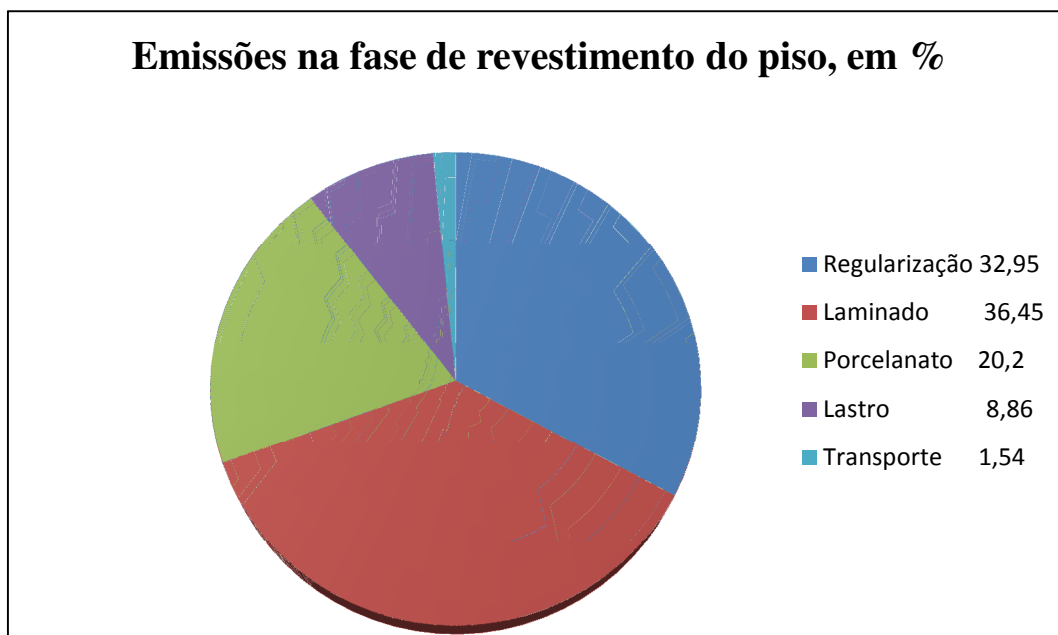


Figura 5. Emissões de GEE pelos materiais utilizados no revestimento do piso

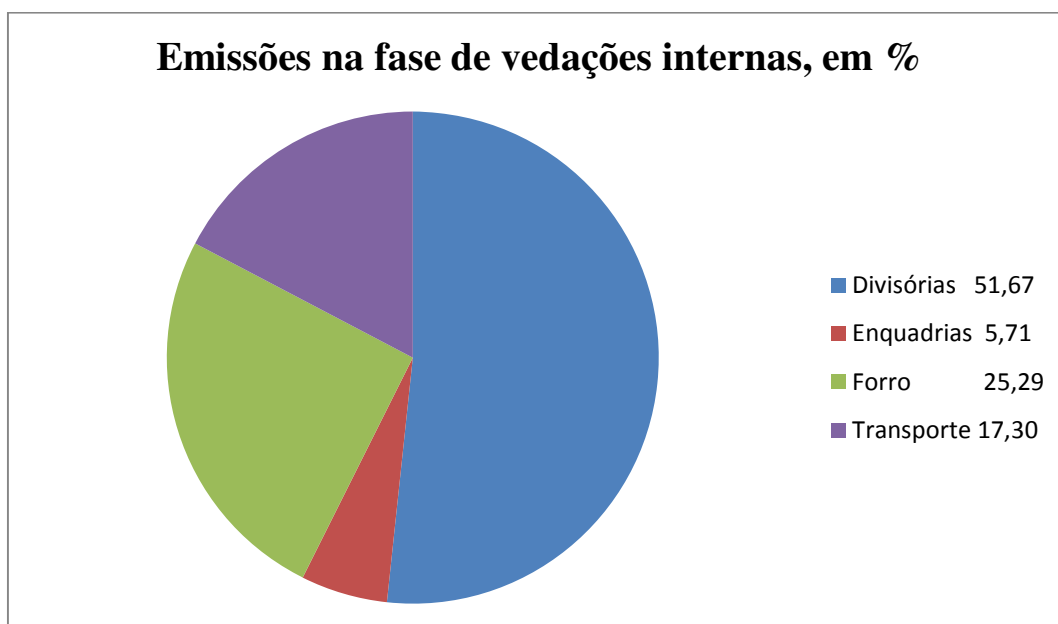


Figura 6. Emissões de GEE pelos materiais utilizados nas vedações internas

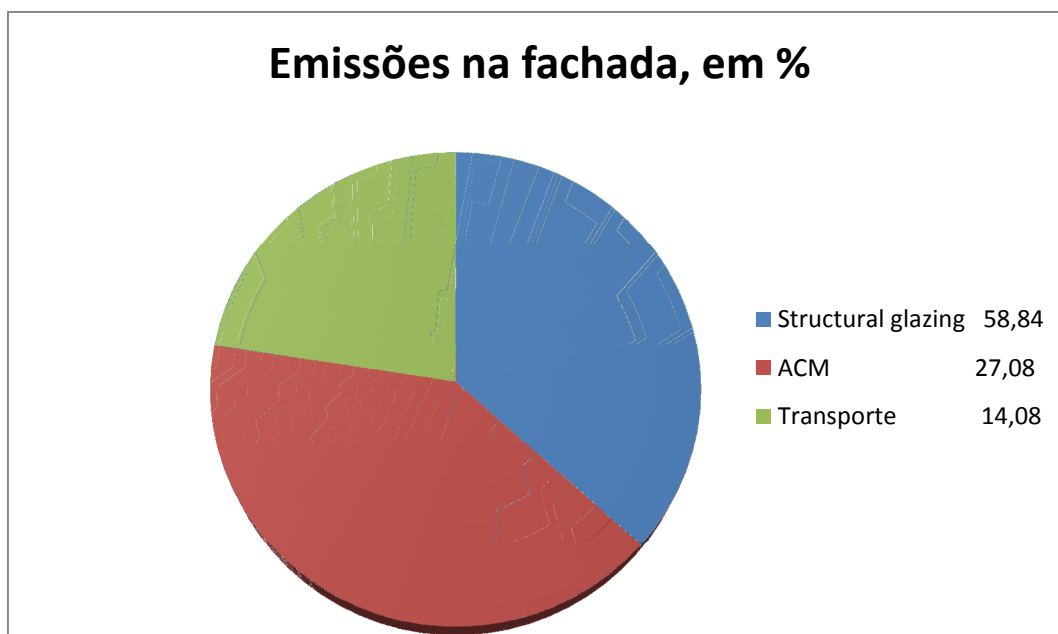


Figura 7. Emissões de GEE pelos materiais utilizados na fachada

De acordo com os dados do Anexo B, os valores das incertezas das emissões de CO₂ para cada etapa da obra foram calculados e estão apresentados na tabela 47.

Tabela 47. Quantidade de GEE emitida nas diferentes fases de execução da obra e suas respectivas incertezas.

Fase da obra	GEE emitido ¹ (kg CO ₂ /kg material)	Incerteza ¹ (%)
Preparação do terreno	22.756,80	3,46
Energia Elétrica	4.884,04	1,87
Infraestrutura	84.050,09	17,6
Vedações Internas	157.485,09	21,0
Revestimento da fachada	126.417,42	6,08
Revestimento do piso	445.429,59	10,5
Cobertura	43.453,98	8,2
Pintura	14.788,82	3,95
Impermeabilização	7.784,08	3,95
Total das emissões	907.049,93	-

¹calculado.

