

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CONTEÚDO ENERGÉTICO E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM  
COBERTURAS VERDES, DE TELHA CERÂMICA E  
DE FIBROCIMENTO: ESTUDO DE CASO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Marcos Fabricio Benedetti Pereira**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

# **CONTEÚDO ENERGÉTICO E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM COBERTURAS VERDES, DE TELHA CERÂMICA E DE FIBROCIMENTO: ESTUDO DE CASO**

**Marcos Fabricio Benedetti Pereira**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção de grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**Orientadora: Profa. Dra. Giane de Campos Grigoletti**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2014**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**CONTEÚDO ENERGÉTICO E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM COBERTURAS  
VERDES, DE TELHA CERÂMICA E DE FIBROCIMENTO: ESTUDO DE  
CASO**

elaborada por  
**Marcos Fabricio Benedetti Pereira**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

**Giane de Campos Grigoletti, Dra.**  
(Presidente/Orientadora)

**Eduardo Grala da Cunha, Dr. (UFPEL)**

**Marcos Alberto Oss Vaghetti, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, 15 de Abril de 2014.

*Aos meus pais pelo amor e educação que sempre me proporcionaram.*

*Aos meus irmãos pela saudade que as fronteiras nos distanciam.*

*Ao Iásin pela insaciável contribuição acadêmica nesta pesquisa.*

*Aos meus amigos de Santa Maria que sempre me apoiaram.*

*À minha orientadora, professora Dra. Giane pela confiança.*

*À Ulbra Santa Maria por acreditar neste momento.*

*Havia uma estranha quietude.  
Os pássaros, por exemplo –  
para onde tinham ido?  
Muitas pessoas falavam neles,  
confusas e inquietas.  
Os alimentadores de pássaros  
nos quintais estavam desertos.  
Os poucos pássaros que se viam  
estavam moribundos;  
tremiam violentamente e  
não conseguiam voar.  
Era uma primavera sem vozes.*

Rachel Carson (2010)

**RESUMO**  
**Dissertação de Mestrado**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**  
**Universidade Federal de Santa Maria**  
**CONTEÚDO ENERGÉTICO E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM COBERTURAS VERDES,**  
**DE TELHA CERÂMICA E DE FIBROCIMENTO: ESTUDO DE CASO**  
**AUTOR: MARCOS FABRICIO BENEDETTI PEREIRA**  
**ORIENTADORA: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI, DRA.**  
**Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de Abril de 2014.**

O CO<sub>2</sub> é um dos principais gases responsáveis pelo incremento do efeito estufa, das mudanças climáticas e da degradação ambiental decorrente deste desequilíbrio ecológico. Sendo a construção civil uma das principais responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>, o uso de técnicas construtivas mais sustentáveis pode contribuir para a redução dessas emissões. Além disso, o conteúdo energético dos materiais também é importante ser considerado, pois além de incrementar, através de consumo de derivados de petróleo, os índices de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o menor consumo de energia possível, mesmo as renováveis, representa menores impactos ambientais. Assim sendo, imprescindível analisar não só a emissão de CO<sub>2</sub>, como também o conteúdo energético dos materiais empregados nas três tecnologias de cobertura objetos de estudo desta pesquisa: coberturas verdes, de fibrocimento e de telhas cerâmicas. As coberturas verdes são uma possibilidade sustentável a ser implementada no fechamento de topo de edificações. A presente pesquisa visa a comparar as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético de duas soluções de cobertura verdes e duas soluções de coberturas tradicionais, na fase pré-operacional, localizadas em Porto Alegre e outra em Santa Maria – RS. O método utilizado partiu desde identificar as camadas e elementos constituintes em cada cobertura verde, bem como os insumos utilizados nas coberturas tradicionais, mensurar quanto material foi utilizado para cada cobertura, analisar o percurso de todos os materiais pelos meios de transportes, quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> e o consumo energético dos materiais pelos processos de fabricações dos mesmos e finalmente comparar todos os resultados. O senso comum considera que as coberturas verdes têm o potencial de mitigar danos ambientais, especialmente os causados pelo setor da construção civil de emissão de CO<sub>2</sub> e de consumo energético na fase pré-operacional, da mesma forma como são descritas as vantagens na fase operacional. Tal hipótese se confirmou para as coberturas avaliadas. Dentre as possibilidades aqui analisadas para fechamento de topo de edificações, as coberturas verdes são a única tecnologia capaz de mitigar os danos ambientais, em especial, a emissão de dióxido de carbono, e fornecer um serviço ambiental à coletividade de sequestro de carbono ao longo de sua vida útil.

**Palavras-chave:** Coberturas verdes. Emissão de CO<sub>2</sub>. Consumo energético.

**ABSTRACT**  
**Master's dissertation**  
**Postgraduate Programme in Civil Engineering**  
**Federal University of Santa Maria**  
**EMBODIED ENERGY AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS IN GREEN ROOFS, CERAMIC**  
**TILES, AND FIBER CEMENT: CASE STUDY**  
**AUTHOR: MARCOS FABRICIO BENEDETTI PEREIRA**  
**SUPERVISOR: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI**  
**Date and place of oral defense: Santa Maria, 15 April 2014**

CO<sub>2</sub> is one of the main gases accountable for the increment of the greenhouse effect, of climate changes, and of environmental degradation arising from this ecological unbalance. Civil construction is one of the main sources of CO<sub>2</sub> emissions, using construction techniques that are more sustainable can contribute to the reduction of those emissions. Furthermore, the energy content of materials must be taken into account as well due to the fact that the consumption of petroleum by-products increases the CO<sub>2</sub> indexes in the atmosphere. It becomes then clear that the less energy is consumed, even those renewable, the less environmental impact there is. Thus, it is indispensable to analyse not only the emissions of CO<sub>2</sub> but also the energy content of materials used in three roofing technologies under scrutiny in this research: green roofs, fibre cement, and ceramic tiles. Green roofs are a sustainable alternative to be implemented in covering the top of buildings. This research, therefore, aims to compare the CO<sub>2</sub> emission to the energy content of two green roof solutions and of two traditional coverage solutions in the pre-operational phase — in the cities of Porto Alegre and Santa Maria, both in the state of Rio Grande do Sul. The method used to identify left from the layers and constituents in each green cover, and the raw materials used in traditional roofs, measuring how much material was used for each cover, analyzing all the material traversed by the means of transport, quantifying emissions CO<sub>2</sub> and energy consumption of materials by processes fabrication them and finally to compare all results. Common belief is that green roofs have the potential to mitigate environmental damages, especially those caused by the civil construction sector concerning CO<sub>2</sub> emissions and energy consumption in the pre-operational phase, just as advantages in the operational phase are described. Such hypothesis was confirmed for the tested cover. However, among the possibilities discussed below for closing the top of buildings, green roofs are the only technology capable of mitigating environmental damage, in particular, the emission of carbon dioxide, and provide an environmental service to the community carbon sequestration to throughout his life . Nonetheless, amongst the building coverage possibilities herein analysed, green roofs are the only technology capable of integrally mitigating environmental damages in a few years, especially the emission of carbon dioxide, and also the only technology capable of providing an environmental service to the collectivity of carbon sequestration to throughout his life.

**Keywords:** Green roofing. CO<sub>2</sub> emission. Embodied energy.

**RESÚMEN**  
**Disertación de Maestría**  
**Programa de Pos Graduación en Ingeniería Civil**  
**Universidad Federal de Santa Maria**  
**ENERGIA CONTENIDA Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN TECHOS VERDES, DE TEJA**  
**CERÁMICA Y DE FIBRO-CIMIENTO: ESTUDIO DE CASO**  
**AUTOR: MARCOS FABRICIO BENEDETTI PEREIRA**  
**ORIENTADORA: GIANE DE CAMPOS GRIGOLETTI, DRA.**  
**Fecha y local de la defensa: Santa Maria, 15 de abril de 2014.**

El CO<sub>2</sub> es uno de los principales gases responsables por el aumento del efecto estufa, las modificaciones climáticas y la degradación ambiental son consecuencias de este desequilibrio ecológico. La construcción civil es uno de los principales responsables por la emisión del CO<sub>2</sub>, el uso de las técnicas constructivas más sostenibles puede favorecer para la reducción de estas emisiones. En este ámbito, las cubiertas verdes se presentan como una posibilidad sostenible para ser implementada como techo de las edificaciones. De este modo, esta investigación tiene como intuito comparar las emisiones de CO<sub>2</sub> y la energía contenida de tres soluciones de cubiertas para residencias familiares; dos techos verdes y dos cubiertas tradicionales, en la fase pre operación, por medio de dos casos realizados de techos verdes, uno en Porto Alegre – RS y otro en Santa Maria – RS. El método utilizado para la investigación partió desde la identificación de los componentes de las cubiertas verdes, bien como de los techos tradicionales de fibrocimiento y tejas cerámicas. Lugo se mensuró cuanto material fue utilizado para cada tecnología, con el objetivo de identificar los índices de CO<sub>2</sub> y el contenido energético por los transportes de los materiales bien como por los métodos de fabricación de los mismos para luego compararlos entre si. Se tomó por premisa que los techos verdes tienen el potencial de disminuir los daños ambientales, especialmente los causados por el sector de la construcción civil de emisiones de dióxido de carbono y del consumo de energía en la fase pre operación. La hipótesis se confirmó para las cubiertas investigadas. Todavía, cabe resaltar que dentro de las posibilidades aquí pesquisadas para cubiertas de las construcciones, los techos verdes son la única tecnología capaz de mitigar los daños ambientales causados durante su implementación, en especial las emisiones de dióxido de carbono y favorecer a un servicio ambiental por la colectividad con el secuestro de carbono durante su vida útil.

**Palabras claves:** Techos verdes. Sustentabilidad. Emisión de CO<sub>2</sub>. Energía contenida.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Consumo primário de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção .....	34
Figura 2 – Geração de CO <sub>2</sub> por fontes de energia .....	35
Figura 3 – Ciclo de vida da edificação .....	38
Figura 4 – Entradas ( <i>inputs</i> ) e saídas ( <i>outputs</i> ) das etapas do ciclo de vida de materiais de construção .....	39
Figura 5 – Cobertura executada em telhas cerâmicas do tipo holandesas .....	42
Figura 6 – Troca do telhado do hospital veterinário do campus agrárias da Universidade Federal do Paraná .....	43
Figura 7 – Troca do telhado do hospital veterinário do campus agrárias da Universidade Federal do Paraná.....	44
Figura 8 - Representação dos jardins suspensos da Babilônia .....	45
Figura 9 – Residência com cobertura verde na Noruega .....	46
Figura 10 - Exemplo de cobertura verde extensiva na Califórnia, Estados Unidos .....	47
Figura 11 - ACROS Fukuoka Prefectural International Hall - cobertura verde intensiva .....	48
Figura 12 - Vista frontal do ACROS Fukuoka Prefectural International Hall .....	48
Figura 13 – Camadas da cobertura verde .....	49
Figura 14 - Aplicação de manta asfáltica em uma laje de concreto .....	50
Figura 15 - Exemplo de filtros geotêxteis.....	51
Figura 16 – Esquema ilustrado e simplificado do método de pesquisa.....	56
Figura 17 – Localização da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre – RS .....	73
Figura 18 – Levantamento do estudo de caso 01 - Porto Alegre – RS .....	74
Figura 19 – Levantamento fotográfico da cobertura verde – Estudo de Caso 1 – Porto Alegre – RS.....	75
Figura 20 – Levantamento fotográfico da cobertura verde – Estudo de Caso 1 – Porto Alegre – RS .....	75
Figura 21 – Levantamento fotográfico da cobertura verde – Estudo de Caso 1 – Porto Alegre – RS .....	75
Figura 22 – Croqui demonstra o esquema das camadas da constituinte na cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre – RS .....	76
Figura 23 – Cálculo da distância do transporte da manta asfáltica do município produtor até o local de venda .....	78
Figura 24 – Cálculo da distância do transporte da manta asfáltica do ponto de venda até a obra .....	78
Figura 25 – Cálculo da distância do transporte da areia e brita da extração até o ponto de venda .....	78
Figura 26 – Cálculo da distância do transporte da terra proveniente de São Sebastião do Cai/RS até a loja de venda .....	78

Figura 27 – Cálculo da distância do transporte da grama desde a extração até a loja de venda .....	79
Figura 28 – Cálculo da distância do transporte da terra e de 60% da grama, desde a loja de venda até a obra .....	79
Figura 29 – Cálculo da distância do transporte dos 40% da grama desde a extração até a obra .....	79
Figura 30 – Localização da cobertura verde do estudo de caso 02 – Santa Maria – RS .....	87
Figura 31 – Levantamento de cobertura verde do estudo de caso 02 – Santa Maria – RS .....	88
Figura 32 – Levantamento fotográfico da cobertura verde de Santa Maria – RS .....	89
Figura 33 – Levantamento fotográfico da cobertura verde de Santa Maria – RS .....	89
Figura 34 – Levantamento fotográfico da cobertura verde de Santa Maria – RS .....	89
Figura 35 – Croqui demonstra o esquema das camadas constituintes da cobertura verde do estudo de caso 02 – Santa Maria – RS .....	90
Figura 36 – Cálculo da distância do produto impermeabilizante para o estudo de caso de Santa Maria – RS .....	91
Figura 37 – Cálculo da distância da manta bidim até o local de venda em Santa Maria – RS .....	91
Figura 38 – Cálculo da distância do ponto de venda dos produtos impermeabilizantes e manta bidim até a obra – Santa Maria – RS	91
Figura 39 – Cálculo da distância da residência do trabalhador até a obra – Santa Maria – RS .....	92
Figura 40 – Cálculo da distância da fábrica de pregos até o ponto de venda – Porto Alegre .....	99
Figura 41 – Cálculo da distância da indústria de madeiras de peroba até o ponto de venda – Porto Alegre .....	100
Figura 42 – Cálculo da distância do ponto de venda da madeira até a obra – Porto Alegre .....	100
Figura 43 – Cálculo da distância da indústria de fibrocimento até o ponto de venda – Porto Alegre .....	100
Figura 44 – Cálculo da distância da indústria de telhas cerâmicas até o ponto de venda – Porto Alegre .....	101
Figura 45 – Cálculo da distância da fábrica de pregos até o ponto de venda – Santa Maria .....	116
Figura 46 – Cálculo da distância da indústria de madeiras de peroba até o ponto de venda – Santa Maria .....	116
Figura 47 – Cálculo da distância da indústria de telhas cerâmicas até o ponto de venda – Santa Maria .....	116
Figura 48 – Cálculo da distância da indústria de fibrocimento até o ponto de venda – Santa Maria .....	117
Figura 49 – Cálculo da distância do ponto de venda até a obra das telhas cerâmicas – Santa Maria .....	117
Figura 50 – Cálculo da distância do ponto de venda até a obra das telhas de fibrocimento e os pregos – Santa Maria .....	117

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Emissão de dióxido de carbono no meio ambiente (1950 – 2000)	28
Gráfico 2 – Emissões brasileiras de gases do efeito estufa em CO <sub>2</sub> eq – Período 1990 – 2010 .....	30
Gráfico 3 – Conteúdo energético (MJ) pelos transportes dos materiais .....	131
Gráfico 4 – Conteúdo energético (MJ) pelos processos de fabricação dos materiais .....	132
Gráfico 5 – Conteúdo energético (MJ) pelo deslocamento dos trabalhadores	132
Gráfico 6 – Totais do conteúdo energético (MJ), transporte do material, produção do material e transporte dos trabalhadores .....	133
Gráfico 7 – Emissão de CO <sub>2</sub> (kg) pelos transportes dos materiais das coberturas estudadas .....	133
Gráfico 8 – Emissões de CO <sub>2</sub> (kg) das fontes de fabricação dos materiais utilizados nas coberturas em estudo .....	134
Gráfico 9 – Emissões de CO <sub>2</sub> (kg) pelo transporte dos trabalhadores para elaboração das coberturas em estudo .....	135
Gráfico 10 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> (kg) de toda a fase pré-operacional para a implementação das coberturas em estudo .....	135
Gráfico 11 - Comparativo dos valores obtidos em MJ/m <sup>2</sup> para o conteúdo energético em kg/m <sup>2</sup> de CO <sub>2</sub> para todas as coberturas estudadas.....	137

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Emissões de CO <sub>2</sub> no setor energia (em Gg).....	31
Tabela 2 – Fontes de energia.....	33
Tabela 3 – Conteúdo energético (EE) e materiais de constar no Brasil.....	37
Tabela 4 – Modelo para cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais.....	59
Tabela 5 – Modelo para cálculo do conteúdo energético do transporte dos materiais.....	61
Tabela 6 – Modelo para obtenção de dados das emissões de CO <sub>2</sub> e conteúdo energético dos materiais.....	63
Tabela 7 – Exemplo de cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material.....	65
Tabela 8 – Cálculo do conteúdo energético e emissões de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores.....	66
Tabela 9 – Modelo para cálculo da emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais para a simulação com telha cerâmica e de fibrocimento.....	69
Tabela 10 – Modelo para cálculo do conteúdo energético do transporte dos materiais para as coberturas tradicionais de telha cerâmica e de fibrocimento.....	70
Tabela 11 – Modelo para cálculo do conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> no processo de fabricação dos materiais para as coberturas tradicionais de telha cerâmica e de fibrocimento.....	71
Tabela 12 – Modelo para cálculo do conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores para as coberturas hipotéticas de telha cerâmica e de fibrocimento.....	72
Tabela 13 – Modelo para cálculo dos somatórios das emissões de CO <sub>2</sub> e do conteúdo energético de todas as fases pré-operacionais para as coberturas tradicionais de telha cerâmica e de fibrocimento...	72
Tabela 14 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.....	81
Tabela 15 – Cálculo do conteúdo energético no transporte dos materiais da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.....	82
Tabela 16 – Cálculo do conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> nos materiais da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.....	84
Tabela 17 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a cobertura verde para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.....	85
Tabela 18 – Cálculo do conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.....	86
Tabela 19 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> e de conteúdo energético da cobertura verde para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.....	86

Tabela 20 – Emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais do estudo de caso de Santa Maria/RS.....	93
Tabela 21 – Conteúdo energético no transporte dos materiais do estudo de caso de Santa Maria/RS.....	95
Tabela 22 – Conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> nos materiais para o estudo de caso de Santa Maria/RS.....	96
Tabela 23 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a cobertura verde do caso estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	97
Tabela 24 – Cálculo do conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores .....	98
Tabela 25 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> da cobertura verde para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	99
Tabela 26 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	102
Tabela 27 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	104
Tabela 28 – Cálculo do conteúdo energético e a emissão de CO <sub>2</sub> nos materiais pelo seu processo de fabricação para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	106
Tabela 29 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	108
Tabela 30 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01, considerando que os trabalhadores residam perto um do outro e utilizem o mesmo meio de transporte até a obra – Porto Alegre/RS .....	109
Tabela 31 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> da simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS...	109
Tabela 32 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	111
Tabela 33 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	112
Tabela 34 – Cálculo do conteúdo energético nos materiais pelo seu processo de fabricação e a emissão de CO <sub>2</sub> para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.	11
Tabela 35 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	114
Tabela 36 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telha de fibrocimento para o estudo de caso 01, considerando que os trabalhadores residam perto um do outro e utilizem o mesmo meio de transporte até a obra – Porto Alegre/RS	115

Tabela 37 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> e o conteúdo energético para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS .....	115
Tabela 38 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS .....	118
Tabela 39 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS .....	119
Tabela 40 – Cálculo do conteúdo energético nos materiais pelo seu processo de fabricação e a emissão de CO <sub>2</sub> para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS .....	121
Tabela 41 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS .....	122
Tabela 42 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telha cerâmica para o estudo de caso 02, considerando que os trabalhadores residam perto um do outro e utilizem o mesmo meio de transporte até a obra – Santa Maria/RS .....	123
Tabela 43 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> da simulação da cobertura com telhas cerâmica para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	123
Tabela 44 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS .....	124
Tabela 45 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	125
Tabela 46 – Cálculo do conteúdo energético nos materiais pelo seu processo de fabricação e a emissão de CO <sub>2</sub> para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS .....	126
Tabela 47 – Cálculo das emissões de CO <sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	127
Tabela 48 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telha de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	128
Tabela 49 – Total das emissões de CO <sub>2</sub> e do conteúdo energético da simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.....	128
Tabela 50 – Resultados comparativos para os estudos de caso das coberturas verdes e coberturas hipotéticas.....	130
Tabela 51 - Resultados para os estudos de caso das coberturas verdes e coberturas hipotéticas para comparativos por m <sup>2</sup> .....	137

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CH<sub>4</sub> – metano

CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono

CTC – Cobertura telha cerâmica

CTF – Cobertura telha fibrocimento

CV – Cobertura verde

DDT – dicloro-difenil-tricloroetano

EE – energia embutida

GEE – gases do efeito estufa

GLP – gás liquefeito de petróleo

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)

N<sub>2</sub>O – óxido nitroso

OMM – Organização Meteorológica Mundial

ONU – Organização das Nações Unidas

PNMC – Política Nacional sobre a Mudança do Clima

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RNTRC – Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas

UNEP – *United Nation Enviroment Programme* (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)

WMO – *World Meteorological Organization* (Organização Meteorológica Mundial)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.1 Justificativa para a pesquisa</b> .....	18
<b>1.2 Pressupostos</b> .....	20
<b>1.3 Objetivos</b> .....	21
1.3.1 Objetivo geral.....	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	21
<b>1.4 Estrutura da dissertação</b> .....	21
<b>2 IMPACTOS AMBIENTAIS E MOVIMENTO AMBIENTALISTA</b> .....	23
<b>2.1 Da constatação à mobilização: os impactos negativos do desenvolvimento no meio ambiente e o movimento ambientalista</b> .....	23
<b>2.2 O efeito estufa</b> .....	25
<b>2.3 Consumo de energia</b> .....	26
<b>3 EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>, CONTEÚDO ENERGÉTICO E CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	27
<b>3.1 A emissão de CO<sub>2</sub> no mundo e a construção civil</b> .....	27
<b>3.2 A emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil e a construção civil</b> .....	28
<b>3.3 As fontes de energia e seus impactos ambientais</b> .....	31
<b>3.4 Os materiais de construção e as emissões de CO<sub>2</sub></b> .....	33
<b>3.5 Conteúdo energético</b> .....	35
<b>3.6 Ciclo de vida de uma edificação: etapas do processo</b> .....	38
<b>4 COBERTURAS DE EDIFICAÇÕES</b> .....	41
<b>4.1 Coberturas tradicionais com telhas</b> .....	41
4.1.1 Definição.....	41
4.1.2 Coberturas em telhas cerâmicas.....	41
4.1.3 Coberturas em telhas de fibrocimento.....	42
<b>4.2 Coberturas verdes</b> .....	44
4.2.1 Definição.....	44
4.2.2 Breve histórico.....	44
4.2.3 Tipos de coberturas verdes.....	46
4.2.3.1 Coberturas verdes extensivas.....	46
4.2.3.2 Coberturas verdes intensivas.....	47
4.2.4 Sistema construtivo de cobertura verde.....	49
4.2.5 Benefícios e desvantagens das coberturas verdes.....	51
<b>4.3 Estudos sobre coberturas verdes</b> .....	53
<b>5 MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	55
<b>5.1 Escolhas dos estudos de caso</b> .....	57
<b>5.2 Quantificação dos materiais utilizados e de seu transporte</b> .....	58



<b>5.3 Emissões de CO<sub>2</sub> e conteúdo energético dos materiais.....</b>	<b>62</b>
<b>5.4 Transporte dos trabalhadores.....</b>	<b>65</b>
<b>5.5 O sequestro de carbono.....</b>	<b>67</b>
<b>5.6 As coberturas hipotéticas.....</b>	<b>67</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>6.1 Estudo de caso 01 – cobertura verde em Porto Alegre/RS.....</b>	<b>73</b>
<b>6.2 Estudo de caso 02 – cobertura verde em Santa Maria/RS.....</b>	<b>87</b>
<b>6.3 Estudo hipotético das coberturas com telhas cerâmicas e fibrocimento para o estudo de caso comparativo – Porto Alegre/RS.....</b>	<b>99</b>
<b>6.4 Estudo hipotético das coberturas com telhas cerâmicas e fibrocimento para o estudo de caso comparativo – Santa Maria/RS.....</b>	<b>116</b>
<b>6.5 Análises comparativas entre as coberturas verdes e hipotéticas.....</b>	<b>129</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>140</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>148</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo é apresentada a justificativa para a pesquisa, bem como o objetivo geral e os objetivos específicos. Por fim, é abordada a estrutura da dissertação.