Considerando o total de GEE emitido de 907.049,24 kg CO₂ (Tabela 46) e que a área total da obra é de 10.987 m², observamos que foram emitidos 82,56 kg CO₂/m² da obra, relacionados ao consumo de todos os materiais e serviços utilizados, com uma incerteza, calculada de acordo com a equação 09, de $\pm 6,59\%$, ou seja, a emissão da obra está compreendida no intervalo mínimo de 77,12 kgCO₂/m² e máximo de 88,0 kgCO₂/m². Do

valor total de emissão de GEE, 96,95% foram emissões geradas pelo consumo de serviço ou material de construção, 0,54% emissões pelo consumo de energia elétrica e 2,51% pelo transporte dos materiais de utilizados na obra.

Valores muito superiores ao encontrado neste estudo foram reportados pela Even Construtora (2014), que reportaram 167,10 kg CO₂/m², em inventários de obras de 447.214,66 m², construídas em estrutura convencional. Silva (2014), analisando as emissões de GEE em seis obras na região da Grande Florianópolis/ SC, também relatou valores maiores aos desta pesquisa (159 kgCO₂/m²), porém, cabe ressaltar que estas obras também foram construídas em estrutura convencional.

Por outro lado, Bessa (2010), avaliou as emissões de GEE em uma obra semelhante à deste estudo, composta por fachada do tipo “*Structural Glazing*” e citou uma quantidade similar de emissões (97 kgCO₂/m²).

Atribui-se como principais fatores responsáveis para a baixa emissão revelada nesta pesquisa (82,56 kg CO₂/m²), o emprego de divisórias internas de gesso acartonado e a grande quantidade de painéis de “*Structural Glazing*” empregada no revestimento externo da obra, que refletem, sabidamente, em menores emissões quando comparados à alvenaria tradicional.

7. Redução dos efeitos da emissão de GEE pela neutralização do carbono

Para avaliar a redução dos efeitos das emissões de GEE originadas da construção do Prédio Administrativo (Bloco11) do Centro de Ensino Superior de Maringá/ Unicesumar, por meio da neutralização do carbono, empregou-se a equação 10, considerando a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima de Maringá é caracterizado como clima subtropical úmido com verão quente. A temperatura média anual de 21,7 °C e precipitação média anual de 1.592,7 mm (NETO, 2011).

Como resultado, observou-se que a quantidade de árvores nativas a serem plantadas em um reflorestamento, objetivando a neutralização das emissões de CO₂ oriundas da execução da obra avaliada, de acordo com a equação 10 é de 7.019 unidades (Tabela 44). Segundo Azevedo e Quintino (2010), a neutralização ocorre em função da fotossíntese, que acumula biomassa por meio da absorção do CO₂ e liberação do O₂.

Tabela 48. Quantidade total de árvores a ser plantada, área de plantio e quantidade de árvores plantadas/m² de construção, para mitigar as emissões de GEE oriundas da construção do prédio administrativo (Bloco11) do Unicesumar.

Área construída ¹ (m ²)	Emissão total de GEE ² (tCO ₂)	Árvores nativas		
		Quantidade ² (unidade)	Área de plantio ² (ha)	Número de árvore/m ² de construção ²
10.987	907,04993	7.068	4,24	0,64

¹memorial descritivo da obra; ²calculado.

8. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados concluiu-se que a emissão total de GEE na obra avaliada, no ano de 2014, foi de 907.049,93 kg CO₂ em uma área total da construção de 10.987 m². Estes dados resultaram em uma emissão de 82,56 kgCO₂/m², valor inferior aos reportados na literatura. Considera-se como contribuição para esta redução o uso de divisórias internas de gesso acartonado e a grande quantidade de painéis de *Structural Glazing*, em substituição à alvenaria tradicional. De forma isolada, os materiais utilizados que mais emitiram GEE foram o piso em porcelanato e PVC laminado utilizado no revestimento do piso (24,7%) e o concreto e argamassa (32,3%).

O total de emissões de GEE devido ao transporte de material foi de 55.002,54 kg CO₂, equivalente a 6,06% da emissão total do inventário, complementando, cabe ressaltar que, os materiais que menos contribuíram neste valor, foram os blocos cerâmicos (5,09%) e o concreto (2,22%). Tal fato evidencia que a escolha de fornecedores próximos ao local da obra é um fator importante para a redução dessas emissões, minimizando os impactos gerados pela construção civil.

Buscando uma maior sustentabilidade ambiental a construção civil pode contribuir para redução das emissões de gases de efeito estufa, visto que nas edificações são consumidos grande quantidade de recursos naturais com elevado impacto no consumo de energia e água. Deste modo, de acordo com Lamberts et all (2007) sugere a adoção de novos paradigmas de projetos, nos quais as soluções são avaliadas considerando os custos de operação, uso, manutenção e desmontagem das edificações e não apenas seus custos de construção, utilização de materiais que resultem em menor impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida e reutilização ou reciclagem de resíduos industriais e agrícolas pela construção civil, incluindo os próprios resíduos produzidos na construção. Bem como a implantação de mecanismos de compensação das emissões observadas, por exemplo, o plantio de árvores e/ou a implantação de fontes de energias renováveis.

9. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o objetivo de aprofundar os estudos sobre emissões de GEE na indústria da construção civil sugerimos os seguintes temas:

- Estudo sobre fatores de emissões de materiais de construção civil utilizados em obras na região;
- Estudo sobre fatores de emissões de GEE na construção de edifícios em amostras com tamanhos que garantam menor incerteza amostral;
- Estudo sobre emissões de GEE nas fases de infraestrutura, movimentação de materiais nos canteiros de obras, utilização de equipamentos e demais fases que compõem a etapa da construção de edifícios;
- Estudo da relação entre emissões de GEE e produtividade na construção;
- Estudo de formas de mitigação dos efeitos das emissões de GEE na indústria da construção civil.

REFERÊNCIAS

ABREU, W. G. Identificação de práticas sustentáveis aplicadas às edificações. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012. Disponível em <http://www.poscivil.uff.br/sites/default/files/dissertacao_tese/disseracaoformatada.pdf>. Acessado em 06/07/2015.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). Análise da cadeia produtiva de agregados minerais para obras de construção civil e de infraestrutura. Brasília, 2012. Disponível em <www.anepac.org.br/wp/wp-content/uploads/2011/05/ABDI-AGREGADOS-MINERAIS-RELATORIO-01.pdf>. Acessado em 05/07/2015.

ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS EXTRATIVAS DE AREIA DO NOROESTE DO PARANÁ (APA). Terminal de carga e descarga de areia, 2014. Disponível em <<http://www.apaterminaldeareia.com.br/posts/texto/associacao>>. Acessado em 05/07/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). Relatório da sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio. 2010. Disponível em <www.abal.org.br/downloads/relatorio_sustentabilidade_industria_aluminio_2010.pdf>. Acessado em 01/08/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio. 2012. Disponível em <www.abal.org.br/downloads/abal-rio20.pdf>. Acessado em 01/08/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), 2003. Guia básico de utilização do cimento Portland - 2002. Disponível em <www.abcp.org.br/conteudo/wp-content/uploads/2009/12/bt106-2003.pdf>. Acessado em 05/07/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), 2012. A versatilidade do cimento brasileiro. Disponível em <www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/tipos/a-versatilidade-do-cimento-brasileiro>. Acessado em 05/07/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP), 2014. Disponível em <www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/a-industria-do-cimento-e-o-desenvolvimento-do-brasil>. Acessado em 05/07/2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (ABRAPEX). O que é EPS. Disponível em <www.abrapex.com.br>. Acessado em 09/02/2016.

AZEVEDO, M. F. C. QUINTINO, I. Manual Técnico: Um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas. Ambiental Company. Macaé, 2010. Disponível em <<http://www.ambientalcompany.com.br/Arquivos/Manual%20T%C3%A9cnico%20-%20Pegada%20Verde.pdf>>. Acessado em 25/02/2016.