## 1.1 Justificativa para a pesquisa

A redução da biodiversidade, a impermeabilização dos solos pela pavimentação, a intensa atividade industrial, o acentuado crescimento da construção civil e a produção e o consumo energético de fontes não renováveis são alguns dos fatores que colaboram para formar o atual contexto urbano ambiental. A emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é um dos principais fatores responsáveis por alterações climáticas, o que acarreta danos não só ambientais, mas também sociais e econômicos.

O  $\text{CO}_2$ , junto a outros gases como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), é um dos principais responsáveis pelo incremento do efeito estufa. Este é um dos elementos que propiciam a vida na Terra, haja vista que, se não fosse pela captação e retenção de parte da radiação infravermelha emitida pela superfície, a temperatura média do planeta seria de  $-18^\circ\text{C}$  e não de  $15^\circ\text{C}$ , como é atualmente. Desde a Revolução Industrial, por volta da metade do século XVIII, a emissão desses gases passou a se dar com maior intensidade, provocando uma densificação das consequências do efeito estufa, ou seja, retendo mais calor na Terra, o que tem alterado substancialmente o clima (DOW; DOWING, 2007).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*, órgão vinculado ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) apontou em seu último relatório datado de 2007 que, dos três principais gases do efeito estufa liberados em decorrência da ação humana no mundo, 76,7% corresponde à emissão de  $\text{CO}_2$ . O mesmo relatório dispôs que 7,9% das emissões se dão no contexto da construção civil. Verifica-se, então, a importância de se buscar formas mitigadoras de emissão deste gás para

melhoria das condições ambientais globais, em especial no setor da construção civil, o que certamente contribuirá para o incremento da qualidade de vida humana.

Sendo a construção civil uma das principais responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>, o uso de técnicas construtivas mais sustentáveis pode contribuir para a redução dessas emissões. Por sustentável, entende-se a técnica que atenda ao tripé desenvolvimento social, econômico e ambiental, ideia consagrada em 1987, no relatório *Nosso Futuro Comum* da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (ONU, 2013a).

Dentro do conceito de sustentabilidade, no âmbito da dimensão ambiental precisa-se verificar de igual forma o conteúdo energético dos materiais, já que este é o fator principal para o desenvolvimento de todas e qualquer atividade econômica, seja mecânica, produção, transporte ou operação. A análise do conteúdo energético é capaz de identificar o impacto ambiental causado pelas construções, sendo um importante aliado no momento de tomada de decisões para a escolha de materiais de construção, configurando-se como um fator de eficiência energética. Esta energia calculada é considerada desde a extração da matéria prima, passando pela mensuração da energia durante a fase de fabricação do produto, pelo transporte deste, até o seu destino final na obra (GRAF; TAVARES, 2010).

As coberturas verdes se apresentam como uma possibilidade sustentável a ser implementada nas edificações. A cobertura verde pode ser entendida como a aplicação, sobre a superfície de topo da edificação, de uma camada de vegetação, por meio de um sistema de impermeabilização, drenagem e substrato.

À cobertura verde são atribuídos diversos benefícios, dentre os quais se destacam a criação de espaços verdes nos centros urbanos, aproximando os seres humanos da natureza (HOPKINS; GOODWIN, 2011); a maior vida útil da superfície de topo da própria edificação, uma vez que a membrana de impermeabilização protege a construção da insolação, da variação de temperatura e de descargas elétricas (SNODGRASS; MCINTYRE, 2010); a retenção temporal de água pluvial no substrato, evitando a sobrecarga do sistema de escoamento urbano e as consequentes enchentes urbanas (INTERNATIONAL..., 2013); a redução do consumo energético com condicionamento artificial do ar, pois esta tecnologia proporciona mais isolamento térmico que as coberturas convencionais, a redução das ilhas de calor urbanas proporcionada por uma superfície maior com revestimento vegetal (SNODGRASS; MCINTYRE, 2010); filtragem de poluentes à

medida em que a água escoar pelas camadas desta tecnologia, retendo especialmente cobre, zinco, hidrocarbonetos e metais pesados (KEELER; BURKE, 2010; YOUNGMAN, 2011); recuperação da biodiversidade endêmica (CANTOR, 2008); umidificação do ar urbano pela evapotranspiração dos vegetais, ou seja, pela perda de água no processo de fotossíntese, incrementando a saúde pública – redução de problemas respiratórios (SNODGRASS; MCINTYRE, 2010); e sequestro de dióxido de carbono do ambiente pelo processo de fotossíntese (HOPKINS; GOODWIN, 2011).

Apesar de ser uma tecnologia já largamente utilizada em alguns países europeus, em especial Alemanha, Suíça, Áustria e Noruega (HOPKINS; GOODWIN, 2011), seu emprego no Brasil ainda é incipiente. Nesse contexto, a presente dissertação tem como tema de pesquisa investigar, por meio do estudo de caso de duas coberturas verdes, uma localizada em Porto Alegre – RS e outra em Santa Maria – RS, bem como da simulação destas coberturas com telhas cerâmicas e de fibrocimento, quais são as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético na fase pré-operacional de cada caso, verificando qual a tecnologia construtiva é mais sustentável nestes quesitos.

Por fim, a escassez de estudos específicos de comparação entre coberturas verdes e telhados de telha cerâmica e de fibrocimento no que tange à emissão de CO<sub>2</sub> e conteúdo energético, bem como o compromisso do Estado brasileiro frente aos tratados internacionais, em especial o Protocolo de Quioto e o Adendo de Doha, e legislações internas, principalmente a Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009, de reduzir a produção nacional deste referido gás, e os programas do governo para eficiência energética do setor da construção civil, demonstram a relevância não só acadêmica, mas econômica, social e ambiental do tema aqui abordado.

## **1.2 Pressupostos**

Pressupõe-se que frente ao problema apresentado anteriormente, as coberturas verdes venham a mitigar alguns danos causados pela indústria da construção civil, de forma a qualificar o microclima da região e favorecer os usuários. A partir da análise qualitativa dos materiais utilizados para implementação das

coberturas das edificações, será possível identificar e mensurar aqueles que causam mais impactos ambientais, com o intuito de requalificar o uso destas técnicas e verificar uma alternativa para este quesito.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Comparar as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético de duas soluções de coberturas verdes e duas soluções de coberturas tradicionais, na fase pré-operacional, localizadas em Porto Alegre – RS e outra em Santa Maria – RS.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- a) Levantar o conteúdo energético e as emissões de CO<sub>2</sub> dos principais materiais e insumos para a construção das coberturas estudadas.
- b) Quantificar o conteúdo energético das coberturas estudadas.
- c) Quantificar as emissões de CO<sub>2</sub> das coberturas estudadas.
- d) Identificar as fases pré-operacionais que mais contribuem para o conteúdo energético e emissões de CO<sub>2</sub> para as coberturas estudadas.
- e) Comparar o conteúdo energético e as emissões de CO<sub>2</sub> para as coberturas estudadas.

### **1.4 Estruturação da dissertação**

A presente pesquisa de dissertação é dividida em sete capítulos, contendo anexos, tabelas e figuras indicadas por meio de listas nos elementos pré-textuais.

No capítulo 1, apresenta-se o tema do trabalho por meio da justificativa, pressupostos e objetivos a serem alcançados.

No capítulo 2, o leitor é introduzido no panorama ambiental, fazendo uma relação e discussão do início dos movimentos ambientalistas e a influências destes no mercado global, as consequências do desenvolvimento e as causas do efeito estufa.

No capítulo 3, são abordados os conceitos das emissões de gases do efeito estufa, principalmente do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), no mundo e no Brasil, relacionando ao ciclo de vida das edificações, o consumo energético dos materiais e as fontes de energia para a produção dos materiais.

No capítulo 4, é apresentado o conceito de coberturas e os tipos de coberturas em telhas de cerâmica e de fibrocimento, bem como as coberturas verdes, com uma breve abordagem histórica, a classificação de coberturas verdes - extensivas e intensivas, a tecnologia e sua aplicabilidade e finalmente seus benefícios e desvantagens.

No capítulo 5, é exposto o método de pesquisa: o que foi feito, como foi realizado, onde foi realizado e quem realizou são algumas das incógnitas que este capítulo esclarece. Apresentam-se também os estudos de caso realizados e o porquê da escolha destes, bem como toda a complementação da bibliografia necessária para a correta realização dos cálculos, a fim de mensurar qualitativamente e quantitativamente os materiais utilizados nas coberturas de análise. Do mesmo modo, identificam-se os estudos de caso hipotéticos para fins de comparação: as coberturas em telhas de cerâmica e de fibrocimento.

No capítulo 6, os resultados obtidos por meio do método de pesquisa são apresentados e discutidos, com intuito de mensurar qualitativamente os impactos causados pela implementação das coberturas verdes nas edificações apresentadas.

Finalmente, no capítulo 7, o trabalho é concluído, com os apontamentos referentes às conclusões obtidas na presente pesquisa.

## **2 IMPACTOS AMBIENTAIS E MOVIMENTO AMBIENTALISTA**

### **2.1 Da constatação à mobilização: os impactos negativos do desenvolvimento no meio ambiente e o movimento ambientalista**

O movimento ambientalista, tímido até a década de 1960, projetou-se mundialmente com a publicação do livro “Primavera Silenciosa” da bióloga estadunidense Rachel Carson (CARSON, 2010), onde a autora destacou os riscos da armazenagem química de longo prazo de substâncias nos corpos animais, a exemplo do DDT (dicloro-difenil-tricloroetano), um poderoso pesticida. Apesar da tentativa de abafar as denúncias de Carson, os grandes empresários passaram a ver o meio ambiente de outra forma, haja vista que, na década de 1970, tanto o DDT foi banido quanto houve a criação, nos Estados Unidos da América, de uma agência de proteção ambiental (KEELER; BURKE, 2010).

Em 1972, a Organização das Nações Unidas convocou seus membros a participarem da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, que se realizou em Estocolmo, na Suécia, local este que acabou por dar o nome comumente conhecido à declaração fruto do encontro: Declaração de Estocolmo. Este, oficialmente nominado de Declaração da Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente, trouxe em seu bojo a necessidade de inspirar e guiar os povos do mundo para a preservação e a melhoria do ambiente humano (ONU, 2013a).

No mesmo ano, e no âmbito da ONU, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), responsável por aspectos ambientais das catástrofes e conflitos, a gestão dos ecossistemas, a governança ambiental, as substâncias nocivas, a eficiência dos recursos e as mudanças climáticas (ONU, 2013a). Em 1987, a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida também por Comissão Brundtland, devido à presidência da norueguesa Gro Harlem Brundtland, publicou o relatório Nosso Futuro Comum, que entre outros aspectos, exaltou o conceito de desenvolvimento sustentável como sendo “[...] o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a

habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (ONU, 2013a).

O PNUMA e a Organização Meteorológica Mundial (OMM), em 1988, criaram o Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC), sendo que, em 1992, houve uma nova reunião da Comissão, no Rio de Janeiro, Brasil, chamada de Cúpula da Terra, momento no qual se adotou a Agenda 21, uma espécie de compilação de projeções a fim de se alcançar o desenvolvimento sustentável, que passou a abarcar o desenvolvimento econômico, humano e social como questões inerentes. Assim, a Assembleia Geral criou, no âmbito do Conselho Econômico e Social, a Comissão para o Desenvolvimento Sustentável. Neste mesmo encontro foram apresentadas a Convenção sobre a Diversidade Biológica e a Convenção de Combate à Desertificação em Países que sofrem com a Seca e/ou a Desertificação (ONU, 2013a).

Em 1997, adotou-se o Protocolo de Quioto, que visa à redução – obrigatória aos 37 países industrializados e para a comunidade europeia – das emissões de CO<sub>2</sub> a patamares existentes em 1990. O Protocolo perderia sua vigência no ano de 2013, momento no qual se adotou o Adendo de Doha, a fim de estender Quioto de forma mais flexível até 2020 (ONU, 2013b). O Rio+10, como ficou conhecida a Cúpula da Terra de Joanesburgo em 2002, quarto encontro derivado da Conferência de Estocolmo de 1972, teve como uma de suas maiores contribuições a Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento (KEELER; BURKE, 2010). Em 2012 ocorreu no Rio de Janeiro a Rio+20, que rediscutiu importantes temas da sustentabilidade ambiental, econômica e social, resultando na confecção do documento O futuro que nós queremos, um forte compromisso político com o futuro do desenvolvimento (ONU, 2013b).

O Brasil participou ativamente do movimento ambientalista, embora tenha enfrentado, à época da ditadura militar, um período de recesso sustentável, quando o *slogan* difundido era *venham poluir aqui*: um convite aos países desenvolvidos instalarem suas fábricas no país. No que tange especificamente à emissão de CO<sub>2</sub>, o Estado brasileiro instituiu, por meio da Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009, a Política Nacional sobre a Mudança do Clima, conhecida pela abreviatura PNMC, que oficializa o compromisso voluntário do Brasil junto à Convenção-Quadro da ONU sobre Mudança do Clima de redução de emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020 (BRASIL, 2013a).



## 2.2 O efeito estufa

O aumento da temperatura nas últimas décadas tem estimulado cientistas em todo o mundo a investigar as causas deste fenômeno: pesquisas, testes, medições e outras hipóteses estão sendo realizadas no decorrer das últimas décadas. O sol é nossa fonte de energia natural e a superfície terrestre absorve em grande parte esta energia, que é irradiada em forma de calor para a atmosfera. A troposfera é a primeira camada da atmosfera e tem uma extensão de aproximadamente 15 km desde a superfície terrestre, e nela fica retido o calor irradiado da superfície terrestre: gases como vapor de água e gás carbônico e as nuvens fazem a retenção deste calor, fazendo com que esta camada gasosa funcione como um cobertor, fenômeno conhecido como efeito estufa (MATTOS; GRANATO, 2010).

O efeito estufa tem uma importante função no planeta, pois regula sua temperatura. Sem ele, a temperatura média da superfície seria aproximadamente 33°C mais baixa do que é hoje. Desta forma, a troposfera, por meio de seu aquecimento, garante temperaturas confortáveis para a sobrevivência dos seres vivos. O grande vilão é a ampliação de gases poluentes que são liberados na superfície terrestre e se acumulam neste cobertor de gases na troposfera, provocando o aumento significativo das temperaturas na Terra (MATTOS; GRANATO, 2010).

Existem gases, como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que são mais poluentes que o próprio gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), porém, esses gases estão presentes em porções bem menores e pouco contribuem para o aquecimento global. A agricultura, por meio dos fertilizantes à base de nitrogênio e do estrume de gado, produz o  $\text{N}_2\text{O}$ , que retém trezentas vezes mais calor que o  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Já o  $\text{CH}_4$  possui uma permanência média na atmosfera de doze anos, e retém vinte vezes mais calor na atmosfera do que o  $\text{CO}_2$ . O cultivo de arroz, a mineração de carvão, os rebanhos de gado e a produção de energia são algumas das fontes que provocam a geração do metano, além de aterros sanitários e lixeiras coletivas das cidades (DOW; DOWNING, 2007).

Assim, as mudanças climáticas experimentadas na atualidade relacionam-se ao expressivo aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, o que tem causado um desequilíbrio ambiental. Considerando que grande parte destas emissões deriva

da utilização de fontes energéticas poluentes, como combustíveis fósseis, a busca por meios alternativos e não poluentes, bem como a redução da demanda de energia, são objetivos importantes à política climática global (MONAHAN; POWELL, 2011). No capítulo seguinte, tratar-se-ão especificamente acerca do conteúdo energético e da emissão de CO<sub>2</sub> na construção civil.

### **2.3 Consumo de energia**

No Brasil, o Ministério de Minas e Energia contabiliza o consumo de energia nos principais setores de atividade econômica, este documento é o BEN (Balanço Energético Nacional), tendo como base dados desde 1970. Esta energia é contabilizada em – tep – que se dá em toneladas equivalentes de petróleo e o valor de referência é o de 10.000 kcal/kg (TAVARES, 2006).

Da mesma forma como se contabiliza o consumo energético para fins ambientais, também estes, repercutem na questão do custo. Os interesses econômicos repercutem muito quando a tomada de decisão para utilização de diversas fontes de energia são necessárias, seja para o processo de produção, quanto para o transporte e operação. O consumo de energia tem sido trabalhado e estudado por diferentes órgãos e pesquisadores, sempre tentando avaliar os impactos causados ambiental e economicamente. São diversas as formas e métodos para a análise do consumo de energia, porém, todas tem por base, a quantidade de energia gasta para a realização da atividade, seja ela na fase pré-operacional, operacional ou de reciclagem/demolição (SPERB, 2000).

Quanto às origens de fontes renováveis e não renováveis, favorecem para mensurar índices de degradação ambiental e/ou consumos de energia limpa e poluidora. No Brasil, a oferta interna de energia tem origem em fontes renováveis sendo de 41%, destes, 14% representam à geração de energia por hidroelétricas e 27% a biomassa, os outros 59% são referentes a fontes de energia fósseis e não renováveis (TAVARES, 2006).

## 3 EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>, CONTEÚDO ENERGÉTICO E CONSTRUÇÃO CIVIL

### 3.1 A emissão do CO<sub>2</sub> no mundo e a construção civil

O crescimento econômico de um país está associado à emissão de dióxido de carbono, porém nem sempre a mesma regra é seguida. Existem países com tecnologias avançadas no segmento da produção, cujo crescimento econômico não está diretamente relacionado ao quantitativo de emissão de CO<sub>2</sub>: são as chamadas economias limpas (DOW; DOWNING, 2007).

Os processos industriais fomentaram o aumento da emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, acelerando o efeito estufa. O IPCC, nesse sentido, avalia as mudanças climáticas e traça parâmetros de variabilidade do clima segundo três linhas de pesquisa que são estudadas pelos grupos de trabalho, sendo elas:

Grupo de Trabalho I: avalia os aspectos científicos do sistema climático e de mudanças do clima; Grupo de Trabalho II: avalia a vulnerabilidade dos sistemas socioeconômicos e naturais diante da mudança climática assim como as possibilidades de adaptação a elas; e Grupo de Trabalho III: avalia as opções que permitiram limitar as emissões de gases do efeito estufa (GEE – Greenhouse Effects) (BRASIL, 2010b).

O programa possui uma força tarefa a fim de desenvolver uma metodologia para desenvolvimento de um *software* para o cálculo de emissões e remoções de gases do efeito estufa, incentivando o uso para os países que participam do IPCC e partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças climáticas. (BRASIL, 2010b).

Em 2006 foi publicado o quarto relatório de mudanças climáticas pelo IPCC, onde foi salientado que, com 95% de certeza científica, as alterações climáticas são causadas pelas atividades humanas. Por este motivo, as nações estão empenhadas em chegar a um acordo para limitar as emissões de gases de efeitos estufa, transformando sua economia em limpa, pelo baixo carbono. (BRASIL, 2010b)

Especialmente devido à utilização de fontes poluentes de energia, a construção civil, que consome 60% da matéria prima extraída da litosfera (BRIBÁN;

CAPILLA; USÓN; 2011), mostra-se como a principal emissora de CO<sub>2</sub>, o que se verifica no gráfico 1 abaixo:

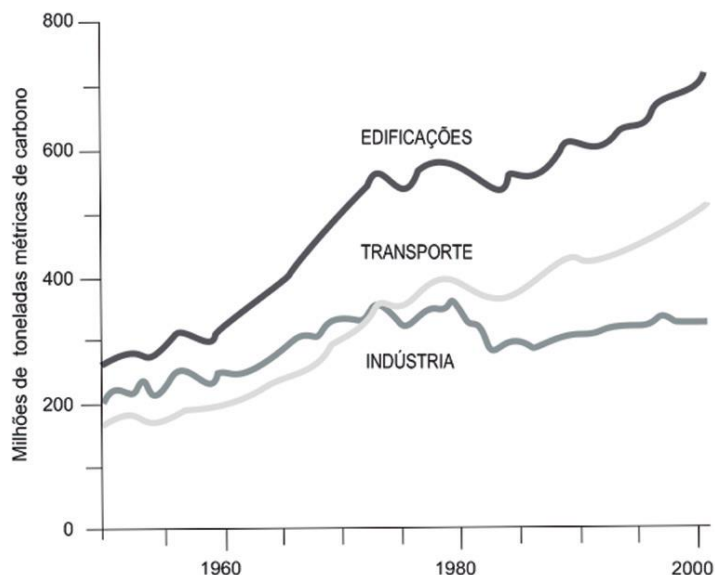


Gráfico 1 – Emissão de dióxido de carbono no meio ambiente (1950-2000) (Fonte: KEELER, BURKE, 2010, p.47).

Assim, percebe-se que no período de 1950-2000, a emissão de CO<sub>2</sub> pelas edificações mais que dobrou, de modo que o conteúdo energético e a emissão de CO<sub>2</sub> não são elementos, via de regra considerados relevantes quando as edificações são projetadas e executadas. Desta forma, reduzir o consumo energético, ampliar a eficiência produtiva e implementar métodos modernos de construção são meios possíveis de diminuir a energia usada nas construções (MONAHAN; POWELL, 2011). Neste sentido, as coberturas verdes, como técnica construtiva de fechamento de topo de edificação, têm sido estudadas a fim de apontar, com base no ciclo de vida das edificações, os benefícios ambientais desta tecnologia (BRIBÁN; CAPILLA; USÓN; 2011).

### 3.2 A emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil e a construção civil

No Brasil, a construção civil tem grande participação nos índices de liberação de gases poluentes do efeito estufa. Excluindo a geração de CO<sub>2</sub> pelas queimadas,

a construção de edificações representa uma quarta parte da parcela significativa de liberação de gases, seja pelas reações químicas nos processos industriais para a obtenção dos materiais ou pelas próprias fontes de energia para o consumo da fabricação (TAVARES, 2006).

O Banco Mundial divulgou que o índice geral de emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil, em 2010, foi de 2,2 toneladas por habitante (THE WORLD BANK, [2010?]), ou seja, 355 bilhões de quilogramas caso se considere os 160.925.792 brasileiros em 2010 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2006). Percebe-se, assim, que 88,75 bilhões de quilogramas de CO<sub>2</sub> têm sido liberados na atmosfera devido à construção civil – considerando que 25% das emissões, conforme estudo de Tavares (2006), derivam deste setor.

Por meio da Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009, o Brasil instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), definindo um compromisso voluntário nacional a fim de mitigar as reduções das emissões de gases do efeito estufa (GEE). Com o intuito de acompanhar o compromisso nacional, foi estabelecido que serão publicadas estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa, no Brasil, em formato apropriado para facilitar o entendimento da sociedade. O trabalho ficou a cargo do grupo coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, e as estimativas nacionais foram elaboradas tomando por base os métodos empregados no relatório já publicado no II Inventário (BRASIL, 2010a).

O gráfico 2 apresenta as emissões por setores no Brasil de CO<sub>2</sub>eq (equivalência em dióxido de carbono). É uma medida internacionalmente aceita que expressa a quantidade de gases de efeito estufa (GEE) em termos equivalentes da quantidade de CO<sub>2</sub>. A equivalência leva em conta o potencial de aquecimento global dos gases envolvidos e calcula quanto de CO<sub>2</sub> seria emitido se todos os GEE fossem emitidos como esse gás.