BORGSTEIN, E.; LAMBERTS, R. Desenvolvimento de benchmarks nacionais de consumo energético de edificações em operação. Conselho Brasileiro de Construção Sustentável

(CBCS), agosto, 2014. Disponível em <http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/Comunicacao%20Tecnica/CBCS_CT%20Energia_Desenvolvimento%20de%20benchmarks%20nacionais%20de%20consumo%20energetico%20de%20edificacoes%20em%20operacao.pdf>. Acessado em 30/05/2015.

BENITE, A. Emissões de carbono e a construção civil. Centro de Tecnologia de Edificações, São Paulo, 2011. Disponível em <<http://www.cte.com.br/imprensa/2011-02-27-emissoes-de-carbono-e-a-construcao-civ/>>. Acessado em 06/07/2015.

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. 286f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CETESB, 2011. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo – Emissões na calagem. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/inventario-geesp/files/2014/04/calagem.pdf>>. Acessado em 01/08/2015.

COMITÉ PERMANENT DÈS INDUSTRIES DU VERRE EUROPÉENNES (CPIV). Rapport EUR 9287 – Energie. Luxembourg, 2011. Disponível em <file:///C:/Users/Windows/Downloads/CDNA09287FRC_001.pdf>. Acessado em 02/07/2015.

CONDEIXA, K. M. S. P. Na inquiry into the life cycle of systems of inner walls: comparison of masonry and drywall. Sustainability, v.6, p.7904-7925, 2015. Disponível em <<http://www.mdpi.com/2071-1050/7/6/7904/htm>>. Acessado em 01/08/2015.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). Madeira serrada da Amazônia extraída por exploração convencional, CT Materiais – CBCS, 2012. Disponível em <[file:///C:/Users/Windows/Downloads/CBCS_CT Materiais_Posicionamento_impacto%20madeira%20nativa%20convencional%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Windows/Downloads/CBCS_CT Materiais_Posicionamento_impacto%20madeira%20nativa%20convencional%20(3).pdf)>. Acessado em 16/07/2015.

COPPETEC – Inventário de Emissões de Gases de efeito estufa da Cidade do Rio de Janeiro, 104 p., Rio de Janeiro, 2003. Disponível em <www.portalgeo.rio.rj.gov.br/protocolo/pcontrole/documentos/capitulo1.pdf>. Acessado em 15/06/2015.

COSTA, B. L. C. Quantificação das Emissões de CO₂ Geradas na Produção de Materiais Utilizados na Construção Civil no Brasil. Dissertação de Mestrado – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2012.

CRETON, J. C., STHIEL, M. S. A Ciência do aquecimento global, 1ª edição. Rio de Janeiro. Quartet Editora, 2011, v. 1, 176 p.

DEMANBORO, A. C.; FERRÃO, A. M. A. e MARIOTONI, C. A. Desafios da construção sustentável sob o enfoque de recursos naturais. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente construído. São Paulo, 2014. Disponível em <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0688d.pdf>. Acessado em 20/06/2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE (DNIT). Manual de custos rodoviários, volume 1 – Metodologia e conceitos. 2003. Disponível em <http://www.dnit.gov.br/download/servicos/sicro/manual-de-custos-Rodoviaros/Volume1_Un_2003.pdf>. Acessado em 21/04/2015.

EVEN CONSTRUTORA. Relatório de emissões de gases de efeito estufa. Ano Base: 2014. Disponível em <http://www.even.com.br/sustentavel/wp-content/uploads/2015/09/Even_RELATORIO-EMISSOES-2015.pdf>. Acessado em 26/02/2016.

FARIA, R. Combustível para máquinas: Aprenda a estimar o consumo de gasolina ou óleo Diesel usado nos grandes veículos de obra. Equipe de Obra, ed. 43, Jan., 2012. Disponível em <www.equipedeeobra.pini.com.br/construcao-reforma/43/artigo243506-1.aspx>. Acessado em 05/07/2015.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – Centro de Estudos em Sustentabilidade. São Paulo, FGV, 2009. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/proclima>. Acessado em 30/05/2015.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS – Centro de Estudos em Sustentabilidade. São Paulo, FGV. O Programa Brasileiro GHG Protocol, 2011. Disponível em <ghgprotocolbrasil.com.br>. Acessado em 02/08/2015.

GALVANIZAÇÃO, 2015. Portal da galvanização – Sustentabilidade. Disponível em <<http://www.icz.org.br/portaldagalvanizacao/galvanizacao-sustentabilidade.php>>. Acessado em 01/08/2015.

GOUVEIA, G. M. M.; SPOSITO, R. M. Análise energética ambiental de fachadas com foco na reciclagem – Estudo de caso com painéis de alumínio composto ACM em Brasília. Arquitectos, São Paulo, nº 16. Vitruvius, Jun. 2015. Disponível em <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitectos/16.181/5597>. Acessado em 01/08/2015.

GVces. Comparação dos valores do potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa entre o 2º Relatório do IPCC e o 4º Relatório do IPCC. Ciclo 2014 – Protocolo Brasileiro GHG Protocol. GVces, 2014. Disponível em <www.fgv.br/ces>. Acessado em 14/12/2014.

HAMMOND, G; JONES, C. Inventory of Carbon and Energy (ICE), version 2.0. University of Bath, 2011. Disponível em <www.ecocem.ie/downloads/Inventory_of_Carbon_and_Energy.pdf>. Acessado em 05/01/2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). Projeto piloto de acreditação de organismo de verificação de inventários de gases do efeito estufa (OVV). Disponível em <www.inmetro.gov.br/credenciamento/org_estufa.asp>. Acessado em 30/05/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT), 2002. Referência Técnica nº 17 – Paredes de chapas de gesso acartonado. Disponível em <

<http://www.cemear.com.br/wp-content/uploads/2012/09/Manual-Drywall-IPT.pdf>>. Acessado em 01/08/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT), 2009. Madeira: Uso sustentável na construção civil. Disponível em <www.sindisconsp.com.br/downloads/prodserv/publicações/manual_madeira2.pdj>. Acessado em 05/07/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT), 2013. Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. Disponível em <www.ipt.br/centros_tecnologicos/ct-floresta>. Acessado em 05/07/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1990a: The IPCC Scientific Assessment. Contribution of Working Group I to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, 1990. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment1990_wg1.shtml>. Acessado em 25/02/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1990b: The IPCC Impacts Assessment. Report prepared of IPCC by working group II. Camberra, 1990. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment1990_wg2.shtml>. Acessado em 25/02/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1990c: The IPCC Response Strategies. Report prepared of IPCC by working group III. Cambridge, 1990. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment1990_wg3.shtml>. Acessado em 25/02/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1995a: The Science of Climate Change. Contribution of working group I to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 1995. Disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_I/ipcc_sar_wg_I_full_report.pdf>. Acessado em 25/02/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1995b: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of working group II to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 1995. Disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_II/ipcc_sar_wg_II_full_report.pdf>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 1995c: Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of working group III to the Second Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 1995. Disponível em <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sar/wg_III/ipcc_sar_wg_III_full_report.pdf>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2001a: The Scientific Basis. Contribution of working group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2001. Disponível em <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2001b: Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of working group II to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2001. Disponível em <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2001c. Mitigation Contribution of working group III to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2001. Disponível em <http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3 – Industrial Processes and Product Use. Chapter 2 – Mineral Industry Emissions. Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_2_Ch2_Mineral_Industry.pdf>. Acessado em 05/07/2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007a: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, Fevereiro 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007b: Impacts, Adaptations and Vulnerability. Contribution of working group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/contents.html>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007c: Mitigation of Climate Change. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2007. Disponível em <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/contents.html>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). WGI AR5. Climate Change 2014: Impacts Adaptation and Vulnerability: Summary for Policymakers. Disponível em <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2013: The Physical science Basis. Working group I contribution on the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2013. Disponível em <http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg1/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014a: Impacts, Adaption and Vulnerability. Part A: Global and sectorial Aspects. Working group II contribution on the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2014. Disponível em <https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014b: Impacts, Adaption and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Working group II contribution on the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2014. Disponível em <https://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/WGIIAR5-PartB_FINAL.pdf>. Acessado em 25/02/2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014c: Mitigation of Climate Change. Working group III contribution on the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, 2014. Disponível em <<http://mitigation2014.org/>>. Acessado em 25/02/2016.