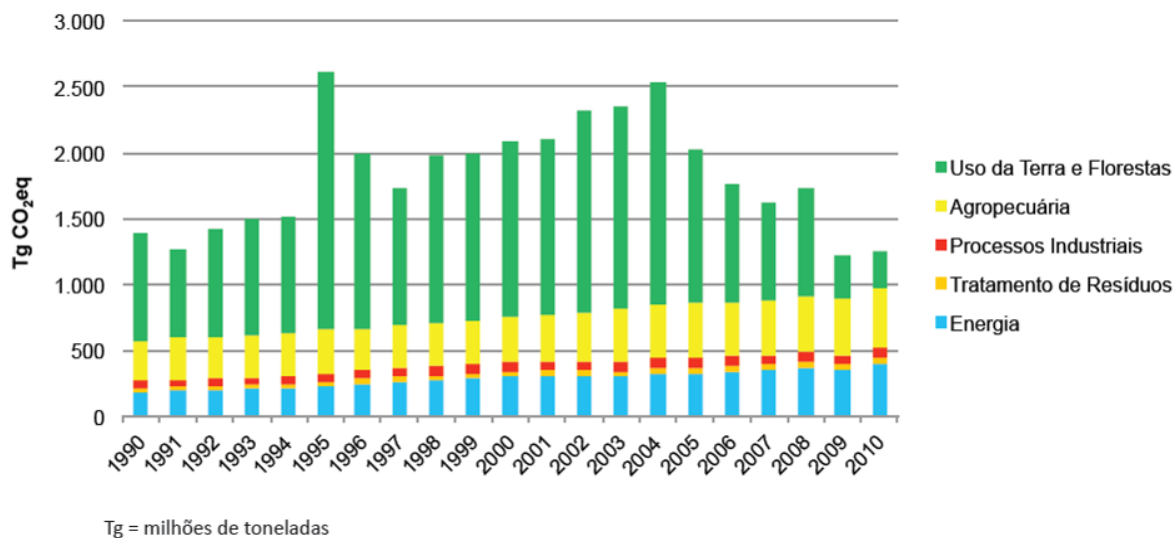


Gráfico 2 – Emissões brasileiras de gases de efeito estufa em CO<sub>2</sub>eq - Período 1990-2010 (Fonte: BRASIL, 2010a, n.p.)

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação os setores demonstrados no gráfico 2 referem-se a:

1. Energia – Emissões devido à queima de combustíveis e emissões fugitivas da indústria de petróleo, gás e carvão mineral. As emissões de CO<sub>2</sub> devido ao processo de redução nas usinas siderúrgicas foram consideradas no setor de Processos Industriais.
2. Processos Industriais – Emissões resultantes dos processos produtivos nas indústrias e que não são resultado da queima de combustíveis. Subsetores: produtos minerais, metalurgia e química, além da produção e consumo de HFCs e SF<sub>6</sub>.
3. Agropecuária – Emissões devido à fermentação entérica do gado, manejo de dejetos animais, solos agrícolas, cultivo de arroz e queima de resíduos agrícolas.
4. Mudança de Uso da Terra e Florestas – Emissões e remoções resultantes das variações da quantidade de carbono, seja da biomassa aérea, seja do solo, considerando-se todas as transições possíveis entre diversos usos, além das emissões de CO<sub>2</sub> por aplicação de calcário em solos agrícolas e das emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O pela queima de biomassa nos solos. O crescimento da vegetação em áreas consideradas manejadas gera remoções de CO<sub>2</sub>.
5. Tratamento de Resíduos – Emissões pela disposição de resíduos sólidos e pelo tratamento de esgotos, tanto doméstico/comercial quanto industrial, além das emissões por incineração de resíduos e pelo consumo humano de proteínas (BRASIL, 2010a, p.10).

A tabela 1 a seguir apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> derivada na queima de combustível para as principais matérias-primas da construção civil bem como para o meio de transporte mais usual do Brasil, qual seja, o rodoviário.

Tabela 1 – Emissões de CO<sub>2</sub> do setor Energia (em Gg)

<b>Atividade</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>
Ferro Gusa e Aço	3.685	12.515	26.553
Cimento	5.621	10.441	10.373
Mineração	2.425	5.655	8.710
Cerâmica	1.705	3.430	4.828
Transporte Rodoviário	71.339	110.684	147.376

Fonte: adaptado de BRASIL, 2010a, n.p.

Portanto, verifica-se que, com base nos dados acima compilados, a emissão de CO<sub>2</sub> derivada da queima de combustível teve um incremento em todas as principais matérias-primas analisadas, bem como no transporte rodoviário. Ademais, de 1990 a 2000, percebe-se que as emissões tiveram um crescimento exponencial, sendo que de 2000 a 2010 este incremento não se percebeu com tanta intensidade. Pode-se creditar que o aumento entre 1990 a 2000 relaciona-se ao aquecimento da economia que passou a ser mais estável, sendo que de 2000 a 2010 o setor produtivo brasileiro atualizou-se tecnologicamente de modo a operar com mais eficiência.

### 3.3 As fontes de energia e seus impactos ambientais

Pesquisas científicas a fim de localizar e reduzir as emissões de gases poluentes, sobre tudo aqueles que têm uma participação nas edificações, consideram que, na construção civil, os materiais de construção são a preocupação principal pelos processos e emissões destes gases. A produção do cimento é a maior emissora de CO<sub>2</sub>, através do uso de combustíveis fósseis para a geração de energia térmica, pois ocorrem emissões adicionais no processo de calcinação de calcário durante a produção do clínquer. Assim como o cimento, inúmeros materiais da construção civil são responsáveis de diversas formas pelas emissões de gases nos processos produtivos (TAVARES, 2006).

O petróleo, o carvão mineral e o gás natural são alguns dos exemplos de combustíveis fósseis fornecedores de energia que, desde o final do século XVIII, a

humanidade vem extraindo das reservas naturais para subsidiarem suas atividades, sendo que estas fontes são finitas e possuem índices elevados de poluição (MATTOS; GRANATO, 2010).

Outras fontes de energia são as renováveis: hidrelétrica, biomassa, eólica e solar, denominadas energias limpas pelos baixos índices de emissão de gases poluentes, sendo que algumas fontes são neutralizadas no período de alguns anos. De todo modo, há de se considerar a localidade de instalação das barragens, das plantações, dos parques eólicos ou dos parques solares, a fim de causar menor perda possível de áreas para manutenção da biodiversidade. A tabela 2 representa e descreve os prós e contras de cada uma delas.



Tabela 2 – Fontes de energia

	FONTES DE ENERGIA	PRÓS	CONTRAS	EMIÇÃO DE CO <sub>2</sub>
RENOVÁVEIS	HIDRELÉTRICA	Em locais apropriados, gera grande quantidade de energia.	No Brasil, os melhores locais já estão ocupados. A construção das barragens alaga uma grande área, o que pode deslocar a população local e prejudicar o ecossistema do entorno.	Muito baixas.
	BIOMASSA	É renovável e pouco poluente.	Geralmente exige plantio e pode estimular monoculturas.	O gás gerado é quase todo reutilizado.
	SOLAR	Pode ajudar a aliviar a sobrecarga das redes elétricas. Não é poluente.	Não funciona 24 horas por dia. Não há ainda tecnologia adequada de armazenamento. Tem altos custos iniciais.	Neutralizada em 3 anos.
	EÓLICA	Não é poluente. Requer pouca manutenção.	É cara e exige altos investimentos. Produz poluição visual e sonora. Só funciona em locais específicos.	Neutralizada em 1 ano.
NÃO RENOVÁVEIS	PETRÓLEO	A tecnologia ligada a ele está bastante desenvolvida. Rede mundial de distribuição instalada.	É finito e poluente.	Alta.
	CARVÃO MINERAL	Tecnologia bastante desenvolvida. Facilidade na distribuição.	Altos índices de poluição, causando ocasionalmente até chuva ácida. É finito e poluente.	Alta.
	GÁS NATURAL	Há grandes reservas, que podem durar por muito tempo.	Requer grandes investimentos. É poluente.	Média.
	NUCLEAR	Uma usina produz grande quantidade de energia.	Risco de acidentes e contaminação.	Muito baixas.

Fonte: adaptado de MATTOS; GRANATO, 2010, p. 36.

### 3.4 Os materiais de construção e as emissões de CO<sub>2</sub>

Segundo Tavares (2006), é preciso identificar as emissões de CO<sub>2</sub> nos processos industriais para apurar um parâmetro de sustentabilidade. Com isto, os materiais da construção estariam diretamente relacionados às fontes de energia para sua produção e à emissão de CO<sub>2</sub> correspondentes ao processo. O conteúdo

energético associado aos materiais de construção é apresentado na tabela em porcentagem (% MJ) para o Brasil na figura 1.

FONTES	FÓSSEIS NÃO RENOVÁVEIS								RENOVÁVEIS			
	ÓLEO DIESEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE PETRÓLEO	OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	COQUE DE CARVÃO MINERAL	ELETRICIDADE	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	OUTRAS
Aço e ferro	1	6					71	10				12
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8	80			
Cerâmica revest.	15	68	5					12				
Cerâmica verm.	4		8					2	85			1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizantes	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plásticos	10	30			34			26				
Tintas	90							10				
Outros materiais	8	11				7	10	20	9		35	

Figura 1 – Consumo de energia por fontes (% MJ) em materiais de construção (Fonte: TAVARES, 2006, p. 110)

Logo de identificadas as fontes primarias de consumo para a produção dos materiais de construção civil do Brasil, Tavares (2006) instituiu a seguinte tabela (Figura 2), onde apresentam-se a quantidade de CO<sub>2</sub> gerado por fonte de energia.

<b>FONTE</b>	<b>CO<sub>2</sub> (kg/GJ)</b>
ELETRICIDADE <sup>(1)</sup>	18,1
ÓLEO COMBUSTÍVEL	79,8
GÁS NATURAL	50,6
GLP	63,3
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	72,6
COQUE DE CARVÃO MINERAL	91,5
COQUE DE PETRÓLEO	72,6
CARVÃO MINERAL	91,5
CARVÃO VEGETAL	51,0
LENHA	81,6
OUTRAS FONTES PRIM. RENOVÁVEIS	0,0
OUTRAS	35,7

Figura 2 – Geração de CO<sub>2</sub> por fontes de energia (Fonte: TAVARES, 2006, p. 111)

Observadas as fontes de energia necessárias para o processo industrial de determinados materiais da construção na figura 1, são apresentados os valores de geração de CO<sub>2</sub> por fontes de energia na figura 2, e, com base nestes valores, a presente pesquisa instituirá dados relativos à implementação de certos materiais nas coberturas verdes e nos estudos hipotéticos.

### 3.5 O conteúdo energético

Por conteúdo energético entende-se a quantidade de energia consumida desde a extração até o resultado industrial de um produto pronto, desconsiderando gastos energéticos secundários, após a produção. Este conceito apresenta-se como um importante indicador de impacto ambiental, haja vista que quanto mais energia requer a extração da matéria-prima ou durante o processo industrial, menos eficiente é a tecnologia, sendo maior o impacto ambiental (SPERB, 2000). Com frequência as expressões energia embutida ou energia incorporada são utilizadas para tratar do conteúdo energético. Embora possam ser consideradas sinónimos, adotou-se este, no presente trabalho, por questões de padronização e entendimento do leitor.

Como determinado no item anterior, nas etapas do processo de uma edificação, as fases pré-operacionais, operacionais e pós-operacionais necessitam obrigatoriamente uma fonte de energia para o desenvolvimento das tarefas, e cabe às novas pesquisas determinar qual é a fonte de energia mais eficiente no processo industrial para auxiliar na diminuição dos agentes agressores ao meio ambiente. Dentro das etapas pré-operacionais, ou seja, no momento da fabricação do produto, cada material produzido precisa de diversas fontes de energia como, por exemplo, a energia elétrica para gerar iluminação para o operário realizar a tarefa, assim como para o funcionamento de motores e geradores elétricos, ou o gás natural, para a queima e geração de fontes de calor para obtenção de subprodutos. Alguns autores citam aqui o conteúdo energético, que provém do cálculo da energia consumida na fabricação dos materiais de construção (TAVARES; LAMBERTS, 2005).

Outros autores argumentam que o conteúdo energético do material é uma forma de avaliar o índice de sustentabilidade de determinado material, o que pode influenciar na escolha de um ou outro produto para o mesmo fim (GRAF; TAVARES, 2010).

Estudos tomam por base a vida útil da edificação em um ciclo de vida de cinquenta anos. Esta abordagem é importante quando se leva em comparação a energia usada para a fabricação de todos os materiais que constituem a edificação e a durabilidade da edificação ao longo dos cinquenta anos, pois, quanto mais tempo esta durar, menor será o seu impacto (GRAF; TAVARES, 2010).

Considerando o detalhamento do estudo de Tavares (2006), o qual levantou o conteúdo energético dos materiais da construção no Brasil, descrevendo procedimentos e metodologias para a realização da análise do conteúdo energético ao ciclo de vida das edificações brasileiras. Assim, a análise é dividida em três etapas:

- Conteúdo energético (EE INICIAL): energia inicial e energia de manutenção – Fase pré-operacional caracterizada pela construção da edificação.
- Conteúdo energético operacional (EE MANUT.): energia usada na operação e na manutenção – Fase operacional caracterizada pelo uso da edificação pelos habitantes.

- Conteúdo energético de desconstrução (EE DESP.): energia usada no transporte dos resíduos – Fase pós-operacional caracterizada pela reciclagem ou reaproveitamento dos materiais da construção.

A tabela 3 apresenta valores de conteúdo energético (EE) em MJ/kg e a conversão em EE MJ/m<sup>3</sup> assim como a densidade em Kg/m<sup>3</sup> do próprio material para cálculos específicos:

Tabela 3 – Conteúdo energético (EE) em materiais de construção do Brasil

<b>Materiais</b>	<b>EE (MJ/kg)</b>	<b>EE (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Aço - chapa galvanizada	33,80	265330,00	7850
Aço - chapa dobrada	30,00	235500,00	7850
Aço - laminado CA 50A	30,00	235500,00	7850
Água	0,02	20,00	1000
Areia	0,05	75,75	1515
Argamassa - mistura	2,10	3906,00	1860
Asfalto	51,00	107865,00	2115
Brita	0,15	247,50	1650
Cal virgem	3,00	4500,00	1500
Cerâmica - Azulejo	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - bloco 8 furos	2,90	4060,00	1400
Cerâmica - branca	25,00	52075,00	2000
Cerâmica - piso esmaltado	5,00	10000,00	2000
Cerâmica - revest. Biqueima	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - revest. Monoqueima	5,10	10200,00	2000
Cerâmica - porcelanato	13,00	27300,00	2100
Cerâmica - telha	5,40	10260,00	1900
Chapa de compensado	8,00	4400,00	550
Cimento portland	4,20	8190,00	1950
Concreto bloco	1,00	2000,00	2000
Concreto simples	1,20	2760,00	2300
Fibra de vidro	2400,00	768,00	32
Fibrocimento - telha	6,00	11520,00	1920
Madeira aparelhada - seca forno	3,50	2100,00	600
Madeira aparelhada - seca ar livre	0,50	300,00	600
Madeira laminada colada	7,50	4875,00	650
Telha de vidro	23,13	55512,00	2400
Tinta acrílica	61,00	7930,00	1,3kg/litro
Tinta PVA latex	65,00	84500,00	1,3kg/litro

Fonte: adaptado de GRAF; TAVARES, 2008, p. 3.

### 3.6 Ciclo de vida de uma edificação: etapas do processo

Desde a concepção do projeto de uma edificação, passando pela execução, pelo seu uso e finalizando em sua demolição ou reciclagem após sua vida útil, todas estas etapas estão diretamente relacionadas a uma fonte de energia, seja pelos processos de fabricação e transporte dos materiais, seja simplesmente pelo próprio uso da edificação, assim como pela manutenção.

O ciclo de vida de uma edificação representa qualitativamente os processos e as etapas que determinam a avaliação energética de cada fase, ajudando na compreensão de todos os fatores operacionais que influenciam os consumos de energia para cada processo (TAVARES; LAMBERTS, 2005).

De acordo com Tavares e Lamberts (2008) a fabricação dos materiais, considerando a extração da matéria-prima até o deslocamento deste produto até a indústria, o processo de industrialização da matéria-prima para obtenção do produto ao consumidor final, o transporte do produto elaborado até o ponto de venda ou até a obra em si, são fases que alguns autores denominam etapas pré-operacionais, desta forma apresenta-se abaixo a figura 3 ilustrando as fases do ciclo de vida das edificações.

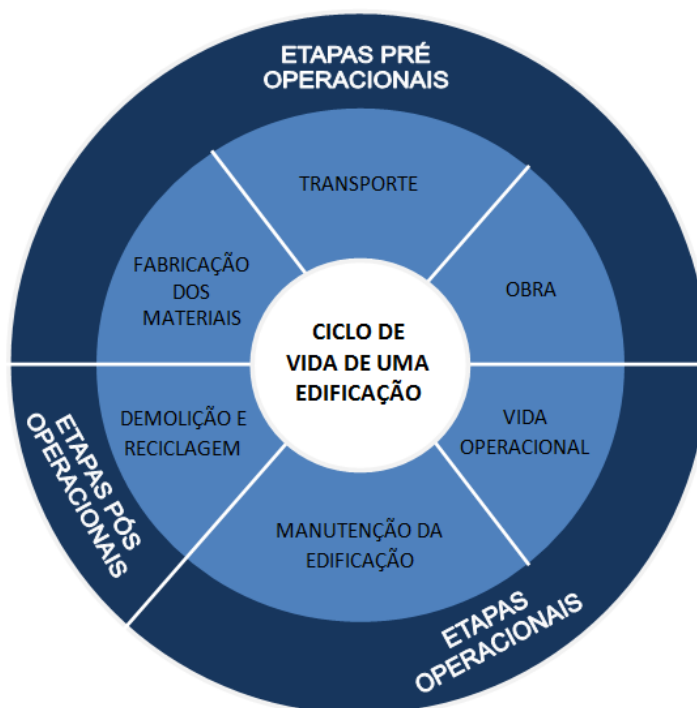


Figura 3 – Ciclo de vida da edificação (Adaptado de TAVARES; LAMBERTS, 2005, p. 2)

Para cada uma destas etapas do ciclo de vida, Sperb (2000) menciona *inputs* e *outputs*. Aqueles se caracterizam por ser a fonte de energia para elaboração da tarefa, que se utilizados fontes poluentes produzira *outputs* de emissões de CO<sub>2</sub> e outros poluentes. Assim sendo cada etapa do ciclo de vida utiliza uma ou mais fontes de energia (*inputs*) que terão como resultado algum impacto ambiental (*outputs*). A figura 4 abaixo auxilia a explicitar o exposto.

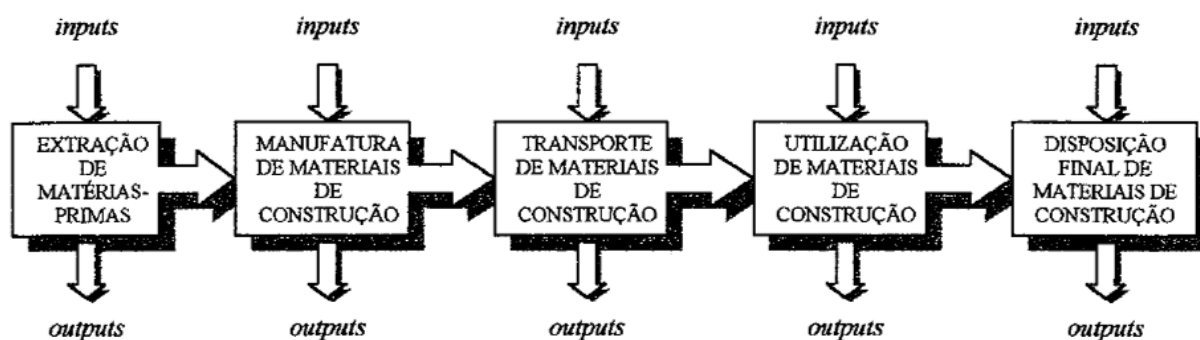


Figura 4 – Entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) das etapas do ciclo de vida de materiais de construção (Fonte: SPERB, 2000, p. 20)

Percebe-se que o conteúdo energético e a emissão de CO<sub>2</sub> relacionam-se. Dependendo da fonte de energia utilizada, esta relação será mais estreita ou mais distante. Na construção civil, para realização de cada etapa do ciclo de vida de uma edificação é necessário energia (*inputs*), que produzirão mais ou menos impactos ao meio ambiente (*outputs*).

O transporte rodoviário, no Brasil, é expressivamente representativo. O RNTRC (Registro Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas) havia registrado 1,5 milhões de caminhões até junho de 2006, determinando significativamente para esta pesquisa a adoção de valores médios de consumo de diesel e emissão de CO<sub>2</sub>.

Bartholomeu (2006) apresenta dados extraídos do manual *GHG Protocol – Mobile Guide* de 2005, e comenta que os dados são baseados em referências de consumo de combustível e distância percorrida, adotando os valores como padrão, sendo:

- fator de emissão do diesel: 2,7458kg CO<sub>2</sub>/litro de diesel;
- consumo médio de combustível: 33,61l/100km;
- emissão: entre 0,87kg CO<sub>2</sub>/km e 0,92kg CO<sub>2</sub>/km.

Optou-se, desta forma, pela média dos valores apresentados, sendo 0,895 kg CO<sub>2</sub>/km percorrido de transporte rodoviário para cargas pesadas.

O modal rodoviário do Brasil é representado por mais de 60% do total de transportes realizado no país na década de 1990 (BARTHOLOMEU, 2006), portanto adotou-se este modal como o responsável pelo transporte neste estudo.

Quanto ao gasto energético associado aos meios de transporte, para um caminhão de carga de até 16 toneladas, aquele representa 0,0517 MJ/km.kg e, para o carro de passeio, o valor é de 0,0515 MJ/km.kg, ambos serão utilizados na presente pesquisa para avaliar o conteúdo energético do transporte dos materiais e dos trabalhadores (TAVARES, 2006).



## **4 COBERTURAS DE EDIFICAÇÕES**

### **4.1 Coberturas tradicionais em telhas**

#### **4.1.1 Definição**

A função principal de uma cobertura em uma edificação é proteger o usuário das intempéries, possuindo diversas propriedades, como, por exemplo, o isolamento térmico e acústico. De acordo com Azeredo (1997), as características de uma boa cobertura são as que a definem como impermeável a ação da água; que são resistentes aos agentes externos, como ventos e oscilações de temperaturas; inalteráveis quanto à forma; de longa duração; de custo-benefício razoável; de fácil manutenção; e possuir um comportamento físico resistente às dilatações e contrações dos materiais que a compõem. Existem diversos tipos de coberturas e cada tecnologia define o desenho que vai possuir, entre telhados inclinados, lajes planas, inundadas (lajes com água) ou coberturas verdes.

#### **4.1.2 Coberturas em telhas cerâmicas**

As coberturas com telhas cerâmicas surgiram nas antigas civilizações, na região do Egito e da Mesopotâmia. A técnica milenar de construção é simples: as telhas são postas sobre as ripas, sendo que todo o peso é transmitido aos caibros, que passa as terças e destas para as tesouras. A tesoura funciona como elemento de absorção das cargas do telhado. Algumas de suas peças são submetidas à compressão e outras à tração e o conjunto fica em equilíbrio de tal modo que o apoio recebe apenas carga vertical. Atualmente as telhas cerâmicas estão no mercado com os mais variados tipos de desenhos, cores e dimensões, proporcionando aos usuários diversos produtos (MONTENEGRO, 1984).

Neste sentido, cabe destacar sinteticamente a etapa pré-operacional, qual seja, desde a extração da matéria-prima até a finalização do produto: a telha cerâmica. Para tanto, utilizar-se o estudo de Grigoletti (2001).

Inicialmente são extraídas as matérias-primas, argila principalmente, das jazidas, o que consome energia dos maquinários para tanto, especialmente óleo diesel (combustível fóssil) e uma pequena parte de energia elétrica. Após a extração, a matéria-prima é transportada, via de regra por meio rodoviário, até a usina de beneficiamento, emitindo CO<sub>2</sub> pela queima do combustível e agregando o conteúdo energético ao produto.

Durante o processo industrial, a telha cerâmica utiliza energia elétrica e/ou de pessoas para as etapas de desintegração, mistura, laminação, cortador e prensa. Logo após a etapa de secagem é realizada a queima do produto, frequentemente é feita em olarias com a utilização de energia proveniente da queima de carvão seja mineral seja vegetal.

A figura 5 demonstra uma cobertura executada com telhas cerâmicas do tipo holandesas e a estrutura em madeira aparente.



Figura 5 – Cobertura executada em telhas cerâmicas do tipo holandesas (Fonte: JOÃO VOGEL, 2013)

#### 4.1.3 Coberturas em telhas de fibrocimento

O sistema construtivo das coberturas de edificações em telhas de fibrocimento é similar ao das com telhas cerâmicas, com exceção das bitolas e das dimensões dos caibros, já que o peso próprio das telhas de fibrocimento é menor.