ISAIA, G., GASTALDINI, A. Concreto verde com teores muito elevados de adições minerais: um estudo de sustentabilidade. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologias do Ambiente Construtivo. 18 – 21 Julho 2014. ISBN 85-89478-08-4. São Paulo. 2004.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de Resíduos de Construção. Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares. CETESB. São Paulo, 2013. Disponível em <www.researchgate.net/publication/228600228>. Acessado em 25/02/2016.

KIHARA, Y.; GONZALO, V., A indústria do cimento e o desenvolvimento do Brasil. 2014. Disponível em <www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/a-0ndustria-do-cimento-e-0-desenvolvimento-do-brasil>. Acessado em 05/07/2015.

KNAUF DRYWALL – Catálogos técnicos. Disponível em <www.knauf.com.br>. Acessado em 01/08/2015.

LAMBERTS, R., TRIANA, M. A., FOSSATI, M., BATISTA, J. O. Sustentabilidade nas edificações: Contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. Laboratório de eficiência energética em edificações – UFSC. Florianópolis, 2007. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/sustentabilidade-edificacoes-contexto%20internacional-referencias-brasileiras.pdf>>. Acessado em 02/07/2016.

LIMA, J.A.R. Avaliação das consequências da produção de concreto no Brasil para as mudanças climáticas. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2014. Disponível em <file:///C:/Users/Windows/Downloads/Tese_Jose_Antonio_Ribeiro_Lima.pdf>. Acessado em 05/02/2016

MARANHÃO, G. M., Fôrmas para concreto: Subsídios para a otimização do projeto segundo a NBR 7190/97. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da USP. 2000. Disponível em <http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2000ME_GeorgeMagalhaesMaranhao.pdf>. acessado em 07/05/2015.

MARCOS, M. H. C. Análise de emissões de CO₂ na fase pré-operacional da construção de habitações de interesse social através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009. Disponível em < <http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/19560> >. Acessado em 18/02/2015.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Biodiversidade 26, 2ª edição. Brasília, 2007. Disponível em < http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Livro2_completo.pdf >. Acessado em 30/05/2015.

MARTINS NETO, A. A, DJANIKIAN, J. P. Aspectos de Desempenho da Argamassa Dosada em Central. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, EPUSP, 1999.
Disponível em < www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00235.pdf >. Acessado em 06/01/2016

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, Protocolo de Quioto à Convenção sobre Mudança de Clima. Brasília. Disponível em <<http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/nrmclima/pdfs>>. Acessado em 30/05/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Convenção sobre mudança do clima. O Brasil e a Convenção-Quadro das Nações Unidas. Brasília, 2012. Disponível em <www.onu.org.br/rio92/img/2012/01/convencao_clima.pdf>. Acessado em 30/05/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Estimativas anuais de emissão de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília, 2013. Disponível em <<file:///C:/Users/Windows/Downloads/event%20sheet.pdf>>. Acessado em 21/09/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – COORDENAÇÃO GERAL DE MUDANÇAS GLOBAIS DE CLIMA – CGMC. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília, 2ª ed., 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Relatório de referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – Produtos minerais Parte I: Produção de cimento. Disponível em <www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228962.pdf>. Acessado em 15/05/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Relatório de referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – Produtos minerais Parte II: Produção de cal, outros usos do calcário e dolomita. Disponível em <www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228965.pdf>. Acessado em 15/05/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Relatório de referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos industriais – Produção de metais: ferro e aço. Disponível em <www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228964.pdf>. Acessado em 15/05/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2010a. II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa. Relatório de

referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos Industriais – Produtos minerais, Parte I – Produção de Cimento. Brasília, 2010.

Disponível em <www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228962.pdf>. Acessado em 05/07/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2010b. II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa. Relatório de referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos Industriais – Produtos minerais, Parte II: Produção de cal, outros usos do calcário e dolomita; Produção e uso de barrilha.

Disponível em <www.mct.gov.br/upd_blob/0219/219294.pdf>. Acessado em 07/05/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, 2010c. II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa. Relatório de referência: Emissões de gases de efeito estufa nos processos Industriais – Indústria Química. Disponível em <www.mct.gov.br/upd_blob/0219/2190291.pdf>. Acessado em 01/08/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, II Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência do Setor Processos Industriais. Disponível em <

www.mct.gov.br/index.php/content/view/330037/Processos_Industriais.html>. Acessado em 05/07/2015.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO, Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília, 2013.

Disponível <www.mct.gov.br/upd_blob/0226/226591.pdf>. Acessado em 05/07/2015.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Subsídios para Elaboração de uma Estratégia Industrial Brasileira para Economia de Baixo Carbono: Caderno 5 Nota Técnica Alumínio. Brasília, 2012.

Disponível em <www.abdi.com.br/estudo/caderno05_notatecnica_aluminio.pdf>. Acessado em 01/08/2015.

MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação. Brasília, 2013. Disponível em <www.mdic.gov.br/portalmDIC/arquivos/dwnl_1371044607.pdf>. Acessado em 30/05/2015.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. Relatório Técnico 609 – Perfil da Cerâmica de revestimento, 2009. Disponível em <

http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P43_RT69_Perfil_da_Ceramica_de_Revestimento.pdf/e816b80c-9292-493b-b717-cf9eb1f9a9a9>. Acessado em 05/01/2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014 - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Anuário estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos 2014. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1865684/Anuario_Setor_Transformacao_Nao_Metalicos_2014_base_2013.pdf/702c3c9f-59b0-4b5c-947a-fd6143f7da5d>. Acessado em 05/07/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Disponível em <www.mma.gov.br/convencao-das-nacoes-unidas>. Acessado em 30/05/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC. Brasília, 2008. Disponível em <
www.mma.gov.br/estruturas/smcq-climaticas/arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf>. Acessado em 30/05/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosférica por Veículos Automotores Rodoviários – Relatório Final. Disponível em <
http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acessado em 30/05/2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Protocolo de Quioto. Brasília, 2014. Disponível em <
www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>. Acessado em 30/05/2015.

MOURA, M., MOTTA, A. L. T. O fator energia na construção civil. IX Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2013. Disponível em
<www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg9/anais/T13_0602_3788.pdf>. Acessado em 05/07/2015.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA), 2015. Níveis de CO₂ em ppm na atmosfera no período de 2004 – 2015 corrigidos para ciclos sazonais médios, medidos pelo observatório Mauna Loa no Havaí do NOAA. Disponível em <
www.noaa.gov>. Acessado em 25/02/2016.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA), 2015. Earth System Research Laboratory. Disponível em <
<http://www.esrl.noaa.gov/research/themes/carbon/index.html>> Acessado em 25/02/2016.

NETO, A. S. R. Agrometeorologia 2010/11. Secretaria de Agricultura e do Abastecimento do estado do Paraná. Departamento de economia rural. Curitiba, 2011. Disponível em <
http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/agrometeorologia_2010_11.pdf>. Acessado em 02/08/2016.

OLIVEIRA, M. M. C. A. et al. Neutralização dos gases de efeito estufa (GEE): Estudo de caso de uma microempresa do ramo de alimentos. X Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 22 a 24 de Maio de 2013, Poços de Caldas. Disponível em
<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/agrogeoambiental/article/view/577/469>. Acessado em 08/07/2016.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; REZENDE, M. A.; ABREU, H. S. Determinação da densidade da madeira de Pinus Elliotti Engelm, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. Floresta e Ambiente, v 11. n.1, p. 01 – 06, ago/dez 2004. Disponível em <
<http://docplayer.com.br/10650942-Determinacao-da-densidade-da-madeira-de-pinus-elliottii-engelm-atraves-de-atenuacao-de-radiacao-gama-comparada-a-metodos-tradicionais-resumo-abstract.html>>. Acessado 30/05/2015.

PLACO DO BRASIL, 2013. Catálogos de Ficha de Produto. Disponível em <
<http://www.placo.com.br/download/arquivo/185f030-documentation.zip>>. Acessado em 05/02/2016.

PLANO MBC. PLANO SETORIAL DE MITIGAÇÃO E DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA NA MINERAÇÃO. Plano de Mineração de Baixa Emissão de Carbono. Brasília, 2013. Disponível em

<<https://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/20981/Plano%20Setorial%20Mineraxo%20Junho%202013.pdf?sequence=2>>. Acessado em 20/08/2015

PORTAL SETOR VIDREIRO, 2012. Propriedades físicas e mecânicas do vidro. Disponível em <www.setorvidreiro.com.br/propriedades+fisicas+e+mecanicas+do+vidro>. Acessado em 01/08/2015.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. Especificação de verificação do programa brasileiro GHG Protocol, edição 2011.

Disponível em <www.ghgprotocolbrasil.com.br>. Acessado em 30/05/2014.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. Ferramenta de Cálculo, 2014. Disponível em <<http://186.202.166.152/ghg/htdocs/index.php?r=site/ferramenta>>. Acessado em 30/05/2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA. Informe Anual del PNUMA 2007. Disponível em <

http://www.unep.org/PDF/AnnualReport/2007/UNEP_AR_2007_SP.pdf>. Acessado em 14/03/2015.

SILVA, E. S. Inventário de Gases de Efeito Estufa na Etapa de Construção de Edificações Residenciais Multifamiliares na Região da Grande Florianópolis, SC. Dissertação de Mestrado – UFSC. 229 p. Florianópolis, 2014. Disponível em <

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/129120/331964.pdf?sequence=1>>. Acessado em 25/02/2015.

SINDUSCON/SP Sindicato da Construção, COMASP – Comitê do Meio Ambiente. Guia Metodológico para Inventários de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Construção civil Setor: Edificações, 2013. Disponível em <

www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/guia_gee_i_pad_eweb.pdf>. Acessado em 30/05/2015.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEGEE). Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil 1990 – 2012. Observatório do Clima, 2013. Disponível em <www.seeg.eco.br/>. Acessado em 25/02/2015.

SOARES, J. B. Potencial de conservação de energia e de mitigação das emissões de gases de efeito estufa para a indústria brasileira de cimento Portland até 2015. 1998. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em

https://scholar.google.com.br/scholar?bav=on.2,or.r_cp.&bvm=bv.128617741,d.Y2I&biw=1623&bih=846&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:hfu56jMo9tr44M:scholar.google.com/.

Acessado em 08/07/2016.

TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO). São Paulo: ed. Pini, 2014. 512 p. UNEP – United National Environment Programme. Avaliação de

Políticas Públicas para Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa em Edificações. Budapest, 2007. Disponível em <www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/outrosem sustentabilidade/UNEP_capa-miolo-rev.pdf>. Acessado em 07/05/2015.

TABORANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. Contribuição à metodologia de avaliação das emissões de dióxido de carbono no ciclo de vida das fachadas de edifícios de escritórios. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/562. São Paulo, 2010.

Disponível em <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00562.pdf>. Acessado em 02/03/2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME – SUSTAINABLE BUILDINGS AND CLIMATE INITIATIVE (UNEP –SBCI). Common Carbon Metric for Measuring Energy Use and Reporting Greenhouse Gas Emission from Building Operations, 2012. Disponível em <<http://www.unep.org/sbcipdfs/unepsbcicarbonmetric.pdf>>. Acessado em 28/11/2014.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Disponível em <http://unfccc.int/ghg_data/ghg_data_unfccc/items/4146.php>. Acessado em 18/10/2014.

VALVERDE, F. M. Agregados para Construção Civil. Balanço Mineral Brasileiro, 2001. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acessado em 02/08/2015.

WORLD RESOURCES INSTITUTE AND WORLD BUSINESS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT GREENHOUSE GAS PROTOCOL (WRI). Required Greenhouse Gas in Inventories – Accounting and Reporting Standard Amendment, 2013.

Disponível em <www.ghgprotocol.org/files/ghgp/NF3-Amendment_os2213.pdf>. Acessado em 30/05/2014.

ANEXO A

Composição quantitativa de materiais utilizados em cada etapa da construção de acordo com o memorial descritivo da obra

Tabela A1. Serviços preliminares.

Descrição	Quantidade ¹
Serviços preliminares	
Limpeza do terreno	1.958,50 m³
Locação da obra	1.058,94 m³
Movimento de terra	
Corte e raspagem do terreno até 4 m	5.517,80 m³
Transporte de solo, exceto rocha	5.021,20 m³
Reaterro mecânico no entorno da edificação	1.434,00 m³

¹memorial descritivo da obra

Tabela A2. Cálculo do tempo de utilização e consumo de combustível gasto na preparação do terreno.

Equipamento	Potência ¹ hp	Consumo Específico ¹ h/m³	Tempo de utilização ² h	Consumo de Combustível ¹ L/h	Consumo total ³ L
Trator sobre esteiras	140	0,0204	112,563	11,55	1.274,612
Pá carregadeira	170	0,02	110,356	14,025	1.547,743
Caminhão basculante	150	0,06	387,312	12,75	4.938,228
Moto niveladora	128	0,005	34,80	10,56	367,488
Caminhão irrigadeira	130	0,01	14,34	10,725	153,796
Trator – grade de disco	80	0,01	55,178	6,60	364,175
Rolo compactador	100	0,005	7,17	8,25	59,152

Fonte: ¹DNIT, 2003; ²TCPO 2014; ³calculado.

Tabela A3. Materiais consumidos na instalação do canteiro de obras.

Descrição	Quantidade ¹
Serviços iniciais e de canteiro	
Tapume em chapas de compensado, espessura de 14 mm	407 m²
Portão para obra em madeira, dimensões: 4,40 X 2,20 m	9,68 m²
Escritório em chapas de compensado, espessura de 14 mm	85 m²
Chuveiro provisório em madeira, dimensões: 1,10 x 1,10 m, 3 unidades	3,63 m²
Sanitário provisório em madeira, dimensões: 1,10 x 1,10 m, 3 unidades	3,63 m²
Lavatório provisório para lavagem de mãos em madeira, dimensões: 1,10 x 1,10 m, 3 unidades	3,63 m²

¹memorial descritivo da obra

Tabela A4. Materiais utilizados na sinalização e equipamentos de proteção coletivos

Descrição	Quantidade ¹
Bandeja de proteção primária com estrutura metálica e fechamento em madeira, dimensões: 2500 X 800 mm. Peso por peça: 15 kg, espaçamento entre peças: 110 mm	1.980 kg 289,6 m³
Bandeja de proteção secundária com estrutura metálica e fechamento em madeira, dimensões: 1400 X 800 mm. Peso por peça: 12 kg, espaçamento entre peças: 110 mm.	1.584 kg 162,18 m³
Peitoril de proteção de perímetro em guarda-corpo de madeira com fechamento em tela. Travessão superior a 1,2 m de altura com 0,15 m de largura, o travessão intermediário a 0,70 m com largura de 0,15 m e o rodapé com 0,15 m de largura. Espessura: 0,025 m	7,30 m³
Tela de polietileno (<i>nylon</i> ®) para fachada.	5.249,00 m²
Balancim formado por um andaime suspenso com 6 m de largura e quatro pernas de cabo de aço com 100 m cada e dois afastadores de andaime.	1 un.
Elevador de obra, capacidade 1300 kg.	1 un.