Em geral as telhas de fibrocimento são compostas em peso de uma parte de amianto para seis partes de cimento, como valor médio, podendo-se dizer que uma chapa de cimento-amianto de boa qualidade tem 125 gramas de amianto e 875 gramas de cimento, obtendo-se deste modo um quilo de produto acabado. O composto misturado de amianto e cimento permite a moldagem das peças durante o processo produtivo (PETRUCCI ,1998).

A terminologia fibrocimento vem da semelhança do amianto com as fibras sedosas e brilhantes. Com diferentes espessuras que variam entre 5 mm, 6 mm e 8 mm, as telhas de fibrocimento são produzidas em diversos tamanhos e formas, proporcionando um melhor aproveitamento das telhas. Cumeeiras, rufos e respingadores são produtos complementares que vieram suprir a necessidade de acabamento dos telhados. (MONTENEGRO, 1984).

As figuras 6 e 7 demonstram a montagem de uma cobertura em telhas de fibrocimento, com o madeiramento aparente e o resultado final do trabalho.



Figura 6 – Troca do telhado do hospital veterinário do campus agrárias da Universidade Federal do Paraná (Fonte: UFPR, 2013, n.p.)



Figura 7 – Troca do telhado do hospital veterinário do campus agrárias da Universidade Federal do Paraná (Fonte: UFPR, 2013, n.p.)

## 4.2 Coberturas verdes

### 4.2.1 Definição

Cobertura verde, cobertura viva, telhado ecológico, telhado verde ou *greenroof* são algumas das nomenclaturas usadas para o sistema de aplicação de vegetação sobre o topo das edificações. De acordo com Minke (2004), as coberturas verdes basicamente são compostas pela sobreposição de diversas camadas, sendo elas: a estrutura de suporte (laje, telhado ou estrutura de suporte), a camada impermeabilizante, a barreira anti-raízes, o sistema de drenagem, o substrato (terra) e a vegetação.

### 4.2.2 Breve histórico

Os registros históricos demonstram que as coberturas verdes vêm sendo utilizadas há milhares de anos pela humanidade. Já foram utilizadas em grande escala nos jardins suspensos da Babilônia, como pode ser visto na figura seguinte. A finalidade dessas estruturas, na época, era essencialmente estética e também como fonte de alimentos.

De acordo com Paiva (2008), os terraços babilônicos eram estruturados por colunas que recebiam na sua cobertura um jardim com inúmeras espécies de vegetação, entre elas destacando-se as palmeiras e as árvores frutíferas. Os gregos utilizavam esta tecnologia para o desenvolvimento da agricultura e outras dinastias ofereciam as frutas aos deuses através de rituais.



Figura 8 – Representação dos jardins suspensos da Babilônia, como imaginados por Martin Heemskerck (Fonte: INFOESCOLA, 2013, n.p.)

As coberturas verdes são muito populares na Europa, principalmente na Alemanha, já que esta é pioneira no uso desta tecnologia. A partir de 1960 arquitetos e pesquisadores dispensaram mais tempo em seus estudos a fim de desenvolver novas técnicas que suprissem os problemas que as membranas de impermeabilização começaram a apresentar. Nos dez anos seguintes, houve grandes investimentos no segmento, sendo criados novos métodos de aplicação para atender as demandas na construção destas coberturas ecológicas (HOPKINS; GOODWIN, 2011).

Os anos 1980 foram marcados pelas coberturas verdes extensivas (vide item 4.2.3.1). Estes são compostos por uma camada fina de substrato e uma seleção de plantas rasteiras, como gramíneas, que viabilizam uma manutenção menos frequente, onde não há necessidade de podas regulares, nem como uma irrigação constante. Após estas mudanças nas concepções das coberturas, os governos fomentaram uma série de políticas públicas para a implantação desta tecnologia, sendo que a Alemanha, em 2001, possuía cerca de 13,5 milhões de metros quadrados cobertos por telhados verdes, ou seja, 14% de todos os telhados do país, como informa o Instituto Cidade Jardim.

Nos países escandinavos, como ilustrado na Figura 9, a utilização de coberturas verdes se viu influenciada desde seus antepassados. De acordo com Minke (2004), era utilizada uma estrutura de madeira como suporte, a turfa (material de origem vegetal, parcialmente decomposto, encontrado em camadas, geralmente em regiões pantanosas e também sob montanhas) como camada impermeável e logo acima vinha a camada de vegetação (gramínea).



Figura 9 – Residência com cobertura verde na Noruega (ENGE, 2013, n.p.)

#### 4.2.3 Tipo de coberturas verdes

É possível classificar os tipos de coberturas verdes em duas categorias: extensivas e intensivas.

##### 4.2.3.1 Coberturas verdes extensivas

De acordo com Snodgrass e McIntyre (2010), as coberturas verdes extensivas, também conhecidas como passivas, se limitam a uma camada fina de substrato que varia entre 6 cm e 15 cm, aproximadamente, e é a camada que dá o suporte para o desenvolvimento do vegetal (terra). É um sistema que exige uma seleção de espécies vegetais mais específicas por se tratar de um substrato com pouca base, ou seja, indicam-se para esse tipo de cobertura forrações rasteiras ou gramíneas.

As coberturas verdes extensivas caracterizam-se pela necessidade de pouca manutenção, pois as espécies escolhidas sobrevivem a grandes temporadas de seca e pouca umidade. Embora as plantas apresentem grande resistência a períodos de estiagem, este tipo de cobertura deve possuir uma camada de retentores de água capazes de estancar a quantidade mínima de água para as plantas, liberando o excesso. Estas coberturas são leves e trazem um visual não tão elaborado considerando-se a variedades de plantas, uma vez que a paisagem criada é mais homogênea.

De acordo com Minke (2004), selecionada uma espécie de gramínea silvestre extraída na região de implantação da cobertura verde, esta se tornará muito resistente às intempéries, por se tratar de uma vegetação adaptada ao microclima local. Sem necessidade de nutrientes e com pouco abastecimento de água, estas espécies possuirão uma boa capacidade de regeneração. Para as coberturas extensivas, pode-se trabalhar também com musgos e suculentas, além das gramíneas.

Por utilizar plantas de baixo porte como gramíneas, por exemplo, as coberturas verdes extensivas podem ser trabalhadas com declividades relativamente acentuadas. A figura 10 mostra um exemplo de cobertura verde extensiva.



Figura 10 – Exemplo de cobertura verde extensiva na Califórnia, Estados Unidos (Fonte: DEZEEN, 2013, n.p.)

#### 4.2.3.2 Coberturas verdes intensivas

As coberturas verdes intensivas correspondem ao oposto das extensivas, uma vez que exigem manutenção constante por se tratar de um sistema mais complexo. As coberturas verdes intensivas, também chamadas de ativas, conforme Minke (2004) caracterizam-se por ser um tipo de telhado verde que pode suportar desde gramíneas até espécies lenhosas. Embora esta cobertura seja mais elaborada, já que a camada de substrato varia de 15 cm a 50 cm de espessura, ela não pode ser executada em coberturas inclinadas. O sistema de drenagem utilizado é diferente do utilizado em coberturas extensivas, pois a retenção de água se dá na própria camada de substrato. As variadas espécies que são indicadas para este tipo de cobertura verde tornam a paisagem e a estética da cobertura mais diversificada ou heterogênea.



As coberturas verdes intensivas são previstas na maioria das vezes desde o anteprojeto, pois exigem um cálculo estrutural específico, tratando-se de um peso consideravelmente relevante para a edificação. Segundo o IGRA (2011), o peso destes telhados pode variar entre 180 e 500 kg/m<sup>2</sup>.

Para poder compor planos inclinados e conseguir trabalhar com uma vegetação mais diversificada, os arquitetos do ACROS Fukuoka Prefectural International Hall no Japão (Figura 11 e 12) inspiraram-se em técnicas arquitetônicas utilizada pelos incas na agricultura das regiões andinas. Os desenhistas do projeto criaram patamares para garantir a estabilidade da vegetação de grande porte, obtendo assim no conjunto arquitetônico um plano inclinado com espécies mais heterogêneas.



Figura 11 – No Japão o ACROS Fukuoka Prefectural International Hall é um edifício comercial com sistema de cobertura verde intensiva (Fonte: GREENROOFS, 2013, n.p.)



Figura 12 – Vista frontal do ACROS Fukuoka Prefectural International Hall no Japão. Edifício com sistema de cobertura verde intensiva (Fonte: GREENROOFS, 2013, n.p.)

#### 4.2.4 Sistema construtivo de coberturas verdes



Ambos os sistemas de coberturas verdes, extensivas ou intensivas precisam respeitar uma lógica de composição das camadas de proteção, para que a tecnologia cumpra os objetivos e o resultado seja uma cobertura eficiente.

É fundamental o estudo da localização a ser implantado o sistema, como também a altura da implantação, levando em consideração os ventos, a iluminação e o sombreamento por edificações vizinhas, por exemplo. Cada caso requer um estudo prévio para que o sucesso e a longa duração da vegetação sejam garantidos, assim como a vida útil da própria cobertura. Como ilustrado na figura anterior, um sistema de cobertura verde é composto por diferentes camadas funcionais, quais sejam, a camada impermeabilizante, a barreira anti-raiz, a camada de drenagem, a camada filtrante, o meio de cultura ou substrato e a vegetação (MINKE, 2004). A figura 13 abaixo mostra de forma esquemática cada camada da cobertura verde.

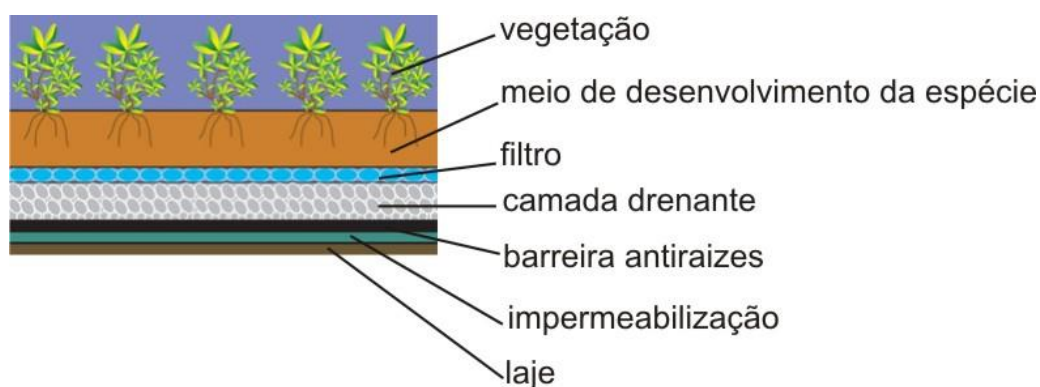


Figura 13 – Camadas da cobertura verde

A camada de impermeabilização é a que garante a impermeabilidade da cobertura, servindo de barreira para a passagem da água ao interior da edificação. Esta camada deve ser executada adequadamente para que se possa garantir o resultado contra possíveis infiltrações. Atualmente utiliza-se para esta fase a manta asfáltica, que é um subproduto derivado do petróleo. Este elemento pode ser encontrado em solução líquida, que após seco adquire uma forma sólida, ou também pode ser adquirido através de rolos a qual é aplicada com a utilização de maçarico como demonstra a figura 14 (MINKE, 2004).



Figura 14 – Aplicação de manta asfáltica em uma laje de concreto (Fonte: ONDULINE, 2013, n.p.)

A barreira anti-raiz tem a função de proteção da estrutura da edificação, impedindo que as raízes da planta danifiquem a estrutura construída, entrando por possíveis fissuras de dilatação. Hoje existem produtos industrializados que atendem ao mercado para esta função, incorporados às mantas asfálticas (SNODGRASS; MCINTYRE, 2010).

A camada drenante, é essencial no sistema, pois garante a retenção ou o escoamento da água, dependendo do tipo de cobertura. Esta camada também permite que as raízes mantenham seu crescimento, proporcionando a aeração (MINKE, 2004). Existem camadas drenantes comercializadas, sendo uma lâmina em polietileno de alta densidade que possui características de resistência à tração, aos agentes químicos e à compressão. A sua estrutura alveolar confere-lhe uma excelente capacidade de drenagem e de proteção às paredes e estruturas enterradas. Ao ser aplicado sobre membranas betuminosas com os alvéolos virados para cima, esta funciona como uma excelente proteção mecânica e barreira anti-raiz para a impermeabilização. Os alvéolos poderão servir de suporte a uma camada de gravilha que fará a drenagem debaixo da cobertura final. Outros tipos de camada drenante artesanal são os seixos, areia grossa, argila expandida, entre outros (MINKE, 2004).

A camada filtrante tem a finalidade de não permitir o escoamento de pequenas partículas, como húmus e materiais orgânicos. Localiza-se entre a camada drenante e o substrato. Estes filtros são conhecidos como geotêxteis ou matérias de tecidos, como mostra a figura 15 abaixo (SNODGRASS; MCINTYRE, 2010).



Figura 15 – Exemplo de filtros geotêxteis (Fonte: FULVIO FARAH, 2005, n.p.)

O substrato é o meio onde se desenvolve a vegetação. A quantidade de substrato depende do tipo de cobertura vegetal que se desenvolverá, podendo variar de 3 cm a 50 cm de espessura, segundo Minke (2004). Ele contém todos os nutrientes para o desenvolvimento do vegetal, e é composto de modo a respeitar a relação de água e ar que a vegetação necessita para garantir sua sobrevivência.

Finalmente, a vegetação é a camada que confere o valor estético à cobertura. A seleção das plantas para as coberturas depende de todos os aspectos mencionados anteriormente, ou seja, gramíneas e rasteiras para coberturas extensivas, e destas até árvores para as coberturas intensivas. Porém, é comum a ambos os tipos a necessidade da vegetação possuir resistência às intensas radiações solares, períodos de estiagem, baixos suprimentos de nutrientes, baixas temperaturas e exposições ao vento, conforme a região a ser aplicada.

#### 4.2.5 Benefícios e desvantagens das coberturas verdes

As coberturas verdes têm a vantagem de ser um filtrante natural de poluentes, tornando o ar do meio circundante mais puro. De acordo com Minke (2004), as coberturas verdes estabelecem um papel fundamental para a absorção de impurezas contidas no ar, como metais pesados, por exemplo. Os telhados verdes ajudam o usuário na redução de consumo de energia, pois o sistema utilizado auxilia na diminuição da temperatura interna da edificação, racionalizando o uso de condicionamento mecânico, como os condicionadores de ar, por exemplo.

Outra vantagem das coberturas é a paisagem que ela proporciona. Isso ocorre porque este tipo de cobertura possibilita um local para caminhadas, bem

como o contato do homem com a terra, que traz benefícios psíquicos como redução do estresse, aumento da harmonia interior e do equilíbrio emocional.

As coberturas verdes também funcionam como excelente isolante acústico. Segundo Minke (2004), a camada de terra reduz o ruído pelo processo de absorção, transformando a energia sonora em energia de movimento, porém o processo de absorção está em maior parte no substrato. Para uma camada de terra de 12cm, a absorção supera aproximadamente 40dB, e para uma espessura de 20cm até 46dB.

Elas também podem ser utilizadas para plantio de ervas aromáticas, com espécies que trazem um valor de consumo, como os chás, por exemplo, produzindo além de subsídios para consumo, aromas e cheiros agradáveis.

Os centros urbanos têm transformado as antigas paisagens verdes em acinzentadas devido à construção de edificações. Com o acelerado crescimento das cidades, as superfícies de solo permeáveis perderam espaço para áreas seladas por pavimentações, o que criou problemas em diversos centros urbanos. Minke (2004) destaca os efeitos negativos que estes problemas trouxeram sobre o ecossistema e o habitat humano, por isso os telhados verdes podem auxiliar a compensar esta perda.

Segundo o IGRA (2011), os telhados verdes são importantes também para a retenção de água pluvial. Dependendo do tipo e da profundidade do substrato, a água de um ciclo de chuvas pode ser retida entre 50% e 90%. Parte desta água retorna ao ciclo natural por meio da evaporação, o que ocorre nos próprios telhados verdes. Outra parcela da água, depois de drenada e filtrada, escoar até o sistema de águas pluviais com um retardo temporal, possibilitando que os sistemas de drenagem existentes deem conta do fluxo, auxiliando no combate aos alagamentos tão comuns em grandes cidades. Além disso, esse excedente de água, filtrado e drenado, pode ser redirecionado para cisternas, de modo que a mesma água sirva para as irrigações regulares ao próprio telhado ou ser destinada a outros usos.

As coberturas verdes criam lugares alegres e vigorosos e proporcionam refúgios isolados para a fauna e flora nos centros urbanos até então estéreis. A biodiversidade que estes telhados abrigam é vasta, contendo desde abelhas, borboletas e besouros até pequenos répteis e anfíbios que podem encontrar abrigo e alimento, dando a estas coberturas um caráter único (PLACITELLI, 2010).

De acordo com Minke (2004), a consciência populacional do aquecimento global tem estimulado estudos acerca de novas técnicas de implementação de

telhados verdes e de seus benefícios, com a intenção de amenizar a temperatura do planeta. Os edifícios residenciais e industriais e as extensas vias de pavimentação para tráfego de veículos, por exemplo, têm transformado os solos permeáveis em superfícies impermeáveis e receptores de radiação solar. Isto trouxe aos centros urbanos a alta temperatura e uma variação da sensação térmica de localizações para o meio circundante, conhecida como ilha de calor urbano. Essa variação de temperatura pode chegar a 10°C, produzindo assim uma crise na qualidade de vida. As superfícies de coberturas verdes podem reduzir o efeito das ilhas de calor através do processo de transpiração e umidificação do ar seco, dando assim um melhor clima para a população circundante.

Nos últimos anos tem sido comprovado que a poluição do ar nos centros urbanos pode causar efeitos nocivos à saúde. Monóxido de carbono, óxidos de azoto, compostos orgânicos voláteis e outros gases são criadores de combinações tóxicas, sendo de grande importância a filtragem dos gases através do processo de fotossínteses das plantas nos telhados verdes (PLACITELLI, 2010), o que é chamado de sequestro de carbono. De acordo com Segnini et al., (2007) o sequestro de carbono por meio da gramínea rasteira *Brachiaria decumbens* varia entre 6,1 a 12,8 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> da atmosfera, desde que bem manejada e em decorrência do tipo de solo (textura e mineralogia), condições climáticas (temperatura e precipitações) e sistema de rotação de culturas (com aporte de resíduos).

As desvantagens desta tecnologia referem-se a insetos que farão ali seu habitat, como formigas, aranhas, abelhas, entre outros, dependendo do nível de cuidado e manutenção que se dê a cobertura. Outro desconforto que pode causar seria o rompimento da camada de impermeabilização e a necessidade de um reparo emergencial na cobertura da edificação, exigindo a manutenção. Por se tratar de um organismo vivo (plantas) exige uma regular aparência estética o corte da grama. Isto também é apontado como uma possível desvantagem, dependendo da ótica do usuário (SNODGRASS; MCINTYRE, 2010).

### **4.3 Estudos sobre coberturas verdes**

Existem diversas pesquisas no Brasil que tratam de coberturas verdes explorando diferentes aspectos. Oliveira (2009) desenvolveu uma pesquisa sobre

coberturas verdes voltadas a habitações de interesse social. Sua pesquisa demonstrou que coberturas verdes são adequadas para controle do escoamento superficial, na aplicação do sistema de irrigação. Houve uma retenção de até 56% do volume precipitado pela cobertura, segundo a pesquisa. Observou-se também o atraso da ocorrência do pico de até 8 minutos na cobertura verde em relação ao telhado testemunho (convencional de telhas de fibrocimento). Observou-se também uma eficiência quanto ao condicionamento térmico interno e externo, uma redução da amplitude térmica interna sendo capaz de reduzir a temperatura cerca de 2,0 °C a 4,0 °C.

Já o trabalho de Baldessar (2012) trata de cobertura verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada. O autor realizou três protótipos, um telhado com cobertura verde, um telhado convencional com telhas cerâmicas e uma laje impermeabilizada, de modo a estudar as águas escoadas coletadas no período de novembro a fevereiro de 2012 na cidade de Curitiba. Com o intuito de verificar o desempenho de cada cobertura, quanto à comprovação da redução do escoamento de água da chuva. Os resultados alcançados apontaram os benefícios de uso da cobertura verde, que foi capaz de escoar 30,7% de toda a água precipitada enquanto a cobertura com telhas cerâmicas escoou 77,4%.

Diversos trabalhos já qualificam a tecnologia das coberturas verdes, porém, nenhum trata sobre o conteúdo energético e as emissões de CO<sub>2</sub> que esta técnica emite ao meio ambiente, com o intuito de verificar a mitigação dos danos causados durante sua implementação na fase pré-operacional e verificar o possível sequestro de carbono que a tecnologia promete.

## 5 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa baseou-se nas referências dos trabalhos de Sperb (2000), Tavares (2006), Oliveira (2009) e Baldessar (2012). Para o desenvolvimento desta pesquisa seguiram-se as etapas descritas a seguir.

- Escolha das coberturas verdes para os estudos de caso.
- Quantificação dos materiais utilizados para a implementação das coberturas verdes, mediante entrevista semiestruturada junto aos proprietários.
- Levantamento da área das coberturas verdes para verificação do quantitativo de materiais utilizados, bem como para a realização da simulação das coberturas previstas em telhas cerâmicas e de fibrocimento.
- Identificação da mão de obra utilizada (profissionais) para implementação das coberturas verdes, bem como o transporte utilizado pelos operários no seu deslocamento.
- Levantamento dos locais de compra dos insumos utilizados para cada cobertura, através da entrevista semiestruturada junto aos proprietários.
- Mensuração da distância percorrida pelos transportes dos materiais e dos trabalhadores, bem como o meio de transporte utilizado por cada um.
- Dias de trabalho dos operários para a implementação das coberturas verdes.
- Definição das fontes para obtenção dos valores de referência a serem utilizados nas planilhas de resultados.
- Quantificação de material, seleção dos locais disponíveis de compra dos produtos e mensuração dos transportes dos insumos e trabalhadores para as coberturas de simulação.
- Para cada material utilizado na cobertura verde ou nas coberturas hipotéticas, quantificação do conteúdo energético e as emissões de CO<sub>2</sub> divididas em três partes: pelos transportes dos materiais, pelos processos de fabricação e pelo transporte dos operários.
- Sistematização dos dados obtidos em tabelas e gráficos para análise dos resultados.

- Análise comparativa dos dados obtidos para as coberturas verdes e suas simulações em telha cerâmica e telha de fibrocimento.

A figura 16 mostra um esquema do método de pesquisa realizado.



Figura 16 – Esquema ilustrado e simplificado do método de pesquisa.



## 5.1 Escolhas dos estudos de caso

Para os estudos de caso foram escolhidas duas coberturas verdes. Os critérios de seleção foram:

- ambas as coberturas deveriam ser em cidades distantes entre si para obter uma avaliação quanto à influência dos transportes dos materiais desde sua fabricação até o local de implementação;
- ter acesso aos quantitativos dos materiais utilizados para a implementação das coberturas verdes, bem como a relação dos locais de compra de cada produto utilizado na cobertura;
- disponibilidade de acesso ao local para o levantamento da área a ser pesquisada, com o intuito de realizar o levantamento métrico para a simulação com outros tipos de coberturas;
- concordância dos proprietários em repassar as informações necessárias.

Os dados dos proprietários, bem como do endereço das obras não são divulgados na pesquisa devido à manutenção do anonimato exigido pelos entrevistados.

Após estes critérios, identificaram-se duas coberturas verdes, uma na cidade de Santa Maria e outra na cidade de Porto Alegre, ambas no Rio Grande do Sul. Os proprietários dos estudos de caso selecionados forneceram os quantitativos de insumos, locais de compra dos produtos, marcas dos produtos utilizados, bem como os dias de trabalhos das pessoas terceirizadas, assim como todas as informações necessárias para a realização das planilhas de análises de resultados.

## 5.2 Quantificação dos materiais utilizados e de seu transporte

Quanto às visitas, a primeira foi realizada em Santa Maria, no dia 19 de dezembro de 2012 às 15h00min quando foi realizado o levantamento fotográfico e o levantamento métrico. Em uma segunda visita realizada no dia 10 de janeiro de 2013 às 14h30min, obtiveram-se as informações para a pesquisa através de uma entrevista semiestruturada, onde, por meio de uma conversa informal e dirigida ao assunto de interesse, vai se conduzindo o diálogo para a obtenção de certas informações específicas para a pesquisa. As principais questões propostas para os entrevistados encontram-se no Apêndice 1.

Na cidade de Porto Alegre a visita realizou-se no dia 14 de janeiro de 2013, às 15h30min, quando se fez a coleta dos dados através do levantamento métrico e fotográfico e aplicou-se a entrevista semiestruturada sendo a mesma estrutura aplicada junto ao proprietário da cobertura em Santa Maria.

Com as entrevistas pode-se obter a especificação acurada do transporte utilizado pelos proprietários, operários e empresas que fizeram chegar os materiais até o local da obra.

Os dados solicitados primeiramente foram os necessários para preenchimento da tabela 4 demonstrada a seguir, a qual trata das emissões de CO<sub>2</sub> pelo transporte dos materiais. Para o transporte rodoviário pesado (caminhão) a média calculada foi de 0,895 kg CO<sub>2</sub>/km extraída de Bartolomeu (2006, p. 52), já a média utilizada para veículos leves (carro) foi de 0,106 kg CO<sub>2</sub>/km, extraído do Programa Brasileiro de Etiquetagem utilizando como padrão o veículo popular brasileiro Volkswagen Novo Gol 1.0 (INMETRO, 2013, p. 5).

Os dados da tabela 5 que tratam sobre o conteúdo energético do transporte dos materiais foram de 0,00517 MJ/km.kg para caminhão e para o carro de passeio, 0,00515 MJ/km.kg, extraídos de Tavares (2006, p. 72).

Tabela 4 – Modelo para cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais.

Emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Camadas da Cobertura Verde	Material Utilizado	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Impermeabilização	Manta Asfáltica 4mm									
Drenante	Brita									
	Areia Média									
Substrato	Terra orgânica									
	Terra									
Vegetação	Leiva de Grama (60%)									
	Leiva de Grama (40%)									
<b>Subtotal</b>	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		-	-	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

A seguir, descreve-se os itens de cada coluna da Tabela 4, bem como as referências dos dados necessários para seu preenchimento.

Coluna 01 – Camadas constituintes da cobertura verde em estudo, dados fornecidos pelos proprietários na entrevista semiestruturada.

Coluna 02 – Materiais utilizados em cada camada da cobertura verde, conforme dados informados pelos proprietários na entrevista semiestruturada e verificados no local por meio da observação direta.

Coluna 03 – Município produtor dos materiais relacionados na coluna 02, dados obtidos com base nas informações prestadas pelo proprietário e confirmadas por meio de contato com os fabricantes dos materiais, via contato telefônico e pesquisa nas páginas eletrônicas das empresas (o intuito desta pesquisa era determinar com exatidão a origem dos produtos).

Coluna 04 – Meio de transporte empregado no deslocamento do material desde a fábrica até o ponto de venda, padronizada pelo modal rodoviário brasileiro (BARTHOLOMEU, 2006, p. 52). Vide página 39.

Coluna 05 e 08 – Distância, calculada em quilômetros, desde a fábrica até o ponto de venda, por meio da ferramenta *Google Maps*, ilustrado e demonstrado caso a caso no capítulo 6 da presente pesquisa.

Coluna 06 e 10 – Produto da distância calculada pela média 0,895 kg CO<sub>2</sub>/km (BARTHOLOMEU, 2006, p.52), para transporte rodoviário pesado e 0,106 kg CO<sub>2</sub>/km para transporte rodoviário passeio (INMETRO, 2013, p.5).

Coluna 07 – Local do ponto de venda do material relacionado na coluna 02, ou disponível no próprio local da obra, dados obtidos na entrevista semiestruturada com os proprietários.

Coluna 09 – Meio de transporte empregado no deslocamento do material desde o ponto de venda até a obra, informações obtidas na entrevista na entrevista semiestruturada com o proprietário.

Coluna 11 – Resultado da soma das emissões de CO<sub>2</sub> da coluna 06 e 10.

A tabela 5 apresenta os dados referentes para obtenção de valores do conteúdo energético do transporte dos materiais, quais sejam discriminados um a um, todos os itens que compõem a cobertura, bem como o peso total de cada material para, por fim, verificar o total de energia gasta para o deslocamento dos produtos, durante todos os trechos de transporte analisados, desde fábrica até a obra.

Tabela 5 – Modelo para cálculo do conteúdo energético do transporte dos materiais.

Conteúdo energético do transporte dos materiais								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Manta Asfáltica 4mm								
Brita								
Areia Média								
Terra orgânica								
Terra								
Leiva de Grama (60%)								
Leiva de Grama (40%)								

A seguir, descreve-se os itens de cada coluna da Tabela 5, bem como as referências dos dados necessários para seu preenchimento.

Coluna 01 – Materiais utilizados em cada camada da cobertura verde, conforme dados informados pelos proprietários na entrevista semiestruturada e verificados no local por meio da observação direta.

Coluna 02 – Quantidade de material utilizado em Kg (quilogramas) para atender cada camada da cobertura verde.

Coluna 03 e 06 – Distância entre trechos, calculada em quilômetros por meio da ferramenta *Google Maps*, extraído da Tabela 4.

Coluna 04 e 07 – Coeficiente do gasto energético extraído de Tavares (2006, p. 72). Vide página 58.

Coluna 05 e 08 – Produto das colunas ( $2 \times 3 \times 4 = 5$ ) e ( $2 \times 6 \times 7 = 8$ )

Coluna 09 – Somatório das colunas ( $5 + 8 = 9$ ).

### **5.3 Conteúdo energético e emissões de CO<sub>2</sub> dos materiais**

Para quantificar o conteúdo energético dos materiais utilizados na cobertura verde e as emissões de gases gerados pelos processos industriais, foram considerados os insumos utilizados nas coberturas verdes. Obteve-se a quantidade de material utilizado em cada cobertura, por meio dos relatos dos proprietários e verificou-se por meio do levantamento métrico realizado no local. Para este fim, foi criada a seguinte planilha de análise:

Tabela 6 – Modelo para obtenção de dados das emissões de CO<sub>2</sub> e conteúdo energético dos materiais.

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> dos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Camada da cobertura verde	Material utilizado	Quantidade de material utilizado	Densidade do material (kg/m <sup>3</sup> )	Total de material (kg)	Conteúdo energético do material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Impermeabilização	Manta Asfáltica 4mm						
Drenante	Brita						
	Areia Média						
Substrato	Terra orgânica						
	Terra						
Vegetação	Leiva de Grama (60%)						
	Leiva de Grama (40%)						
<b>Subtotal</b>	-						

A seguir, descreve-se os itens constantes em cada coluna da Tabela 6, bem como as referências dos dados necessários para obtenção dos resultados.

Coluna 01 – Camadas constituintes da cobertura verde em estudo.

Coluna 02 – Materiais utilizados em cada camada da cobertura verde, conforme informações do usuário e verificação no local.

Coluna 03 – Informações do proprietário e verificação após o levantamento métrico.

Coluna 04 – Densidade dos materiais Tabela 3, vide página 37.

Coluna 05 – Produto da coluna 03 e 04.

Coluna 06 – Dados obtidos de Tavares (2006, p.193).

Coluna 07 – Produto da coluna 05 e 06.

Coluna 08 – Resultados extraídos do cálculo da tabela 7. Adaptado de Tavares (2008, p.10).

Para a obtenção dos dados da coluna 08 da tabela 6, foi necessária a elaboração da Tabela 7, que quantifica a emissão de carbono do próprio material, sendo esta diretamente relacionada às fontes de energia para a produção do material.



Tabela 7 – Exemplo de cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material.

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	OUTRA SEC. PETROLEO	TOTAL
	CO2 (KG/MJ)		0,0181	0,0798	0,0506	0,0726	
IMPERMEABILIZANTE	PERCENTUAL						
	QUANT. (MJ)						
	CO <sub>2</sub> (KG)						
BRITA	PERCENTUAL						
	QUANT. (MJ)						
	CO <sub>2</sub> (KG)						
AREIA	PERCENTUAL						
	QUANT. (MJ)						
	CO <sub>2</sub> (KG)						

Fonte: Adaptado de TAVARES; LAMBERTS, 2008.

#### 5.4 Transporte dos trabalhadores

Do mesmo modo, mensurou-se a quantidade de material e o transporte dos produtos. Foi identificado quanto tempo foi preciso para a implementação da cobertura verde em cada caso, e desta forma, o levantamento dos dias de trabalho dos operários foi apurada na seguinte tabela para, por fim, atribuir o meio de transporte dos operários até a obra e assim obter a emissão de CO<sub>2</sub> gerada pelos transportes utilizados.

Tabela 8 – Cálculo do conteúdo energético e emissões de CO<sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores

Conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores						
1	2	3	4	5	6	7
	Quantidade de Pessoas (n° - Kg)	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Energia Embutida no Transporte Utilizado (MJ/kg.km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Proprietário						
Pedreiro						
<b>Subtotal</b>						<b>0</b>

A seguir, descreve-se os itens constantes em cada coluna da Tabela 8, bem como as referências dos dados necessários para obtenção dos resultados.

Coluna 01 – Identificação dos trabalhadores, residente no local da obra, trabalhador, precisou realizar o deslocamento para efetuar a atividade.

Coluna 02 – Quantidade de pessoas que foi necessária para desenvolver o trabalho, representada em kg, tomando como média 70kg por pessoa.

Coluna 03 – Distância percorrida pelo trabalhador considerando ida e volta, desde sua residência até a obra.

Coluna 04 – Dias de trabalho necessário para desenvolvimento da atividade.

Coluna 05 – Meio de transporte utilizado para o deslocamento do trabalhador, para após, mensurar o consumo energético e emissão de CO<sub>2</sub> pelo tipo de transporte.

Coluna 06 – Produto das colunas 2x3x4x 0,0015 Coef. de consumo energético médio em MJ do veículo por Kg transportado (TAVARES, 2006, p. 72).

Coluna 07 – Produto das colunas 3x4x0,106 Coef. de emissão de CO<sub>2</sub> por km rodado (INMETRO, 2013, p.5)

## 5.5 O sequestro de carbono

Considerando que o sequestro máximo de carbono pela gramínea *Brachiaria decumbens* alocada em um substrato de até 20cm é de 12,8 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e o sequestro mínimo, nas mesmas condições, é de 6,1 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, somou-se ambos extremos e dividiu-se o resultado por dois, de modo a obter a média simples, qual seja, 9,45 Mg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Observando-se que 1 Mg (megagrama) é igual a 1.000 kg, bem como que 1 ha (hectare) equivale a 10.000m<sup>2</sup>, tem-se que a média simples apurada pode ser expressa da seguinte maneira (SEGNINI, 2007):

$$\frac{9,45 \times 1.000 \text{ kg} \times \text{CO}_2}{10.000 \text{ m}^2 \times 1 \text{ ano}} = \frac{9,45 \times 1 \text{ kg} \times \text{CO}_2}{10 \text{ m}^2 \times 1 \text{ ano}} = \frac{0,945 \times 1 \text{ kg} \times \text{CO}_2}{1 \text{ m}^2 \times 1 \text{ ano}} = 0,945 \text{ kg CO}_2 / \text{m}^2 \text{ ano}$$

[Eq. 1]

Tem-se, assim, a média hipotética de sequestro de carbono (MSC), qual seja, 0,945 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> ano, que, multiplicada pela área (m<sup>2</sup>) da cobertura verde (ACV), resulta no potencial sequestro de carbono da cobertura verde (SCV). Logo:

$$MSC (\text{kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ ano}) \times AVC (\text{m}^2) = SCV (\text{kg CO}_2/\text{ano}) \text{ [Eq. 2]}$$

Por fim, considerando a emissão de carbono (kg CO<sub>2</sub>) na fase pré-operacional da cobertura verde (EPO), pode-se dividir este valor pelo potencial sequestro de carbono da cobertura verde (SCV), a fim de revelar o tempo necessário (ano) à mitigação das emissões geradas na fase pré-operacional (TM). Desta forma:

$$\frac{EPO (\text{kg CO}_2)}{SCV (\text{kg CO}_2/\text{ano})} = TM (\text{ano}) \text{ [Eq. 3]}$$

## 5.6 As coberturas hipotéticas

Para o estudo comparativo, fez-se necessária a elaboração de coberturas hipotéticas, sendo a constituinte de telhas cerâmicas e de fibrocimento, para a

cidade de Santa Maria e de Porto Alegre. Foram considerados os materiais de acordo com Tavares (2006) que especifica o quantitativo de material conforme padrões básicos de construção brasileiros. A utilização dos materiais para as simulações das coberturas, seja de telha cerâmica ou de fibrocimento, é a mesma, tendo como diferencial a quantidade de material por metro quadrado de cobertura, assim como o madeiramento e as telhas. A fim de qualificar a pesquisa pela informação mais precisa, e levando em consideração a consciência dos usuários quanto à importância dos impactos causados pelos transportes dos materiais, foram importantes as escolhas das indústrias dos materiais (pregos, madeiras, telhas) na região mais próxima à obra.

Deve-se ressaltar que outros elementos ou materiais que podem vir a ser considerados em uma cobertura, como por exemplo, funilaria (calhas, algeroz e rufos), foram desconsiderados, já que, estes podem ser dimensionados de diversas formas, dependendo do profissional.

Então, apresentam-se todas as tabelas de cálculos de conteúdo energético por material e emissões de CO<sub>2</sub>, para no fim, discuti-los e levá-los em consideração para fins de comparação das coberturas.

A tabela 9 demonstra o modelo de cálculo para as emissões de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais para as coberturas hipotéticas de fibrocimento e de telhas cerâmicas.

A tabela 10 a seguir, apresenta o modelo de cálculo para obtenção dos valores de conteúdo energético para o transporte dos materiais das coberturas hipotéticas.

A tabela 11 expõe o modo de cálculo para adquirir os valores dos processos de fabricações dos produtos para as coberturas com telhas cerâmicas e de fibrocimento.

A tabela 12 apresenta o modelo de cálculo para os valores obtidos com o deslocamento dos trabalhadores.

A tabela 13 apresenta o modelo de cálculo dos somatório das emissões de CO<sub>2</sub> e do conteúdo energético das fases pré-operacionais para as coberturas hipotéticas.

Tabela 9 – Modelo para cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais para a simulação com telha cerâmica e de fibrocimento.

Emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estrutura da cobertura	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Aço - (Prego tipo 18x27)									
Madeiramento (peroba)									
Telha Cerâmica Vermelha									
<b>Subtotal</b>									

Tabela 10 – Modelo para cálculo do conteúdo energético do transporte dos materiais para as coberturas tradicionais de telha cerâmica e de fibrocimento.

<b>Conetúdo energético do transporte dos materiais</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais
Aço - (Prego tipo 18x27)								
Madeiramento (peroba)								
Telha Cerâmica Vermelha								
<b>Subtotal</b>								

Tabela 11 – Modelo para cálculo do conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no processo de fabricação dos materiais para as coberturas tradicionais de telha cerâmica e de fibrocimento.

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Estrutura da cobertura	Material utilizado	Quantidade de material utilizado	Densidade do material	Total de material (kg)	Conteúdo Energético no Material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de Carbono do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Aço - (Prego tipo 18x27)							
Madeiramento (peroba)							
Telha Cerâmica Vermelha							
<b>Subtotal</b>						<b>0,00</b>	<b>0,00</b>

Tabela 12 – Modelo para cálculo do conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores para as coberturas hipotéticas de telha cerâmica e de fibrocimento.

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte Utilizado (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Carpinteiro						
<b>Subtotal</b>					<b>0</b>	<b>0</b>

Tabela 13 – Modelo para cálculo dos somatórios das emissões de CO<sub>2</sub> e do conteúdo energético de todas as fases pré-operacionais para as coberturas tradicionais de telha cerâmica e de fibrocimento.

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS TRABALHADORES	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)				
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)				



## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Estudo de caso 01 – Cobertura verde em Porto Alegre/RS

O estudo de caso 01 localiza-se no Brasil, na cidade de Porto Alegre, RS, no bairro Cidade Baixa, a tipologia arquitetônica do entorno é formada por residências unifamiliares e multifamiliares de médio porte edifícios até 5 pavimentos. A figura 17 apresenta a gleba da região onde se localiza a residência, lembrando que por questões de anonimato não será possível identificar o endereço.



Figura 17 – Localização da Cobertura Verde do Estudo de Caso 01. (Fonte: Google Maps).

Com o auxílio do *software* AutoCAD foi elaborado o desenho técnico da planta de cobertura, para assim obter o cálculo exato das respectivas áreas de estudo, apresentado na figura 18.

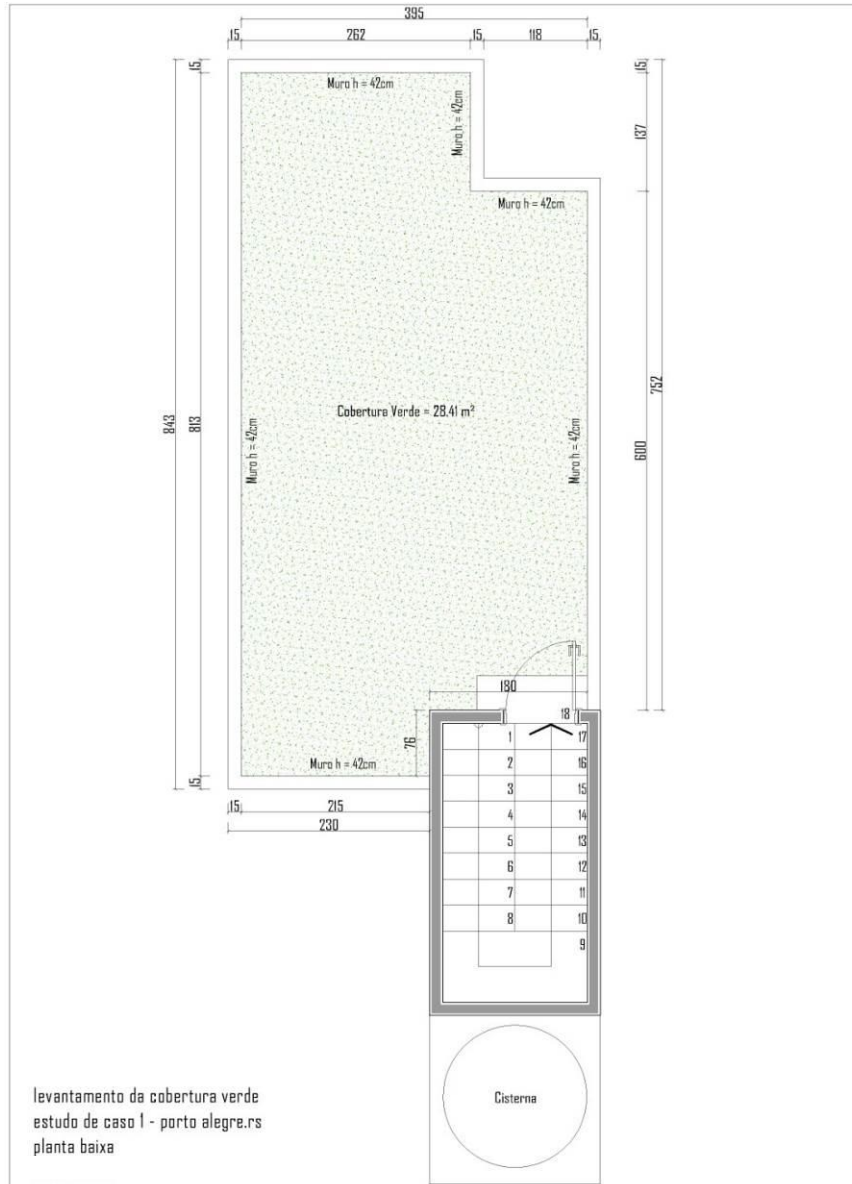


Figura 18 – Levantamento do estudo de caso 01 - Porto Alegre/RS

Logo após as medições e a verificação das metragens (área da cobertura = 28,41m<sup>2</sup>), foi realizado o levantamento fotográfico da cobertura para registro, apresentado nas figuras 19, 20 e 21, podendo de antemão verificar a qualidade de vida dada a esta cobertura pelo uso do espaço pelo animal de estimação da família.



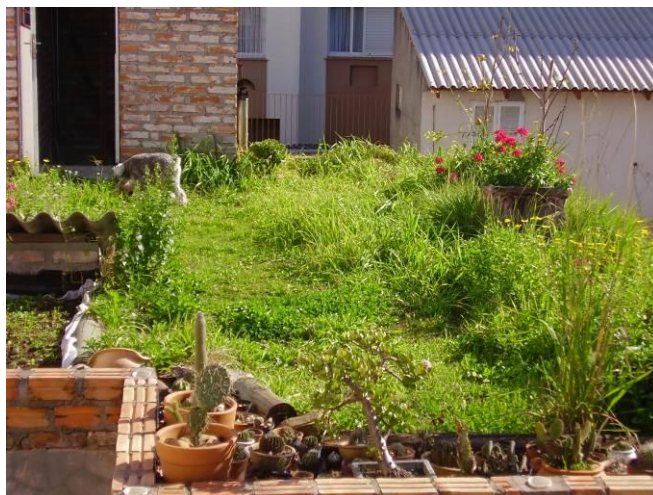


Figura 19 – Levantamento fotográfico da cobertura verde – Estudo de Caso 1 – Porto Alegre – RS



Figura 20 – Levantamento fotográfico da cobertura verde – Estudo de Caso 1 – Porto Alegre – RS



Figura 21 – Levantamento fotográfico da cobertura verde – Estudo de Caso 1 – Porto Alegre – RS

Verificado o sistema construtivo da cobertura verde em análise por meio da entrevista semiestruturada, se constataram as seguintes camadas como demonstra a figura 22:

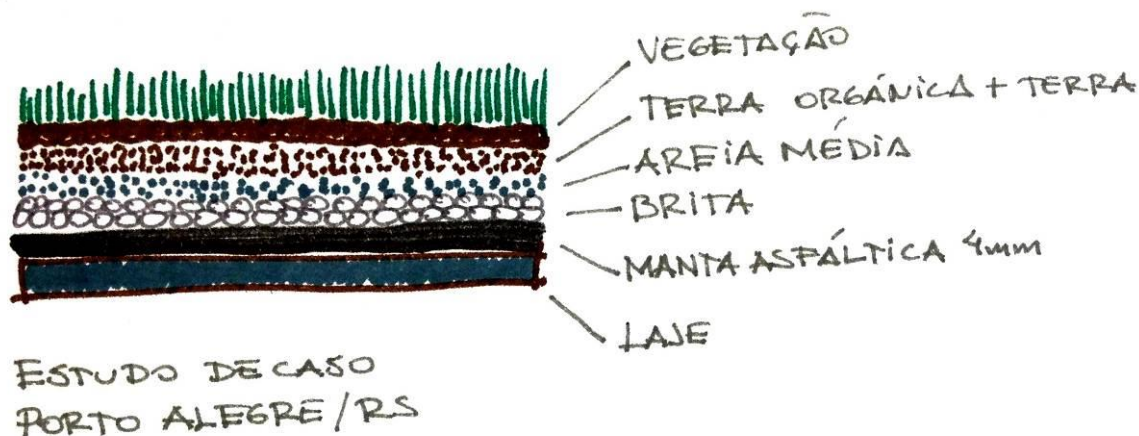


Figura 22 – Croqui demonstra o esquema das camadas constituintes na cobertura verde do Estudo de Caso 01 – Porto Alegre/RS

A estrutura da laje maciça, não é considerada nos cálculos, uma vez que está presente em todos os estudos de caso desta pesquisa. A camada de impermeabilização neste caso foi realizada com manta asfáltica de 4mm de espessura, adquirida em loja comercial localizada a 21,9km de distância da obra. O produto foi transportado pelo caminhão da loja.

Na camada drenante, foram utilizados dois substratos, brita e areia, os quais foram adquiridos na ferragem perto da obra, localizada à 0,24km de distância, e foram transportados mediante carrinho de mão pelo proprietário. Neste caso foi realizada a pesquisa mediante contato telefônico com a loja, para obtenção da informação da procedência da brita e areia, para cálculo do transporte destes produtos desde a extração até o ponto de venda.