¹memorial descritivo da obra

Tabela A5. Materiais consumidos na execução da fundação

Descrição	Quantidade ¹
Execução do muro de arrimo	
Perfuração mecânica estacas tipo escavadas, diâmetro 25 cm	65 m
Forma em tábuas para fundação (2 usos)	70,20 m²
Armadura em aço CA-60 (5,0 mm)	692,40 kg
Concreto usinado 30 MPa	8,96 m³
Alvenaria em bloco cerâmico furado 9X19X19 cm	65 m²
Assentamento argamassa traço 1:4, espessura: 19 cm	1,79 m³
Bloco cerâmico furado	3.250 un.
Cimento	430 kg
Areia	2.148 kg
Chapisco argamassa traço 1:3, esp.: 0,5 cm	0,65 m³
Cimento	195 kg
Areia	730 kg
Emboço de massa única, traço 1:2:8, espessura: 2 cm	2,6 m³
Cimento	284 kg
Cal	804 kg
Areia	2.836 kg
Execução do portal de entrada	
Perfuração mecânica estacas tipo escavadas, diâmetro 25 cm	120 m
Forma em tábuas para fundação (2 usos)	515,52 m²
Armadura em aço CA-60 (5,0 mm)	3.092 kg
Concreto usinado 30 MPa	31,67 m³
Execução da rampa de acesso	
Forma em madeirit® 12 mm (1 uso)	190,32 m²
Armadura em aço CA-60 (5,0 mm)	2.740 kg
Concreto usinado 30 MPa	22,84 m³

¹memorial descritivo da obra

Tabela A6. Materiais consumidos nas alvenarias e vedações internas

Descrição	Quantidade ¹
Execução do subsolo 02 e escada enclausurada	228,01 m ²
Bloco cerâmico furado 10X15X20 cm	6.384 un.
Argamassa usinada	3,65 m ³
Área de assentamento de bloco de concreto	374,44 m ²
Bloco de concreto autoclavado marca Siporex 12,5x30x60 cm, peso 12,5 kg	1.980 un.
Argamassa usinada	4,68 m ³
Argamassa para enculhamento	0,27 m ³
Verga 0,10 x 0,10 cm em concreto 15,0 Mpa, 6,3 mm	39,55 m ³
Aço CA – 60, massa linear 0,245 kg/m	2.373 kg
Arame recozido com diâmetro: 1,25 mm / bitola 18 BWG	47,46 kg
Prego: 18 X 27	79,1 kg
Tábua 3ª construção, seção transversal: 1 x 12"	197,75
Pontalete de pinho 3 X 3"	0,14 m ³
Desmoldante para fôrma	5,339 L
Cimento	10.599,4 kg
Areia lavada	1.398,9 kg
Pedra britada	1.421,2 kg
Divisória de gesso com lã de rocha – RUxRU	420,26 m ²
Placa de gesso com lã de rocha resistente a umidade RU	10 kg
Guia 75 – 0,9 m/m ²	0,487 kg
Montante M 75 – 2,30 m/m ²	0,594 kg
Parafuso TF 212 x 25 – 25 un./m ²	25 un.
Parafuso RT 421 x 9,5 – 2 un./m ²	2 un.
Cola para painéis de gesso 0,10 kg/m ²	0,10 kg
Massa de rejunte para acabamento – 0,70 kg/m ²	0,70 kg
Fita para juntas – 3 m/m ²	3,0 m
Cantoneira aço galvanizado 0,04 kg/m	0,042 kg
Filetes aço galvanizado 0,04 kg/m	0,074 kg
Silicone 0,02 kg/m	0,02 kg
Placa de gesso resistente a umidade completa, peso: 12,821 kg/m ²	5.388,15 kg
Divisória de gesso com lã de rocha – STxST	5.710,58 m ²
Placa de gesso com lã de rocha standard ST	9,5
Guia 75 – 0,9 m/m ²	0,487 kg
Montante M 75 – 2,30 m/m ²	0,594 kg
Parafuso TF 212 x 25 – 25 un./m ²	25 un.
Parafuso RT 421 x 9,5 – 2 un./m ²	2 un.
Cola para painéis de gesso 0,10 kg/m ²	0,10 kg
Massa de rejunte para acabamento – 0,70 kg/m ²	0,70 kg
Fita para juntas – 3 m/m ²	3,0 m
Cantoneira aço galvanizado 0,04 kg/m	0,042 kg
Filetes aço galvanizado 0,04 kg/m	0,074 kg
Silicone 0,02 kg/m	0,02 kg
Placa de gesso completa, peso: 12,391 m ²	70.360,06 kg
Divisória em vidro temperado, esp.: 10 mm	32,05 m ²

¹memorial descritivo da obra

Tabela A7. Materiais consumidos, por m² de divisórias, e os respectivos Fatores de Emissão de GEE.

Descrição	Quantidade ¹ (kg)	Fator de emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /m ²)
Divisórias de gesso com lã de rocha standard ST	9,5	0,7664	7,2808
Divisórias de gesso com lã de rocha resistente a umidade RU	10	0,7664	7,6640
Guia 75 – 0,9 m/m ²	0,487	1,655	0,8060
Montante M 75 – 2,30 m/m ²	0,594	1,655	0,9831
Parafuso TF 212 x 25 – 25 un./m ²	25 un.	-	-
Parafuso RT 421 x 9,5 – 2 un./m ²	2 un.	-	-
Cola para painéis de gesso 0,10 kg/m ²	0,10	-	-
Massa de rejunte para acabamento – 0,70 kg/m ²	0,70	0,0038	0,0027
Fita para juntas – 3 m/m ²	3,0 m	-	-
Cantoneira aço galvanizado 0,04 kg/m	0,042	1,46	0,0613
Filetes aço galvanizado 0,04 kg/m	0,074	1,46	0,1080
Silicone 0,02 kg/m	0,02	-	-
Divisórias de gesso com lã de rocha standard ST completa	12,391	0,7458	9,2419
Divisórias de gesso com lã de rocha resistente a umidade RU completa	12,821	0,7502	9,6251

¹memorial descritivo da obra e Catálogo PLACO Drywall; ²Costa (2012); ³calculado.

Tabela A8. Materiais consumidos na montagem das esquadrias

Descrição	Área ¹
Porta de abrir em ferro, 1 folhas, dimensões: 2,10 X 1,20 m, espessura: 3 mm, 9 unidades	22,68 m ²
Porta de abrir em madeira, 1 folhas, dimensões: 2,10 X 0,90 m, espessura: 35 mm, 154 unidades	291,06 m ²
Porta de abrir em alumínio, 1 folhas, dimensões: 1,60 X 0,60 m, espessura: 3 mm, 42 unidades	40,32 m ²
Porta em vidro temperado, 16 folhas, dimensões: 2,10 X 0,90 m, espessura: 10 mm, 6 unidades	30,24 m ²
Visor em vidro temperado, dimensões: várias, espessura: 10 mm, 34 unidades	81,12 m ²
Corrimão para escada enclausurada fixada na parede, em aço com h = 0,92 m	48,26 m
Corrimão para escada social fixado na parede, em aço com h = 0,92 m	35,60 m
Soleira em granito branco Aqualux, e = 3 cm com largura de 18 cm	143,23 m
Pingadeira em granito branco Aqualux e = 2 cm com largura de 18 cm	1.013,60 m
Porta metálica corta-fogo completa, 1 folha de abrir, 1,20 x 2,10 m, peso: 57 kg; 8 unidades	20,16 m ²

¹memorial descritivo da obra.