Nesta cobertura, a camada do substrato apresenta-se composta por terra orgânica, localizada na própria residência (obra) e terra adquirida em loja de jardinagem, localizada a 10,9km de distância da obra.

Finalmente as leivas de grama, aplicadas conforme a conveniência do proprietário, sendo que 60% foi adquirida em loja de jardinagem localizada a 10,9km de distância do local de implementação, e os restantes 40% da grama foram extraídas dos morros de Porto Alegre e transportados no carro do proprietário diretamente do local de extração até a obra.

Obtidos os dados dos materiais constituintes da cobertura, foram realizados os cálculos dos trajetos percorridos pelo transporte dos materiais. Após, foi contatada cada loja ou comércio por meio de ligações telefônicas no mês de janeiro e fevereiro de 2013, com o intuito de averiguar onde foram adquiridos os produtos, o local de fabricação ou extração da matéria prima, para determinar o local apresentado nessa pesquisa como município produtor.

Desta forma, completou-se a Tabela 14 e 15, onde se expõe as distâncias em quilômetros, calculados pelo trajeto percorrido dos materiais, do município produtor até o local de venda e o cálculo da emissão de CO<sub>2</sub> considerado pelo transporte realizado.

O cálculo aproximado das distâncias percorridas pelos transportes dos materiais implementados na construção da cobertura verde de Porto Alegre/RS, desde o local de produção até o ponto de venda, e do ponto de venda até a obra, foram desconsideradas as eventuais paradas ou desvios dos transportes para outras cidades no trajeto, já que, a logística rodoviária no Brasil pode diversificar a carga constituinte em um caminhão, com o intuito de viabilizar a eficiência do transporte de cargas pesadas no modal rodoviário.

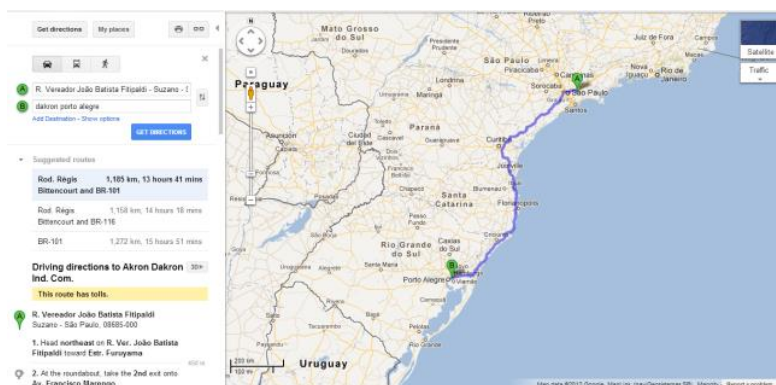


Figura 23 – Cálculo da distância do transporte da manta asfáltica do município produtor até o local de venda. (Fonte: Google Maps)



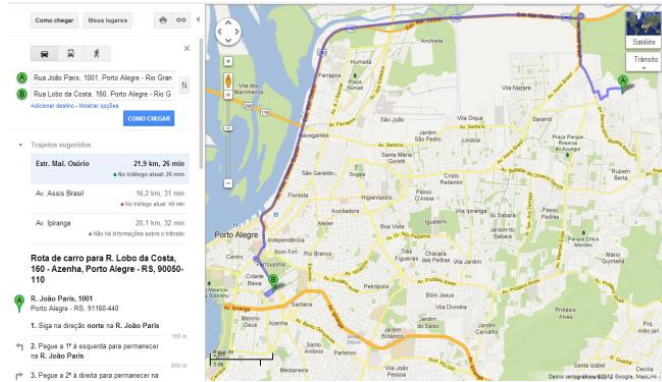


Figura 24 – Cálculo da distância do transporte da manta asfáltica do ponto de venda até a obra.  
(Fonte: *Google Maps*)

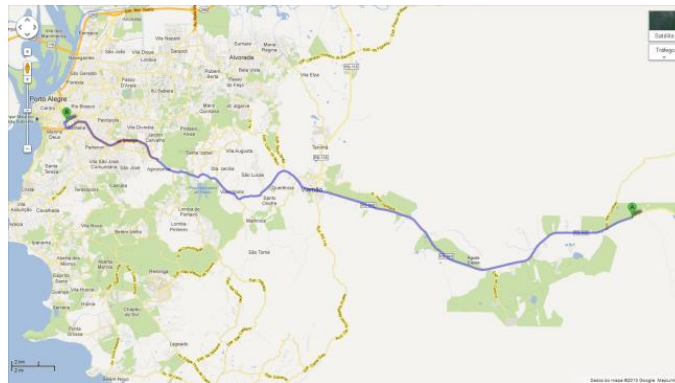


Figura 25 – Cálculo da distância do transporte da areia e brita da extração até o ponto de venda.  
(Fonte: *Google Maps*)

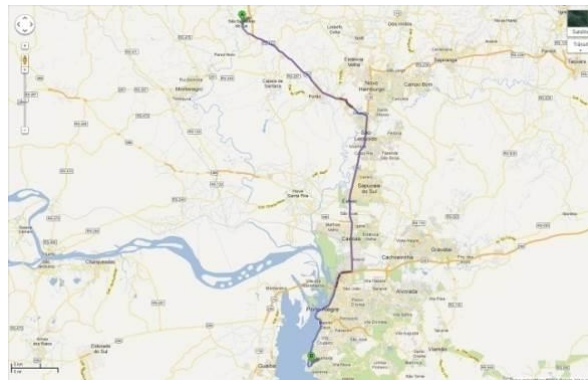


Figura 26 – Cálculo da distância do transporte da terra proveniente de São Sebastião do Cai/RS até a loja de venda. (Fonte: *Google Maps*)

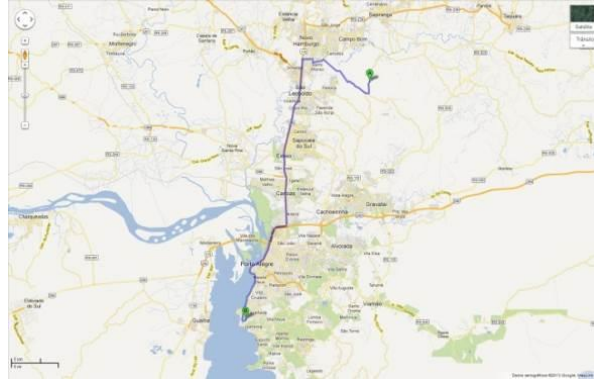


Figura 27 – Cálculo da distância do transporte da grama desde a extração até a loja de venda. (Fonte: Google Maps)

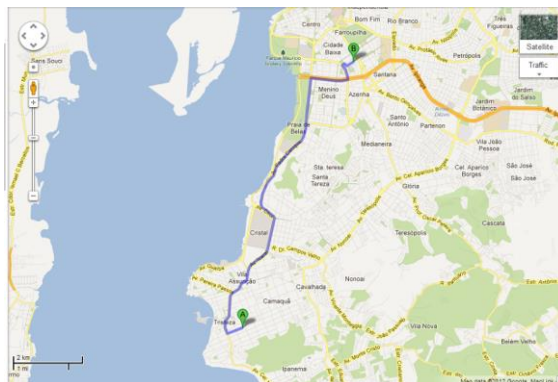


Figura 28 – Cálculo da distância do transporte da terra e de 60% da grama, desde a loja de venda até a obra, meio de transporte carro, foram realizadas duas viagens. (Fonte: Google Maps)



Figura 29 – Cálculo da distância do transporte dos 40% da grama desde a extração até a obra, meio de transporte carro. (Fonte: Google Maps)

Calculadas as distâncias dos deslocamentos dos materiais, realizou-se a pesquisa para obtenção dos dados referentes à emissão de CO<sub>2</sub> gerado pelos transportes. Não foi considerado o fator de conversão peso/volume de mercadoria transportada por emissão de CO<sub>2</sub>, pois um caminhão pode transportar diversas mercadorias de acordo com a necessidade da logística no país/região. Desta forma,

um procedimento de pesquisa muito complexo seria necessário para determinação destes valores exatos, o que não poderia ser considerado no tempo hábil deste trabalho.



Tabela 14 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.

Emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Camadas da Cobertura Verde	Material Utilizado	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Impermeabilização	Manta Asfáltica 4mm	Suzano/SP	Transporte rodoviário	1.185,00	1.060,58	Porto Alegre/RS	Carro	21,90	2,32	1.062,90
Drenante	Brita	Viamão/RS	Transporte rodoviário	52,00	46,54	Porto Alegre/RS	Carrinho de Mão	0,24	0,00	46,54
	Areia Média	Viamão/RS	Transporte rodoviário	52,00	46,54	Porto Alegre/RS	Carrinho de Mão	0,24	0,00	46,54
Substrato	Terra orgânica	Porto Alegre/RS	No próprio local	0,00	0,00	No próprio local	A mão	0,00	0,00	0,00
	Terra	São Sebastião do Cai/RS	Transporte rodoviário	77,20	69,09	Porto Alegre/RS	Carro	10,90	1,16	70,25
Vegetação	Leiva de Grama (60%)	Novo Hamburgo/RS	Transporte rodoviário	68,00	60,86	Porto Alegre/RS	Carro	10,90	1,16	62,02
	Leiva de Grama (40%)	Porto Alegre/RS	No próprio local	0,00	0,00	Porto Alegre/RS	Carro	13,40	1,42	1,42
<b>Subtotal</b>					<b>1.283,61</b>				<b>57,58</b>	<b>1.289,66</b>

Tabela 15 – Cálculo do conteúdo energético no transporte dos materiais da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

Conetúdo energético do transporte dos materiais								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Manta Asfáltica 4mm	127,84	1.185,00	0,00517	783,205	21,90	0,00515	14,418	797,62
Brita	397,74	52,00	0,00517	106,928	0,24	0	0,000	106,93
Areia Média	835,25	52,00	0,00517	224,549	0,24	0	0,000	224,55
Terra orgânica	120,00	0,00	0	0,000	0,00	0	0,000	0,00
Terra	105,00	77,20	0,00517	41,908	10,90	0,00515	5,894	47,80
Leiva de Grama (60%)	1.523,70	68,00	0,00517	535,672	10,90	0,00515	85,533	621,20
Leiva de Grama (40%)	1.033,20	0,00	0	0,000	13,40	0,00515	71,301	71,30
<b>Subtotal</b>	<b>4.142,73</b>			<b>1.692,262</b>			<b>177,147</b>	<b>1.869,41</b>

Na tabela 14, pode-se verificar os valores relativos à geração de CO<sub>2</sub> pelo transporte dos materiais em cada trecho. O transporte da manta asfáltica no primeiro trecho, desde o município produtor até o ponto de venda, repercutirá no somatório final dos resultados a serem analisados, já que, em simples observação representa ser o produto com mais distância percorrida.

A grama representa um alto índice no cálculo do conteúdo energético (Tabela 15), isto se deve a quantidade de produto transportado, já que este se localiza a menos de 100 quilômetros da obra, quase alcança o consumo energético calculado pelo transporte da manta, a qual tem um peso 11,9 vezes menor que a grama.

Realizada a primeira etapa do processo, onde se contabilizou o deslocamento dos materiais, foi preciso identificar qualitativamente o conteúdo energético no processo de fabricação dos materiais utilizados e, de acordo com fontes como Tavares (2006) e THEIS (1996), foi elaborada a Tabela 16, que demonstra a quantidade de emissão de CO<sub>2</sub> gerada pelos materiais utilizados na cobertura verde e o conteúdo energético destes.

No presente trabalho, não foram levados em consideração o conteúdo energético do substrato e da vegetação já que não representam um índice elevado uma vez que grande parte do mesmo foi adquirido no próprio local.

Tabela 16 – Cálculo do conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais da cobertura verde do estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> dos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Camada da cobertura verde	Material utilizado	Quantidade de material utilizado	Densidade do material (kg/m <sup>3</sup> )	Total de material (kg)	Conteúdo energético do material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Impermeabilização	Manta Asfáltica 4mm	28,41 m <sup>2</sup>	1.125,00	127,84	51,00	6.519,84	<b>342,62</b>
Drenante	Brita	0,28 m <sup>3</sup>	1.400,00	397,74	0,15	59,66	<b>4,21</b>
	Areia Média	0,57m <sup>3</sup>	1.470,00	835,25	0,05	41,76	<b>3,31</b>
Substrato	Terra orgânica	0,075m <sup>3</sup>	1.600,00	120,00	0,00	0,00	0,00
	Terra	0,075m <sup>3</sup>	1.400,00	105,00	0,00	0,00	0,00
Vegetação	Leiva de Grama (60%)	16,93m <sup>2</sup>	1.500,00	1.523,70	0,00	0,00	0,00
	Leiva de Grama (40%)	11,48m <sup>2</sup>	1.500,00	1.033,20	0,00	0,00	0,00
<b>Subtotal</b>	-	-	-	4.142,73	-	6.621,26	350,14

Tabela 17 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a cobertura verde para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	OUTRA SEC. PETROLEO	TOTAL
	CO2 (KG/MJ)		0,0181	0,0798	0,0506	0,0726	
IMPERMEABILIZANTE	PERCENTUAL		26	10	30	34	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>6.519,84</b>	1.695,16	651,98	1.955,95	2.216,75	<b>6.519,84</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>342,62</b>	30,68	52,03	98,97	160,94	<b>342,62</b>
BRITA	PERCENTUAL		15	85	0	0	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>59,66</b>	8,95	50,71	0,00	0,04	<b>59,70</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>4,21</b>	0,16	4,05	0,00	0,00	<b>4,21</b>
AREIA	PERCENTUAL		1,00	99,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>41,76</b>	0,42	41,34	0,00	0,00	<b>41,76</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>3,31</b>	0,01	3,30	0,00	0,00	<b>3,31</b>

Finalizando, foi elaborada a Tabela 18 para o transporte dos operários para a implementação da cobertura. Os proprietários que se encontravam no local disponibilizaram seu tempo para a construção da cobertura e um único funcionário terceirizado fez o trabalho de aplicação da camada impermeabilizante, contabilizando 01 (um) dia de trabalho. O funcionário foi e voltou de sua casa até a obra, percorrendo a distância de 15km em seu próprio automóvel.

Tabela 18 – Cálculo do conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte Utilizado (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Proprietário	2 (70 Kg cada)	-	3	-	-	-
Pedreiro	2 (70 Kg cada)	15	1	Carro	10,815	1,59
<b>Subtotal</b>					<b>10,815</b>	<b>1,59</b>

Tabela 19 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> e de conteúdo energético da cobertura verde para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS.

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS TRABALHADORES	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)	1.289,66	350,14	1,59	<b>1.641,39</b>
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	1.869,41	6.621,26	10,82	<b>8.501,49</b>

Na tabela 19, são apresentados os totais das emissões de CO<sub>2</sub> e do consumo energético de todas as fases pré-operacionais, sejam, transporte dos materiais, fabricação dos produtos e transporte dos operários. Observa-se que o maior valor do conteúdo energético refere-se à produção dos materiais, fator devendo-se ao produto da camada impermeabilizante, já que, neste caso, utilizou-se um produto derivado do petróleo o qual possui um alto índice de consumo energético em sua produção.

## 6.2 Estudo de caso 02 – Cobertura verde em Santa Maria/RS

O estudo de caso 02 localiza-se no Brasil, na cidade de Santa Maria, RS, no bairro Campestre do Menino Deus, a tipologia arquitetônica do entorno é formada por residências unifamiliares em zona suburbana apresentando uma tipologia arquitetônica própria de sítios. A figura 30 apresenta a gleba da região onde se localiza a residência, lembrando que por questões de anonimato não será possível identificar o endereço.



Figura 30 – Localização da cobertura verde do estudo de caso 02 – Santa Maria/RS (Fonte: *Google Maps*).

Com o auxílio do *software* AutoCAD foi elaborado o desenho técnico da planta de cobertura, para assim obter o cálculo exato das respectivas áreas de estudo, apresentado na figura 31.

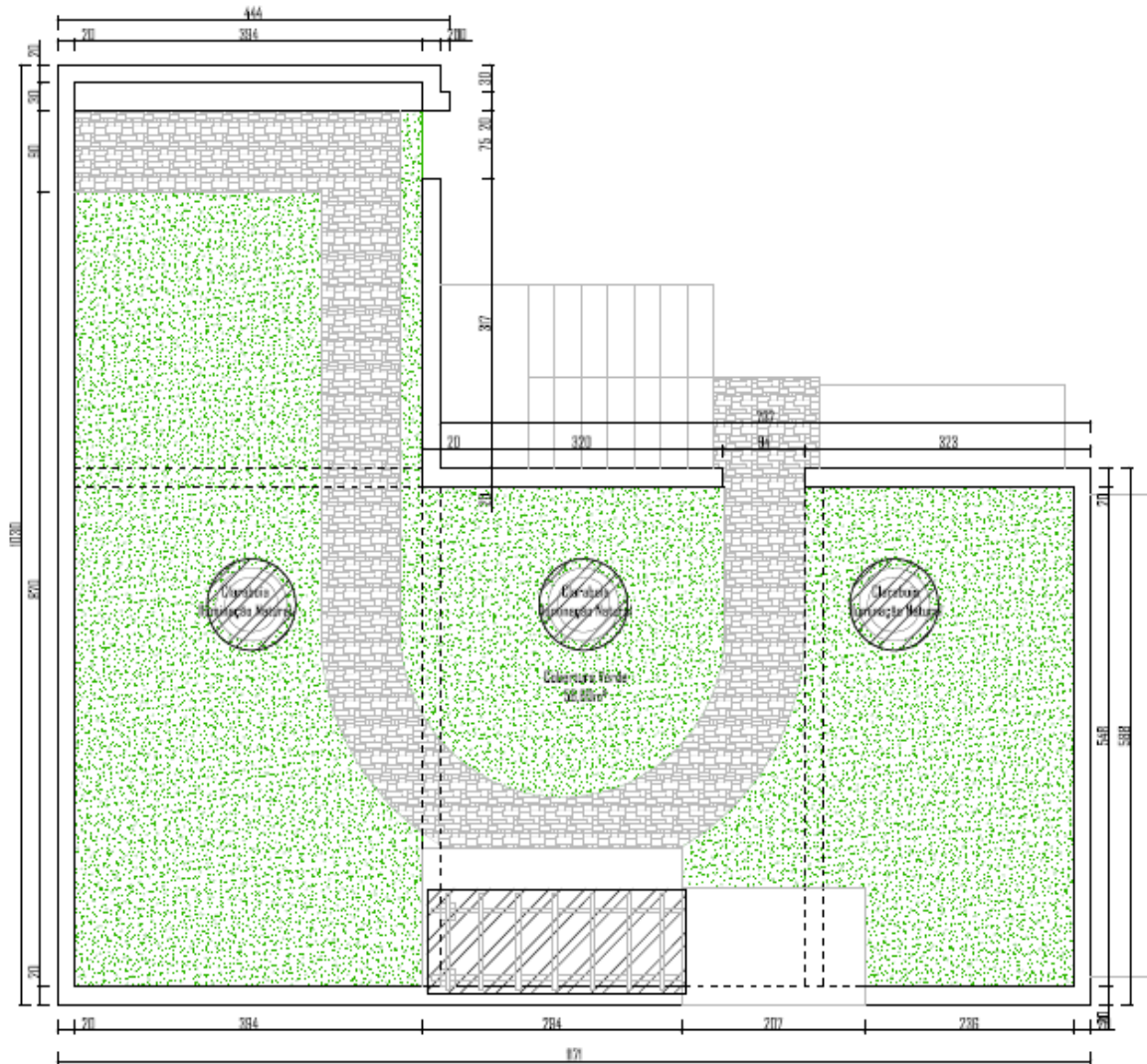


Figura 31 – Levantamento de cobertura verde do estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

O levantamento métrico realizado no estudo de caso de Santa Maria resultou em uma área de 56,60m<sup>2</sup> de cobertura verde. Após as medições e a verificação das metragens, foi realizado o levantamento fotográfico da cobertura para registro, apresentado nas figuras 32, 33 e 34, podendo de antemão verificar a interação com a natureza dada a esta cobertura pelo uso do espaço pelo animal de estimação da família bem como pelas outras formas de utilização da coberta, área de deck e



mesas de vidro, que também são claraboias para iluminação natural do interior da edificação.



Figura 32 – Levantamento fotográfico da cobertura verde de Santa Maria/RS



Figura 33 – Levantamento fotográfico da cobertura verde de Santa Maria/RS



Figura 34 – Levantamento fotográfico da cobertura verde de Santa Maria/RS

As informações relativas às camadas representadas no croqui da figura 35 compostas por esta tecnologia e ao cálculo da quantidade de materiais que as compõem foram obtidas por observação direta e pelos relatos dos proprietários que implementaram a tecnologia mediante a entrevista semiestruturada.

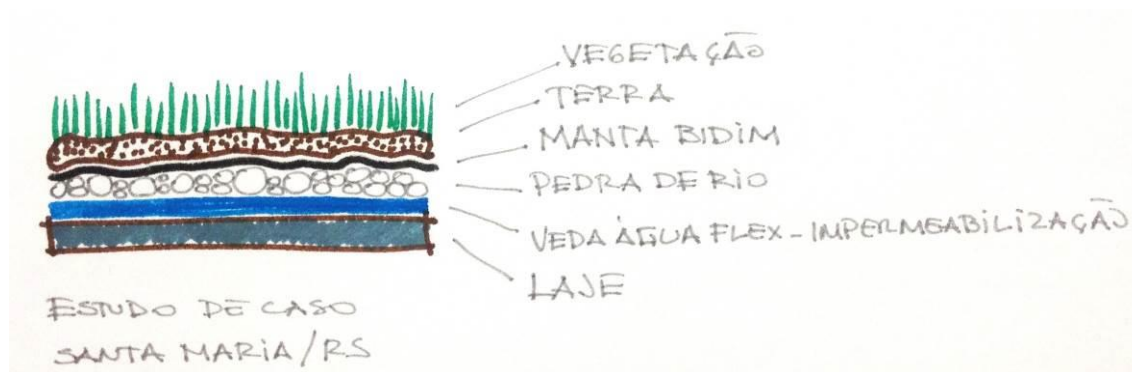


Figura 35 – Croqui demonstra o esquema das camadas constituintes na cobertura verde do Estudo de Caso 02 – Santa Maria/RS

Os dados apresentados na tabela 15 especificam os componentes que fazem parte da cobertura deste estudo: impermeabilização (produto à base de poliéster sintético); camada drenante (pedra de rio, disponível no próprio local); manta bidim (produto a base de plástico PET), substrato (disponível no próprio local); e vegetação (disponível no próprio local).

Após o levantamento das camadas e das informações relacionadas aos produtos industrializados utilizados nesta cobertura, foi realizada a pesquisa do tipo de produto e respectiva marca adquirida, bem como o local onde foram adquiridos e o meio de transporte utilizado para o seus deslocamentos.

Para determinar a distância percorrida pelo produto, desde sua fabricação até o local de venda e, posteriormente, do local de venda até a obra, usou-se a ferramenta *Google Maps*, onde se calculou a distância percorrida pelo transporte rodoviário.

A seguir nas figuras 36, 37, 38 e 39, demonstram-se as distâncias percorridas pelos transportes dos materiais utilizados na cobertura verde do estudo de caso 02, cabe lembrar que ilegibilidade do endereço é para preservar o anonimato dos proprietários da edificação do estudo e caso.