Tabela A9. Materiais consumidos na esquadria de uma porta de madeira e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade ¹	Densidade ² (kg/m ³)	Massa (kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ⁴ (kg CO ₂ /un.)
Madeira	0,06615 m ³	552	36,51	0,131	4,78
Parafuso	18 un.	-	-	0,21 kg CO ₂ /un	3,78
Prego	0,30 kg	-	-	2,31 kg CO ₂ /kg	0,693
Dobradiça	3 un.	-	-	1,04 kg CO ₂ /un	3,12
Fechadura completa	1 un.	-	-	0,87 kg CO ₂ /un	0,87
Total de CO ₂ emitido por porta completa					13,25 kg CO ₂ /un.

¹memorial descritivo da obra; ²IPT (2012); ³Lobo (2010); ⁴calculado

Tabela A10. Materiais consumidos na esquadria de uma porta de ferro e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade ¹	Massa (kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ⁴ (kg CO ₂ /un.)
Porta completa	2,52 m ²	18,564	1,46	27,103
Total de CO ₂ emitido por porta completa				27,103 kg CO ₂ /un.

¹memorial descritivo da obra; ²Metálica (2012); ³Hammond e Jones (2011) (2011); ⁴calculado

Tabela A11. Materiais consumidos na esquadria de uma porta de vidro temperado e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade ¹	Massa ¹ (kg)	Fator de emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /un.)
Porta completa	1,89 m ²	47,25	0,600	28,350
Total de CO ₂ emitido por porta completa				28,350 kg CO ₂ /un.

¹memorial descritivo da obra; ²CPIV (2011); ³calculado

Tabela A12. Materiais consumidos na esquadria de uma porta de alumínio e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade ¹	Massa ¹ (kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ⁴ (kg CO ₂ /un.)
Porta completa	0,96	33	1,655	54,62
Total de CO ₂ emitido por porta completa				54,62

¹memorial descritivo da obra; ³MCT, 2010; ⁴calculado

Tabela A13. Materiais consumidos na esquadria de um visor de vidro temperado e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade ¹	Massa ¹ (kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /un.)
Visor completo	2,386 m ³	59,65	0,600	35,79
Total de CO ₂ emitido por visor completo				35,79

¹memorial descritivo da obra; ²CPIV (2011); ³calculado

Tabela A14. Materiais consumidos na esquadria de uma porta metálica corta fogo e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade ¹	Massa ² (kg)	FE ³ (kg CO ₂ /kg)	FE ⁴ (kg CO ₂ /un.)
Porta completa	2,52 m ²	57	-	
Lã de vidro		50	1,2	60
Chapa galvanizada		7	1,46	10,22
Total de CO ₂ emitido por porta completa				70,22 kg CO ₂ /un

¹memorial descritivo da obra; ²Metálica (2012); ³Hammond e Jones (2011) (2011); ⁴calculado

Tabela A15. Materiais consumidos na cobertura e seus fatores de emissão.

Material	Área de cobertura ¹	Quantidade (kg/m ²)	Quantidade ³ Massa (kg)	FE ⁴ (kg CO ₂ /kg)
Estrutura de aço para telha tipo sanduíche (consumo de 12,10 kg/m ²)	828,41 m ²	12,10	10.023,8	1,46
Telha metálica tipo sanduíche:				
Placa de aço esp. 0,43 mm	828, 41 m ²	3,4	2.816,6	1,46
Placa de EPS eps. 30 mm	828, 41 m ²	0,5	414,2	3,76
Contra-rufo em chapa galvanizada nº 24, 44 cm	198,10 m	5,2	1.030,1	3,62
Calha em chapa galvanizada nº 26, 50 cm	53,90 m	4,0	215,6	3,62
Rufo em chapa galvanizada nº 26, 44 cm	198,10 m	4,0	792,4	3,62
Cobertura em vidro e estrutura auxiliar em alumínio, tipo “ <i>Structural Glasing</i> ”	153,67 m ²	20 kg/m ²	3.073,4	4,64

¹memorial descritivo da obra; ²fabricantes, ³calculado; ⁴baseado na tabela 7.

Tabela A16. Cálculo de materiais, por m² de forro, e seus fatores de emissão.

Descrição	Consumo (kg)	Fator de emissão ² (kg CO ₂ /kg)	Fator de emissão ³ (kg CO ₂ /m ²)
Placas de gesso para forro	7,2	0,7664	5,5181
¹ Pino de aço cravado	4,0 un.	-	-
Estrutura para trilho de alumínio 0,04 kg/m	0,08	1,655	0,1324
Trilho de alumínio 0,04 kg/m	0,08	1,655	0,1324
Arame galvanizado n° 18	0,10	2,25	0,2250
¹ Cola para painéis de gesso 0,10 kg/m ²	0,10	-	-
Massa de rejunte para acabamento – 0,70 kg/m ²	0,70	0,0038	0,0027
¹ Fita para juntas – 3 m/m ²	3,0 m	-	-
Placas de gesso para forro completa	8,26	-	6,0106

¹memorial descritivo da obra e TCPO (2014; ²baseado na tabela 7; ³calculado.

Tabela A17. Cálculo dos materiais consumidos no revestimento de paredes externas (fachadas)

Descrição	Quantidade ¹ (kg)
Fachada em “ <i>Structural Glazing</i> ” sistema unitizado com vidro laminado refletivo <i>Royal blue</i> 4 mm, alumínio com pintura eletrostática bronze, área 3.639,69 m ²	-
Vidro	10
Alumínio	5,6
Lã de rocha	2,4
Silicone	1,4
Acessórios PVC e EPDM®	0,6
Peso por m ²	20
Revestimento em ACM prata nano 4 mm, laminas 0,5 mm, Área 2.212,25 m ²	-
Alumínio	2,8
Polietileno	2,7
Perfil TG-002	2,036
Cantoneira CT-007	0,075
Cantoneira CT-014	0,083
Peso por m ²	7,6694

¹memorial descritivo da obra, Catálogo PLACO Drywall e TCPO (2014).

Tabela A18. Materiais consumidos no revestimento de piso

Descrição	Área do revestimento ¹	Quantidade ² (m³)	Densidade ³ (kg/m³)	Peso ² (kg)
Lastro 5 cm concreto magro sem impermeabilizante	948,42 m²	47,42	2.400	113.808
Regularização de piso com argamassa, cimento/areia, traço 1:3, esp.: 5 cm, concreto leve auto adensável	8.034,25 m²	401,71	2.100	843.596
Piso em porcelanato tipo 1, esp.: 1 cm	126,12 m²	1,26	1.800	2.268
Piso em porcelanato tipo 2, esp.: 1 cm	385,74 m²	3,86	1.800	6.948
Piso tipo laminado de PVC – áreas nobres	1.819,48 m²	9,10	1.400	12.740
Rodapé MDF, 20 cm – áreas nobres	909,74 m²	18,19	552	10.436
Piso tipo laminado PVC – áreas de trabalho	5.536,14 m²	27,68	1.400	38.752
Rodapé MDF, 20 cm – áreas de trabalho	2.567,85 m²	51,36	552	28.349
Piso em porcelanato tipo 5 – antiderrapante	166,77 m²	1,67	1.800	3.006
Rodapé em porcelanato para piso tipo 5	266,04 m²	2,66	1.800	4.788
Acabamento rústico em piso de cimento alisado	231,40 m²	2,31	2.100	4.851
Piso de garagem armado 12 cm armadura dupla – Gerdau	948,42 m²	11,4	2.500	28.500
Piso elevado Data Center – padrão Tate formicado	79,39 m²	0,79	1.400	1.106
Acabamento para piso de garagem com alisamento mecânico	948,42 m²	9,48	2.100	19.908

¹memorial descritivo da obra; ²calculado; ³ baseado na tabela 7.