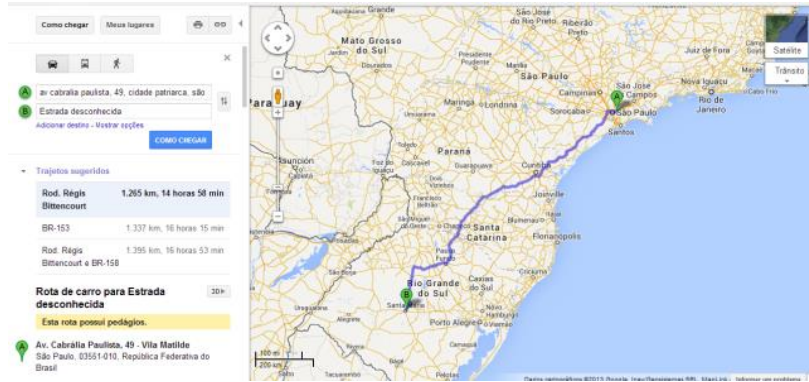


Figura 36 – Cálculo da distância do produto impermeabilizante para o estudo de caso de Santa Maria/RS (Fonte: Google Maps)

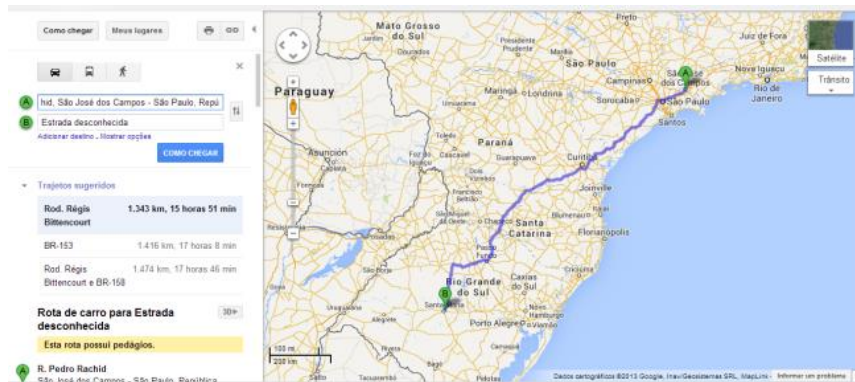


Figura 37 – Cálculo da distância da manta bidim até o local de venda em Santa Maria/RS (Fonte: Google Maps)

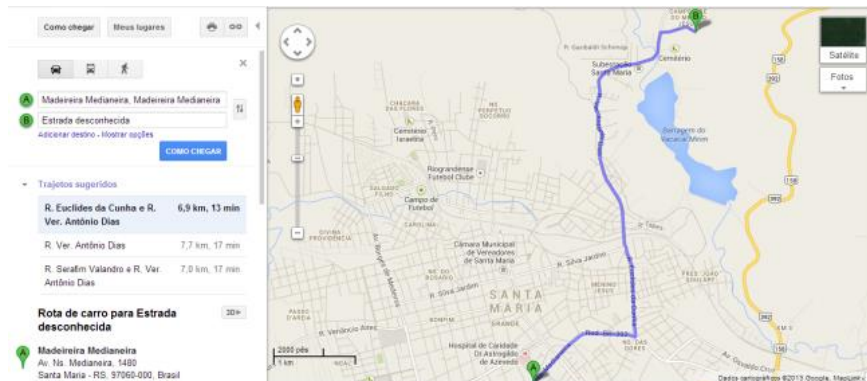


Figura 38 – Cálculo da distância do ponto de venda dos produtos impermeabilizantes e manta bidim até a obra, Santa Maria/RS (Fonte: Google Maps)

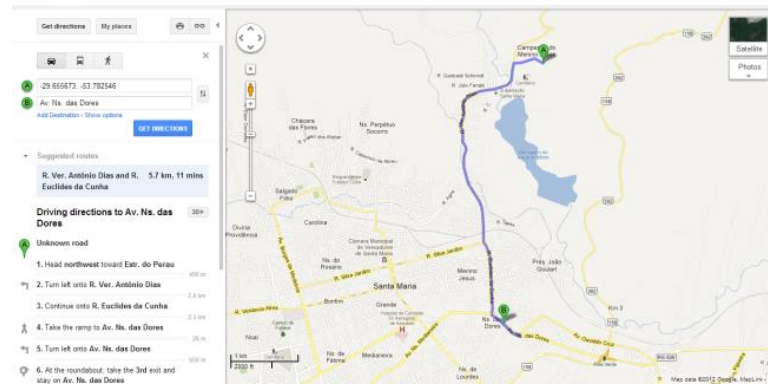


Figura 39 – Cálculo da distância da residência do trabalhador até a obra, Santa Maria/RS (Fonte: *Google Maps*)

A seguir, nas tabelas 20 e 21, são indicados os cálculos realizados para as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético pelo transporte dos materiais.



Tabela 20 – Emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais do estudo de caso de Santa Maria/RS

Emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Camadas da Cobertura Verde	Material Utilizado	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Impermeabilização	Veda Água Flex	São Paulo/SP	Transporte Rodoviário	1.265,00	1.132,18	Santa Maria/RS	Carro	6,90	0,73	1.132,91
Drenante	Pedra de Rio	Santa Maria/RS	No próprio local	0,00	0,00	No próprio local	-	0,00	0,00	0,00
	Manta Bidim RT	São José dos Campos/SP	Transporte Rodoviário	1.431,00	1.280,75	Santa Maria/RS	Carro	6,90	0,73	1.281,48
Substrato	Terra	Santa Maria/RS	No próprio local	0,00	0,00	No próprio local	-	0,00	0,00	0,00
Vegetação	Gramma	Santa Maria/RS	No próprio local	0,00	0,00	No próprio local	-	0,00	0,00	0,00
<b>Subtotal</b>					<b>2.412,92</b>				<b>1,46</b>	<b>2.414,38</b>

Na tabela 20, apresenta-se detalhadamente cada material utilizado para a implementação da cobertura verde de Santa Maria, bem como a representação de cada município produtor dos materiais e as distâncias percorridas em cada trecho pelos produtos. Neste caso a impermeabilização realizada com o produto Veda Água Flex e a Manta bidim, representaram o alto valor no somatório das emissões de CO<sub>2</sub>.

Nos dias de hoje, já existe na cidade de Santa Maria uma indústria de tintas, com produtos de impermeabilização do tipo tinta, o qual, se escolhido na oportunidade adequada para utilização nesta cobertura, já que o material selecionado foi do tipo tinta e não manta asfáltica, poderá contribuir para a diminuição dos valores pesquisados, já que a distância percorrida pelo produto ficaria relativamente baixa. Outros sistemas de impermeabilização que vem se demonstrando muito eficientes para estes casos são as chamadas impermeabilizações com fibra de vidro.

Na tabela 21, estão demonstrados os conteúdos energéticos pelo transporte dos materiais quais sejam para todas as camadas que compõe a cobertura verde de Santa Maria. Deste modo pode se determinar que o valor apresentando no somatório foi baixo devido a que a maioria dos materiais que compõem o sistema não precisaram ser transportados, já que os mesmos localizavam-se no próprio local, do mesmo modo os índices apresentados em gastos energéticos pelo transporte do impermeabilizante e pela manta bidim, foram relativamente baixos em virtude do peso bruto do material.

Logo, a tabela 22 apresenta os dados obtidos dos processos de fabricação dos matérias, sendo, as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético. Pode-se verificar que a camada de impermeabilização, tinta veda água flex, representou ser o material mais emissor de CO<sub>2</sub> e por consequência o material que consumiu mais recursos de energia.

Já, na tabela 23, adaptada de Tavares, verificasse as informações obtidas para o preenchimento dos dados da tabela 22, onde as fontes necessárias para a produção da manta asfáltica representou o maior índice de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 21 – Conteúdo energético do transporte dos materiais do estudo de caso de Santa Maria/RS

<b>Conetúdo energético do transporte dos materiais</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Veda Água Flex	58,86	1.265,00	0,00517	384,97	6,9	0,00515	2,09	387,07
Pedra de Rio	2300,00	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0,00
Manta Bidim RT	6,79	1.431,00	0,00517	50,23	6,9	0,00515	0,24	50,48
Terra	4760,00	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0,00
Grama	5114,44	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0,00
				<b>435,21</b>			<b>2,33</b>	<b>437,54</b>

Tabela 22 – Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> dos materiais para o estudo de caso de Santa Maria/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> dos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Camadas da Cobertura Verde	Material Utilizado	Quantidade de material utilizado	Densidade do material (kg/m <sup>3</sup> )	Total de material (kg)	Conteúdo energético do material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Impermeabilização	Veda Água Flex	45,28 litros	1.3 (kg/litro)	58,86	65,00	3.826,16	201,06
Drenante	Pedra de Rio	2,3 m <sup>3</sup>	1.000,00	2.300,00	0,00	0,00	0,00
	Manta Bidim	56,6 m <sup>2</sup>	0,12	6,79	51,00	346,29	25,50
Substrato	Terra	3,40 m <sup>3</sup>	1.400,00	4.760,00	0,00	0,00	0,00
Vegetação	Leiva de Grama (50%)	28,3 m <sup>2</sup>	1.500,00	2.557,22	0,00	0,00	0,00
	Leiva de Grama (50%)	28,3 m <sup>2</sup>	1.500,00	2.557,22	0,00	0,00	0,00
<b>Subtotal</b>	-	-	-	-	-	<b>4.172,45</b>	<b>226,56</b>



Tabela 23 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a cobertura verde do caso estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	OUTRA SEC. PETROLEO	TOTAL
	CO2 (KG/MJ)		0,02	0,08	0,05	0,07	
IMPERMEABILIZANTE	PERCENTUAL		26,00	10,00	30,00	34,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>3.826,16</b>	994,80	382,62	1.147,85	1.300,89	<b>3.826,16</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>201,06</b>	18,01	30,53	58,08	94,44	<b>201,06</b>
MANTA BIDIM	PERCENTUAL		10,00	90,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>346,29</b>	34,63	311,66	0,00	0,00	<b>346,29</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>25,50</b>	0,63	24,87	0,00	0,00	<b>25,50</b>

Após os dados de emissão de CO<sub>2</sub> pelo transporte dos materiais e pelos processos de fabricação dos produtos, a tabela 24 demonstra as distâncias percorridas pelos trabalhadores, considerando os amigos que ajudaram na implementação e transporte das pedras de rio para a cobertura. O total percorrido da residência do trabalhador até a obra foi de 5,7km, considerando a ida e o retorno e o somatório resultou em 11,4km rodados em carro próprio.

Tabela 24 – Cálculo do conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos
Proprietário	4 (70 Kg cada)	-	3	-	-	-
Pedreiro	4 (70 Kg cada)	11,4	1	Carro	8,2194	1,2084
<b>Subtotal</b>					<b>8,2194</b>	<b>1,2084</b>

Pode-se determinar, para o estudo de caso 02 (cobertura verde implementada na cidade de Santa Maria/RS), os somatórios de emissões de CO<sub>2</sub> bem como o conteúdo energético do transportes dos materiais, processos de fabricação dos produtos e transporte dos operários. Os resultados são apresentados na tabela 25. O transporte dos materiais é o mais representativo para emissões de CO<sub>2</sub> e a produção dos materiais o mais representativo para o conteúdo energético.

Tabela 25 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> da cobertura verde para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS TRABALHADORES	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)	2.414,38	226,56	1,21	<b>2.642,15</b>
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	437,54	4.172,45	8,22	<b>4.618,21</b>

### 6.3 Estudo hipotético das coberturas com telhas cerâmicas e fibrocimento para o estudo de caso comparativo – Porto Alegre/RS

As figuras 40, 41, 42, 43 e 44 apresentam as distâncias percorridas pelos materiais que compõem as coberturas hipotéticas de telhas cerâmicas e de fibrocimento, sendo importantes para os cálculos das emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético pelos transportes dos materiais.

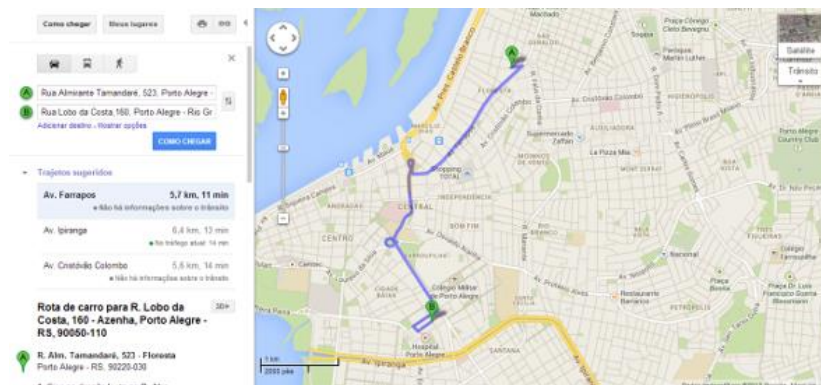


Figura 40 – Cálculo da distância da fábrica de pregos até o ponto de venda – Porto Alegre (Fonte: Google Maps)

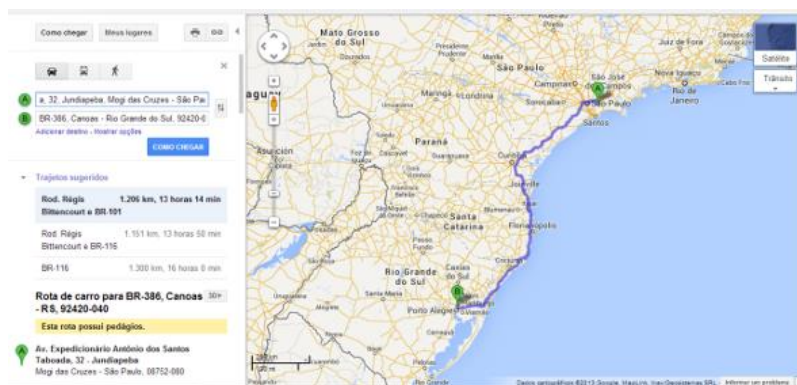


Figura 41 – Cálculo da distância da indústria de madeiras de peroba até o ponto de venda – Porto Alegre (Fonte: Google Maps)

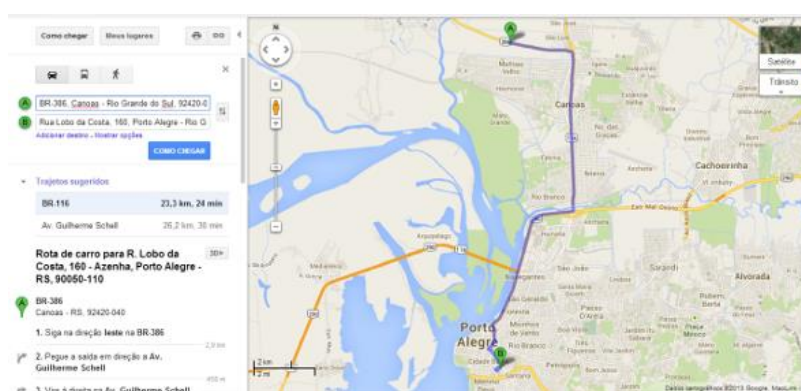


Figura 42 – Cálculo da distância do ponto de venda da madeira até a obra – Porto Alegre (Fonte: Google Maps)

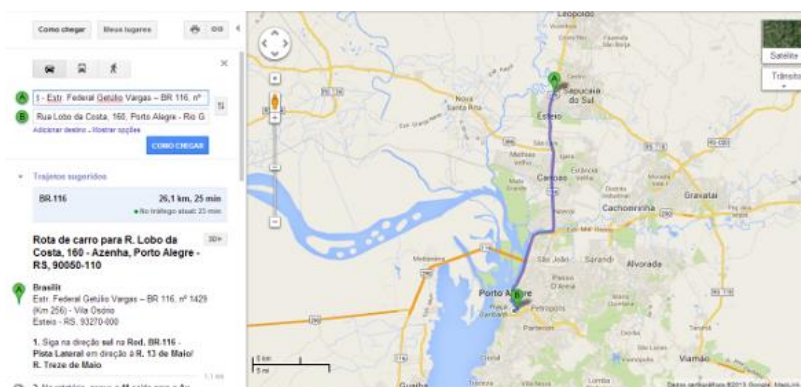


Figura 43 – Cálculo da distância da indústria de fibrocimento até o ponto de venda – Porto Alegre (Fonte: Google Maps)

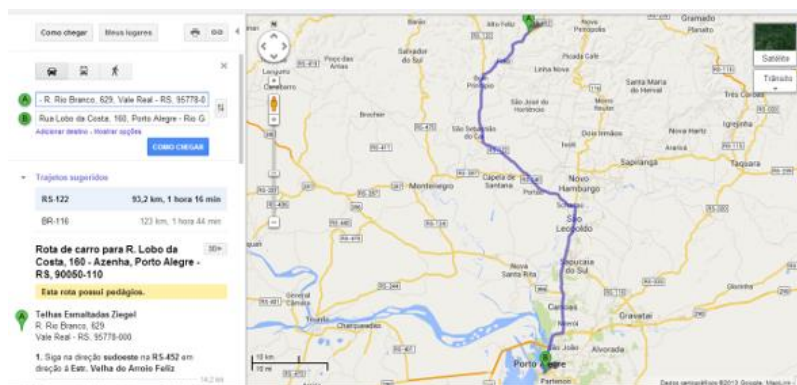


Figura 44 – Cálculo da distância da indústria de telhas cerâmicas até o ponto de venda – Porto Alegre (Fonte: Google Maps)

Após de realizado os cálculos das distâncias, procedeu-se ao preenchimento das tabelas 26 e 27.

Tabela 26 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais</b>									
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Estrutura da cobertura (28,41m <sup>2</sup> )	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Aço - (Prego tipo 18x27)	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	5,70	5,10	Porto Alegre/RS	A pé	0,24	0,00	5,10
Madeiramento (peroba)	Mogi das Cruzes/SP	Transporte Rodoviário	1.206,00	1.079,37	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	23,30	20,85	1.100,22
Isolamento térmico (lã mineral)	Descalvado/SP	Transporte Rodoviário	1.305,00	1.167,98	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	23,30	20,85	1.188,83
Telha Cerâmica Vermelha	Vale Real/RS	Transporte Rodoviário	93,20	83,41	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	0,24	0,21	83,63
<b>Subtotal</b>				<b>2.335,86</b>				<b>41,92</b>	<b>2.377,78</b>

Pode-se observar, na tabela 26, a influência do transporte rodoviário dos materiais que não se encontram disponíveis na região, o que eleva consideravelmente o valor da emissão de CO<sub>2</sub>. Neste caso, para a cobertura com telhas cerâmicas os principais produtos extraídos com maior transporte desde seu município produtor até o ponto de venda são: a madeira de peroba, já que esta precisa ser extraída de uma área de reflorestamento com licenciamento ambiental e a lã mineral.

Tabela 27 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Conetúdo energético do transporte dos materiais</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Aço - (Prego tipo 18x27)	2,27	5,70	0,00517	0,07	0,24	0,00515	0,00281	0,07
Madeiramento (peroba)	204,55	1.206,00	0,00517	1.275,37	23,3	0,00515	24,54498	1.299,92
Isolamento térmico (lã mineral)	156,25	1.305,00	0,00517	1.054,20	23,3	0,00515	18,74922	1.072,94
Telha Cerâmica Vermelha	1.137,50	93,20	0,00517	548,10	0,24	0,00515	1,40595	549,50
<b>Subtotal</b>	1.500,57							2.922,44



O conteúdo energético também está relacionado diretamente a distância percorrida pelo produto, bem como, o meio de transporte utilizado, já que a fonte de energia para este transporte e o fator decisivo para os valores apresentados na tabela 27.

O transporte da madeira ultrapassa os outros materiais, porém, este fator se deve mais pela distância percorrida pela madeira vezes o peso bruto do produto, já que, a telha cerâmica, mesmo estando a uma distância relativamente perto, quase alcança a metade do valor total, isto se deve ao peso do produto transportado, sendo que a telha cerâmica, representou ser 5,5 vezes mais pesada (peso bruto de produto) que a madeira.

Tabela 28 – Cálculo do conteúdo energético e a emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais pelo seu processo de fabricação para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Estrutura da cobertura (28,41m <sup>2</sup> )	Material utilizado	Quantidade de material utilizado	Densidade do material	Total de material (kg)	Conteúdo Energético no Material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de Carbono do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Aço - (Prego tipo 18x27)	0,08 kg/m <sup>2</sup>	2,27 kg	7850 kg/m <sup>3</sup>	2,27	30,00	68,10	5,10
Madeiramento (peroba)	7,20 kg/m <sup>2</sup>	204,55 kg	600 kg/m <sup>3</sup>	204,55	0,50	102,28	7,09
Isolamento térmico (lã mineral - 50mm)	5,49 kg/m <sup>2</sup>	156,25kg	110 kg/m <sup>3</sup>	156,25	19,00	2.968,75	143,12
Telha Cerâmica Vermelha	16 telha/m <sup>2</sup>	455 telha	2,5kg/telha	1.137,50	5,40	6.142,50	481,17
<b>Subtotal</b>						<b>9.281,63</b>	<b>636,49</b>

O conteúdo energético dos materiais e a emissão de CO<sub>2</sub> da fabricação das coberturas com telhas cerâmicas representaram valores importantes para a telha, já que a quantidade de material utilizado em quilogramas é alta. O valor elevado do consumo energético da telha cerâmica pode se observar mais detalhadamente na tabela 29, onde o consumo de lenha representa o maior índice de consumo por fonte de energia para a produção deste produto.

Na tabela 30, apresenta-se a distância de deslocamento dos trabalhadores para a realização do trabalho de cobrimento da cobertura com telhas cerâmicas, sendo que o valor representativo está diretamente relacionado com os dias de trabalho, já que o processo de montagem desta é mais demorado e exige maior tempo de trabalho.

Logo, na tabela 31, expõem-se os totais das emissões e conteúdo energético da cobertura hipotética de telha cerâmica para o estudo de caso de Porto Alegre, de todas as fases pré-operacionais: transporte dos materiais, processos de fabricação e transporte dos operários.

Tabela 29 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO DÍSEL E COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE CARVÃO MINERAL	LENHA	CARVÃO MINERAL	CARVÃO VEGETAL	OUTRAS	TOTAL
	CO2 (KG/MJ)		0,0181	0,0798	0,0506	0,0633	0,0915	0,0816	0,0915	0,051	0,0357	
AÇO	PERCENTUAL		10,00	1,00	6,00	0,00	71,00	0,00	0,00	0,00	12,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>68,10</b>	6,81	0,68	4,09	0,00	48,35	0,00	0,00	0,00	8,17	<b>68,10</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>5,10</b>	0,12	0,05	0,21	0,00	4,42	0,00	0,00	0,00	0,29	<b>5,10</b>
MADEIRA	PERCENTUAL		17,00	83,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>102,28</b>	17,39	84,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>102,28</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>7,09</b>	0,31	6,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>7,09</b>
LÃ MINERAL	PERCENTUAL		20,00	8,00	11,00	0,00	10,00	0,00	7,00	9,00	35,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>2.968,75</b>	593,75	237,50	326,56	0,00	296,88	0,00	207,81	267,19	1.039,06	<b>2.968,75</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>143,12</b>	10,75	18,95	16,52	0,00	27,16	0,00	19,01	13,63	37,09	<b>143,12</b>
TELHA CERÂMICA	PERCENTUAL		2,00	4,00	0,00	8,00	0,00	85,00	0,00	0,00	1,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>6.142,50</b>	122,85	245,70	0,00	491,40	0,00	5.221,13	0,00	0,00	61,43	<b>6.142,50</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>481,17</b>	2,22	19,61	0,00	31,11	0,00	426,04	0,00	0,00	2,19	<b>481,17</b>

Tabela 30 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01, considerando que os trabalhadores residam perto um do outro e utilizem o mesmo meio de transporte até a obra – Porto Alegre/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte Utilizado (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Carpinteiro	2 (70 Kg cada)	15	3	Carro	32,445	4,77
<b>Subtotal</b>					<b>32,445</b>	<b>4,77</b>

Tabela 31 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> da simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS TRABALHADORES	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)	2.377,78	636,49	4,77	<b>3.019,04</b>
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	2.922,44	9.281,63	32,45	<b>12.236,51</b>

A seguir são expostos os cálculos para o estudo de caso hipotético da cobertura com telhas de fibrocimento na cidade de Porto Alegre. Na tabela 32, demonstram-se os dados obtidos de emissões de CO<sub>2</sub> e na tabela 33 o conteúdo energético para o transporte dos materiais.

O valor mais representativo no transporte dos materiais se deu na madeira já que esta por se tratar de madeira de lei a qual exige um cuidado quanto ao registro e ao reflorestamento do produto, vem desde São Paulo, por não existir na região uma planta produtora desta espécie de madeira.

A tabela 34, apresenta os valores de emissões de CO<sub>2</sub> e conteúdo energético dos processos de fabricação dos materiais, neste caso, coube pesquisar e incluir o conteúdo energético e as emissões para o processo de fabricação do cimento, já que é um produto industrializado necessário para compor as telhas de fibrocimento.