Tabela A19. Cálculo dos materiais, em massa, para a produção de um m² de fachada em “*Structural Glazing*” e seus fatores de emissão.

Material	Quantidade (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg material)	Fator de Emissão ³ (kg CO ₂ /m ²)
Vidro	10	0,600	6,00
Alumínio	5,6	1,786	10,002
Lã de Rocha	2,4	1,438	3,451
Silicone	1,4	0,623	0,868
PVC e EPDM	0,6	0,195	0,117
Total por m ²	20	-	20,438

¹memorial descritivo da obra e TCPO (2014); ²Bessa (2010); ³calculado.

Tabela A19. Cálculo dos materiais, em massa, para a produção de um m² de fachada com ACM e seus fatores de emissão.

Componente	Massa ¹ (kg)	Fator de Emissão ² (kg CO ₂ /kg material)	Fator de Emissão ³ (kg CO ₂ /m ²)
Chapas de alumínio	2,8	1,786	5,00
Chapa de polietileno (PEBD)	2,7	2,54	6,858
Perfil TG-002	2,036	1,770	3,604
Cantoneira CT-007	0,075	0,070	0,005
Cantoneira CT-014	0,083	0,070	0,0062
Total por m ²	7,694	-	15,473

¹Gouveia e Spoto (2015); ²Hammond e Jones (2011) (2011), ³calculado

ANEXO B

Cálculos das incertezas

As tabelas B1 e B2 apresentam as incertezas calculadas para as fases que compõe o inventário de emissões da obra referentes aos escopos 1 e 2.

Tabela B1. Incerteza na fase de preparação do terreno no consumo de combustível (%)

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Óleo Diesel	1,0	1,5	-	0,5
Biodiesel	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total	2,0	3,0	-	1,0
Incerteza na fase de Consumo de combustível na obra ² (±)				3,46

¹Sinduscon/SP (2013) ²calculado

Tabela B2. Incerteza no consumo da energia elétrica adquirida (%).

Material	Coleta de dados	Lançamento dos dados	Conversão	Fator de emissão
Energia elétrica	1,0	1,5	-	0,5
Incerteza no consumo da energia elétrica adquirida (±)				1,87

(MCTI, 2014)

As tabelas B3 a B9 apresentam as incertezas calculadas para as fases que compõe o inventário de emissões da obra referentes ao escopo 3.

Tabela B3. Incerteza na fase de Infraestrutura: instalação do canteiro de obra e fundação (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Madeira	1,0	1,5	0,6	1,0
Aço	1,0	1,5	0,6	2,0
Concreto	1,0	1,5	0,6	1,0
Bloco cerâmico	1,0	1,5	0,6	1,0
Cimento	1,0	1,5	0,6	1,0
Areia	1,0	1,5	0,6	1,0
Cal	1,0	1,5	0,6	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	8,0	12,5	4,2	8,5
Incerteza da quantidade de emissões na Infraestrutura ²				± 17,6

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado

Tabela B4. Incerteza na fase de vedações internas (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Madeira	1,0	1,5	0,6	1,0
Aço	1,0	1,5	0,6	1,0
Bloco de concreto	1,0	1,5	0,6	1,0
Bloco cerâmico	1,0	1,5	0,6	1,0
Cimento	1,0	1,5	0,6	1,0
Areia lavada	1,0	1,5	0,6	1,0
Brita	1,0	1,5	0,6	1,0
Argamassa	1,0	1,5	0,6	1,0
Divisórias em gesso	1,0	1,5	0,6	1,0
Vidro	1,0	1,5	0,6	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	11,0	16,5	6,0	10,5
Incerteza da quantidade de emissões na Alvenaria interna e vedações ²				± 21

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado

Tabela B5. Incerteza na fase de cobertura do telhado (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Structural Glazing	1,0	1,5	0,6	1,0
Aço	1,0	1,5	0,6	1,0
Telha trapezoidal	1,0	1,5	0,6	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	4,0	6,0	1,8	3,5
Incerteza da quantidade de emissões na cobertura do telhado ²				± 8,2

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado.

Tabela B6. Incerteza na fase de instalação da fachada (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Structural Glazing	1,0	1,5	0,6	1,0
Painéis em ACM	1,0	1,5	0,6	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	3,0	4,5	1,2	2,5
Incerteza da quantidade de emissões da fachada ²				± 6,08

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado

Tabela B7. Incerteza na fase de instalação do revestimento de pisos (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Concreto usinado	1,0	1,5	0,6	1,0
Piso porcelanato	1,0	1,5	0,6	1,0
Piso laminado	1,0	1,5	0,6	1,0
Argamassa usinada	1,0	1,5	1,0	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	5,0	7,5	2,8	4,5
Incerteza da quantidade de emissões no Revestimento de pisos ²				± 10,5

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado

Tabela B8. Incerteza na fase de pintura (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Tinta	1,0	1,5	0,6	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	2,0	3,0	0,6	1,5
Incerteza da quantidade de emissões na Pintura ²				± 3,95

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado

Tabela B9. Incerteza na fase de impermeabilização (%).

Material	Coleta de dados ¹	Lançamento dos dados ¹	Conversão ¹	Fator de emissão ¹
Impermeabilizante	1,0	1,5	0,6	1,0
Transporte	1,0	1,5	-	0,5
Sub Total ²	2,0	3,0	0,6	1,5
Incerteza da quantidade de emissões na Impermeabilização ²				± 3,95

¹Sinduscon/SP (2013); ²calculado

Tabela B10. Incertezas recomendadas para coleta de dados (%)

Coleta de dados				
	Medição direta equipamento específico	Medição direta equipamento genérico	Por documento de terceiros	Por estimativa
Escopo 1				
Consumo de combustível	0,2	0,5	0,8	3,0
Escopo 2				
Energia adquirida	0,1	0,2	1,2	4,0
Escopo 3				
Fabricação dos materiais aplicados na obra	0,2	0,5	1,0	4,0
Transporte dos materiais aplicados na obra	0,2	0,5	1,0	4,0

Sinduscon/SP (2013)

Tabela B11. Incertezas recomendadas para lançamento no sistema e conversão (%)

	Lançamento no sistema (%)			Conversão (%)	
	Automático	Manual	Não é necessário converter	Conversão dimensional	Conversão para outra unidade
Escopo 1					
Consumo de combustível	0,2	1,5	0,2	0,4	1,5
Escopo 2					
Energia adquirida	0,2	1,5	0,1	0,2	0,6
Escopo 3					
Fabricação dos materiais aplicados na obra	0,2	1,5	0,3	0,6	Não avaliado
Transporte dos materiais aplicados na obra	0,2	1,5	0,3	0,5	2,0

Fonte: Sinduscon/SP (2013)

Tabela B12. Incertezas recomendadas para fatores de emissão (%)

	Fatores de emissão (%)	
	Específico	Genérico
Escopo 1		
Consumo de combustível	0,5	2,0
Escopo 2		
Energia adquirida	0,5	1,5
Escopo 3		
Fabricação dos materiais aplicados na obra	1,0	4,0
Transporte dos materiais aplicados na obra	0,5	2,0

Fonte: Sinduscon/SP (2013)