Logo, na tabela 35, apresentam-se os percentuais para cada fonte de energia e os respectivos cálculos de emissões de CO<sub>2</sub> para os processos de fabricação de cada produto.

Na tabela 36, os valores apresentados cabem ao deslocamento do trabalhador para a realização do serviço, sendo que para a execução deste trabalho por se tratar de um sistema mais complexo, a quantidade de dias influenciou em maior conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub>.

Finalmente a tabela 37, reúne os valores de todas as fases pré-operacionais para o estudo de caso hipotético da cobertura de telha de fibrocimento que logo será analisada em comparação as demais.

Tabela 32 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais</b>									
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Estrutura da cobertura	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Aço - (Prego tipo 18x27)	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	5,70	5,10	Porto Alegre/RS	A pé	0,24	0,00	5,10
Madeiramento (peroba)	Mogi das Cruzes/SP	Transporte Rodoviário	1.206,00	1.079,37	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	23,30	20,85	1.100,22
Isolamento térmico (lã mineral)	Descalvado/SP	Transporte Rodoviário	1.305,00	1.167,98	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	23,30	20,85	1.188,83
Telha de fibrocimento de 6mm	Sapucaia do Sul/RS	Transporte Rodoviário	26,10	23,36	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	0,24	0,21	23,57
<b>Subtotal</b>			<b>2.542,80</b>	<b>2.275,81</b>					<b>2.317,73</b>

Tabela 33 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Conetúdo energético do transporte dos materiais</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Aço - (Prego tipo 18x27)	2,27	5,70	0,00517	0,07	0,24	0,00000	0,00000	0,07
Madeiramento (peroba)	201,71	1.206,00	0,00517	1.257,67	23,3	0,00515	24,20419	1.281,87
Isolamento térmico (lã mineral)	155,97	1.305,00	0,00517	1.052,31	23,3	0,00515	18,71562	1.071,02
Telha de fibrocimento de 6mm	1.137,50	26,10	0,00517	153,49	0,24	0,00515	1,40595	154,90
<b>Subtotal</b>	<b>1.497,45</b>	<b>2.542,80</b>						<b>2.507,86</b>



Tabela 34 – Cálculo do conteúdo energético nos materiais pelo seu processo de fabricação e a emissão de CO<sub>2</sub> para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Estrutura da cobertura Área=28,41m <sup>2</sup>	Peso do material por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Quantidade de material utilizado	Densidade do material (kg/m <sup>3</sup> )	Total de material em (kg)	Conteúdo Energético no Material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de Carbono do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Aço - (Prego tipo 18x27)	0,08 kg/m <sup>2</sup>	2,27 kg	7850 kg/m <sup>3</sup>	2,27	30,00	68,10	5,10
Madeiramento (peroba)	7,10 kg/m <sup>2</sup>	201,71 kg	600 kg/m <sup>3</sup>	201,71	0,50	100,86	6,99
Isolamento térmico (lã mineral - 50mm)	5,49 kg/m <sup>2</sup>	155,97kg	110 kg/m <sup>3</sup>	155,97	19,00	2.963,43	142,87
Telha de fibrocimento de 6mm	12,14 kg/m <sup>2</sup>	22 telhas (1.22x1.10)	1600 kg/m <sup>3</sup>	344,89	6,00	2.069,34	146,05
Cimento (para produção das telhas)	10,77kg/m <sup>2</sup>	305,97 kg	1950 kg/m <sup>3</sup>	305,97	4,20	1.285,07	81,30
<b>Subtotal</b>						<b>6.486,80</b>	<b>382,30</b>

Tabela 35 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE CARVÃO MINERAL	COQUE DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS	TOTAL
	CO <sub>2</sub> (KG/MJ)		0,0181	0,0798	0,0506	0,0633	0,0915	0,0726	0,0915	0,051	0,0816	0,0357	
AÇO	PERCENTUAL		10,00	1,00	6,00	0,00	71,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>68,10</b>	6,81	0,68	4,09	0,00	48,35	0,00	0,00	0,00	0,00	8,17	<b>68,10</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>5,10</b>	0,12	0,05	0,21	0,00	4,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	<b>5,10</b>
MADEIRA	PERCENTUAL		17,00	83,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>100,86</b>	17,15	83,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,86</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>6,99</b>	0,31	6,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>6,99</b>
LÃ MINERAL	PERCENTUAL		20,00	8,00	11,00	0,00	10,00	0,00	7,00	9,00	0,00	35,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>2.963,43</b>	592,69	237,07	325,98	0,00	296,34	0,00	207,44	266,71	0,00	1.037,20	<b>2.963,43</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>142,87</b>	10,73	18,92	16,49	0,00	27,12	0,00	18,98	13,60	0,00	37,03	<b>142,87</b>
TELHA DE FIBROCIMENTO DE 6MM	PERCENTUAL		14,00	84,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>2.069,34</b>	289,71	1.738,25	41,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>2.069,34</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>146,05</b>	5,24	138,71	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>146,05</b>
CIMENTO PORTLAND	PERCENTUAL		12,00	3,00	0,00	0,00	0,00	61,00	8,00	9,00	0,00	7,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>1.285,07</b>	154,21	38,55	0,00	0,00	0,00	783,90	102,81	115,66	0,00	89,96	<b>1.285,07</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>81,30</b>	2,79	3,08	0,00	0,00	0,00	56,91	9,41	5,90	0,00	3,21	<b>81,30</b>

Tabela 36 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telha de fibrocimento para o estudo de caso 01, considerando que os trabalhadores residam perto um do outro e utilizem o mesmo meio de transporte até a obra – Porto Alegre/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte Utilizado (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Carpinteiro	2 (70 Kg cada)	15	3	Carro	32,445	4,77
<b>Subtotal</b>					<b>32,445</b>	<b>4,77</b>

Tabela 37 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 01 – Porto Alegre/RS

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS TRABALHADORES	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)	2.317,73	382,30	4,77	<b>2.704,80</b>
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	2.507,86	6.486,80	32,45	<b>9.027,10</b>

## 6.4 Estudo hipotético das coberturas com telhas cerâmicas e fibrocimento para o estudo de caso comparativo – Santa Maria/RS

As figuras 45, 46, 47, 48, 49 e 50 apresentam o caminho percorrido dos materiais que foram necessários para a realização da pesquisa das coberturas hipotéticas de telhas cerâmicas e de fibrocimento, estes cálculos foram necessários para o preenchimento das tabelas 38 e 39, onde foram calculados as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético dos transportes dos materiais.

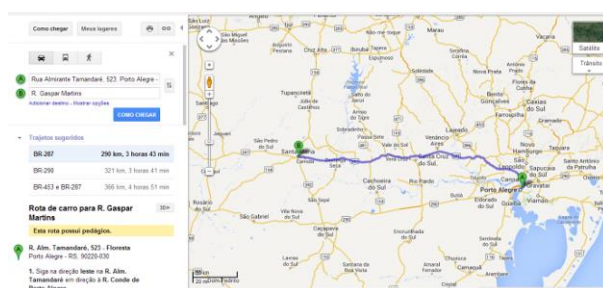


Figura 45 – Cálculo da distância da fábrica de pregos até o ponto de venda – Santa Maria (Fonte: Google Maps)

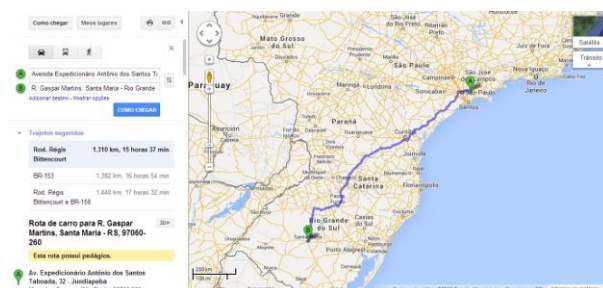


Figura 46 – Cálculo da distância da indústria de madeiras de peroba até o ponto de venda – Santa Maria (Fonte: Google Maps)

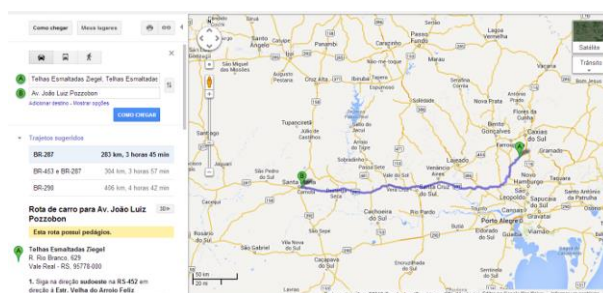


Figura 47 – Cálculo da distância da indústria de telhas cerâmicas até o ponto de venda – Santa Maria (Fonte: Google Maps)

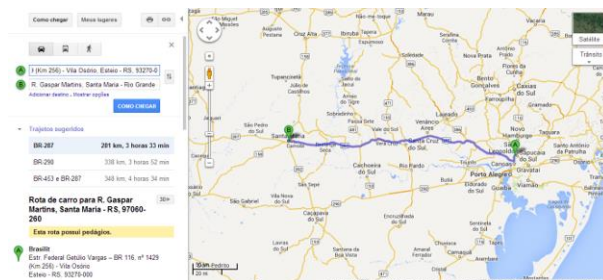


Figura 48 – Cálculo da distância da indústria de fibrocimento até o ponto de venda – Santa Maria (Fonte: Google Maps)

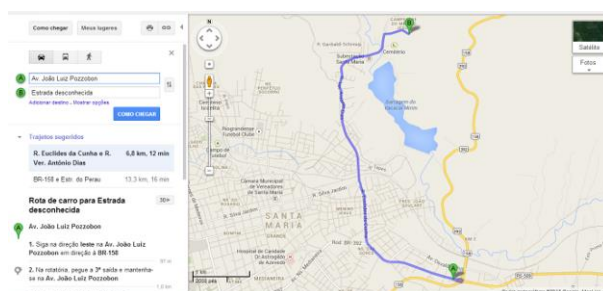


Figura 49 – Cálculo da distância do ponto de venda até a obra das telhas cerâmicas – Santa Maria (Fonte: Google Maps)

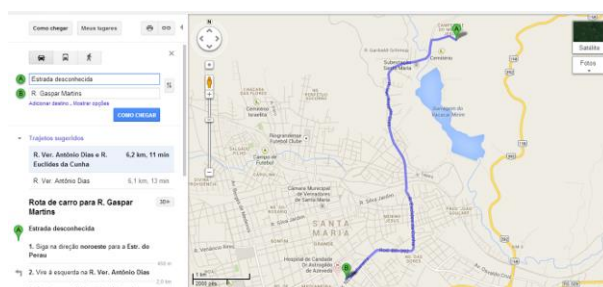


Figura 50 – Cálculo da distância do ponto de venda até a obra das telhas de fibrocimento e os pregos – Santa Maria (Fonte: Google Maps)

Após identificadas as localidades de produção dos materiais que compõem as coberturas convencionais, de telhas cerâmicas e de fibrocimento e todos os outros materiais necessários para a confecção desta cobertura, sejam eles madeira e pregos, foram pesquisadas as distâncias percorridas pelos materiais bem como os meios de transportes utilizados, para, por fim, preencher as tabelas a seguir, e obter dados como emissões de CO<sub>2</sub> e conteúdo energético pelo transporte dos materiais.

Tabela 38 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

<b>Emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais</b>									
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Estrutura da cobertura	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Aço - (Prego tipo 18x27)	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	290,00	259,55	Santa Maria/RS	Carro	6,20	0,66	260,21
Madeiramento (peroba)	Mogi das Cruzes/SP	Transporte Rodoviário	1.310,00	1.172,45	Santa Maria/RS	Transporte Rodoviário	6,20	5,55	1.178,00
Isolamento térmico (lã mineral)	Descalvado/SP	Transporte Rodoviário	1.347,00	1.205,57	Santa Maria/RS	Transporte Rodoviário	6,20	5,55	1.211,11
Telha Cerâmica Vermelha	Vale Real/RS	Transporte Rodoviário	283,00	253,29	Santa Maria/RS	Transporte Rodoviário	6,80	6,09	259,37
<b>Subtotal</b>				<b>2.890,85</b>				<b>17,84</b>	<b>2.908,69</b>

Tabela 39 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

<b>Conteúdo energético do transporte dos materiais</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Aço - (Prego tipo 18x27)	4,53	290,00	0,00517	6,79	6,2	0,00515	0,14464	6,94
Madeiramento (peroba)	407,52	1.310,00	0,00517	2.760,01	6,2	0,00517	13,06265	2.773,07
Isolamento térmico (lã mineral)	311,30	1.347,00	0,00517	2.167,89	6,2	0,00517	9,97841	2.177,87
Telha Cerâmica Vermelha	2.265,00	283,00	0,00517	3.313,94	6,8	0,00517	79,62834	3.393,57
<b>Subtotal</b>	<b>2.988,35</b>							<b>8.351,45</b>

A tabela 38 expõe os cálculos relativos ao transporte dos materiais para a cobertura hipotética de telhas cerâmicas para a cidade de Santa Maria, com o intuito de mensurar as emissões de CO<sub>2</sub> do transporte dos produtos. Pode-se verificar tanto na coluna 2 como na coluna 4 que os materiais procedem de regiões distantes da obra, o que vai influenciar consideravelmente nos valores mensurados neste quesito.

O conteúdo energético calculado para o transporte dos materiais esta apresentando na tabela 39 onde pode-se analisar a influência do peso bruto de material transportado pela distância percorrida do material desde a fábrica até o ponto de venda, bem como do ponto de venda até a obra.

Na tabela 40 expõe-se os resultados analisados para determinar as emissões de CO<sub>2</sub> e o conteúdo energético para os materiais utilizados na cobertura hipotética de telhas cerâmicas. Para o correto preenchimento da coluna 2 procedeu-se a análise e densidade de cada produto para especificar a quantidade de produto necessário para cada simulação.

A tabela 41 verifica o quantitativo de MJ do conteúdo energético por processo de fabricação de cada material e expõe as emissões de CO<sub>2</sub> por cada produto utilizado.

A tabela 42 apresenta o cálculo para o deslocamento dos trabalhadores o qual determinou em valores um pouco altos devido à quantidade de dias necessários para realização das atividades específicas, que determinaram em dias de trabalho mais elaborados pela complexidade do trabalho a ser realizado.

Finalmente na tabela 43, comparam-se os somatórios gerados pelas fases pré-operacionais para a cobertura hipotética em telha cerâmica, sendo sumamente representativo o valor do consumo energético quanto a produção dos materiais, isto se deve a quantidade de lenha queimada para a produção do material da telha, o qual pode se verificar na tabela 40, que expõe os valores de consumo energético por fonte para cada material pesquisado.



Tabela 40 – Cálculo do conteúdo energético nos materiais pelo seu processo de fabricação e a emissão de CO<sub>2</sub> para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

Conteúdo energético e emissão de CO <sub>2</sub> nos materiais							
1	2	3	4	5	6	7	8
Estrutura da cobertura Área=56,60m <sup>2</sup>	Peso do material por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Quantidade de material utilizado	Densidade do material	Total de material (kg)	Conteúdo Energético no Material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de Carbono do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Aço - (Prego tipo 18x27)	0,08 kg/m <sup>2</sup>	4,53 kg	7850 kg/m <sup>3</sup>	4,53	30,00	135,90	10,18
Isolamento térmico (lã mineral - 50mm)	5,49 kg/m <sup>2</sup>	311,3 kg	110 kg/m <sup>3</sup>	311,30	19,00	5.914,70	285,15
Madeiramento (peroba)	7,20 kg/m <sup>2</sup>	407,52 kg	600 kg/m <sup>3</sup>	407,52	0,50	203,76	14,12
Telha Cerâmica Vermelha	40 kg/m <sup>2</sup>	906 telhas	1900 kg/m <sup>3</sup>	2.265,00	5,40	12.231,00	958,12
<b>Subtotal</b>						<b>18.485,36</b>	<b>1267,56</b>

Tabela 41 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas cerâmicas para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE CARVÃO	LENHA	CARVÃO MINERAL	CARVÃO VEGETAL	OUTRAS	TOTAL
	CO <sub>2</sub> (KG/MJ)		0,0181	0,0798	0,0506	0,0633	0,0915	0,0816	0,0915	0,051	0,0357	
AÇO	PERCENTUAL		10,00	1,00	6,00	0,00	71,00	0,00	0,00	0,00	12,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>135,90</b>	13,59	1,36	8,15	0,00	96,49	0,00	0,00	0,00	16,31	<b>135,90</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>10,18</b>	0,25	0,11	0,41	0,00	8,83	0,00	0,00	0,00	0,58	<b>10,18</b>
LÃ MINERAL	PERCENTUAL		20,00	8,00	11,00	0,00	10,00	0,00	7,00	9,00	35,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>5.914,70</b>	1.182,94	473,18	650,62	0,00	591,47	0,00	414,03	532,32	2.070,15	<b>5.914,70</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>285,15</b>	21,41	37,76	32,92	0,00	54,12	0,00	37,88	27,15	73,90	<b>285,15</b>
MADEIRA	PERCENTUAL		17,00	83,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>203,76</b>	34,64	169,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>203,76</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>14,12</b>	0,63	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>14,12</b>
TELHA CERÂMICA	PERCENTUAL		2,00	4,00	0,00	8,00	0,00	85,00	0,00	0,00	1,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>12.231,00</b>	244,62	489,24	0,00	978,48	0,00	10.396,35	0,00	0,00	122,31	<b>12.231,00</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>958,12</b>	4,43	39,04	0,00	61,94	0,00	848,34	0,00	0,00	4,37	<b>958,12</b>

Tabela 42 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telha cerâmica para o estudo de caso 02, considerando que os trabalhadores residam perto um do outro e utilizem o mesmo meio de transporte até a obra – Santa Maria/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
1	2	3	4	5	6	7
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte Utilizado (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Carpinteiro	2 (70 Kg cada)	11,4	5	Carro	41,097	6,042
<b>Subtotal</b>					<b>41,097</b>	<b>6,042</b>

Tabela 43 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> da simulação da cobertura com telhas cerâmica para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS TRABALHADORES	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)	2.908,69	1.267,56	6,04	<b>4.182,30</b>
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	8.351,45	18.485,36	41,10	<b>26.877,91</b>

Tabela 44 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

<b>Emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos materiais</b>									
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Estrutura da cobertura	Município produtor	Meio de transporte do material	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte da fábrica até o ponto de venda (kg)	Local do ponto de venda	Meio de transporte do material	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte do ponto de venda até a obra (kg)	Somatório de emissão de CO <sub>2</sub> no transporte dos materiais (Kg)
Aço - (Prego tipo 18x27)	Porto Alegre/RS	Transporte Rodoviário	290,00	259,55	Santa Maria/RS	Carro	6,20	0,66	260,21
Madeiramento (peroba)	Mogi das Cruzes/SP	Transporte Rodoviário	1.310,00	1.172,45	Santa Maria/RS	Tranporte Rodoviário	6,20	5,55	1.178,00
Isolamento térmico (lã mineral)	Descalvado/SP	Transporte Rodoviário	1.347,00	1.205,57	Santa Maria/RS	Transporte Rodoviário	6,20	5,55	1.211,11
Telha de fibrocimento de 6mm	Estéio/RS	Transporte Rodoviário	281,00	251,50	Santa Maria/RS	Tranporte Rodoviário	6,20	5,55	257,04
<b>Subtotal</b>				<b>2.889,06</b>				<b>17,30</b>	<b>2.906,36</b>

Tabela 45 – Cálculo do conteúdo energético pelos transportes dos materiais para a simulação de cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

<b>Conetúdo energético do transporte dos materiais</b>								
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Material Utilizado	Peso (kg)	Distância do fabricante até ponto de venda (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Distância do ponto de venda até a obra (km)	Coefficiente de gasto energético (MJ/km.kg)	Conteúdo energético (MJ)	Total do conteúdo energético do transporte dos materiais (MJ)
Aço - (Prego tipo 18x27)	4,53	290,00	0,00517	6,79	6,20	0,00515	0,14464	6,94
Madeiramento (peroba)	401,86	1.310,00	0,00517	2.721,68	6,20	0,00517	12,88122	2.734,56
Isolamento térmico (lã mineral)	310,73	1.347,00	0,00517	2.163,92	6,20	0,00517	9,96014	2.173,88
Telha de fibrocimento de 6mm	687,12	281,00	0,00517	998,23	6,20	0,00517	22,02494	1.020,25
<b>Subtotal</b>	<b>1.404,24</b>							<b>5.935,63</b>

Tabela 46 – Cálculo da conteúdo energético nos materiais pelo seu processo de fabricação e a emissão de CO<sub>2</sub> para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais</b>							
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Estrutura da cobertura Área=56,60m <sup>2</sup>	Peso do material por metro quadrado (kg/m <sup>2</sup> )	Quantidade de material utilizado	Densidade do material	Total de material (kg)	Conteúdo Energético no Material (MJ/kg)	Total de conteúdo energético do material (MJ)	Emissão de Carbono do próprio material (kg CO <sub>2</sub> )
Aço - (Prego tipo 18x27)	0,08 kg/m <sup>2</sup>	4,53 kg	7.850 kg/m <sup>3</sup>	4,53	30,00	135,90	10,18
Madeiramento (peroba)	7,10 kg/m <sup>2</sup>	401,86 kg	600 kg/m <sup>3</sup>	401,86	0,50	200,93	13,93
Isolamento térmico (lã mineral - 50mm)	5,49 kg/m <sup>2</sup>	311,3 kg	110 kg/m <sup>3</sup>	310,73	19,00	5.903,87	284,63
Telha de fibrocimento de 6mm	12,14 kg/m <sup>2</sup>	42 telhas (1.22x1.10)	1.600 kg/m <sup>3</sup>	687,12	6,00	4.122,72	290,97
Cimento (para produção das telhas)	10,77kg/m <sup>2</sup>	609,58	1.950 kg/m <sup>3</sup>	609,58	4,20	2.560,24	161,96
<b>Subtotal</b>						<b>12.923,66</b>	<b>761,67</b>

Tabela 47 – Cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> por fonte de produção de cada material para a simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS.

MATERIAL		FONTE	ELETRICIDADE	ÓLEO COMBUSTÍVEL	GÁS NATURAL	GLP	COQUE DE CARVÃO MINERAL	COQUE DE PETRÓLEO	CARVÃO MINERAL	CARVÃO VEGETAL	LENHA	OUTRAS	TOTAL
	CO <sub>2</sub> (KG/MJ)		0,0181	0,0798	0,0506	0,0633	0,0915	0,0726	0,0915	0,051	0,0816	0,0357	
AÇO	PERCENTUAL		10,00	1,00	6,00	0,00	71,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>135,90</b>	13,59	1,36	8,15	0,00	96,49	0,00	0,00	0,00	0,00	16,31	<b>135,90</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>10,18</b>	0,25	0,11	0,41	0,00	8,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	<b>10,18</b>
LÃ MINERAL	PERCENTUAL		20,00	8,00	11,00	0,00	10,00	0,00	7,00	9,00	0,00	35,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>5.903,87</b>	1.180,77	472,31	649,43	0,00	590,39	0,00	413,27	531,35	0,00	2.066,35	<b>5.903,87</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>284,63</b>	21,37	37,69	32,86	0,00	54,02	0,00	37,81	27,10	0,00	73,77	<b>284,63</b>
MADEIRA	PERCENTUAL		17,00	83,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>200,93</b>	34,16	166,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>200,93</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>13,93</b>	0,62	13,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>13,93</b>
TELHA DE FIBROCIMENTO DE 6MM	PERCENTUAL		14,00	84,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>4.122,72</b>	577,18	3.463,08	82,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>4.122,72</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>290,97</b>	10,45	276,35	4,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>290,97</b>
CIMENTO PORTLAND	PERCENTUAL		12,00	3,00	0,00	0,00	0,00	61,00	8,00	9,00	0,00	7,00	<b>100,00</b>
	QUANT. (MJ)	<b>2.560,24</b>	307,23	76,81	0,00	0,00	0,00	1.561,74	204,82	230,42	0,00	179,22	<b>2.560,24</b>
	CO <sub>2</sub> (KG)	<b>161,96</b>	5,56	6,13	0,00	0,00	0,00	113,38	18,74	11,75	0,00	6,40	<b>161,96</b>

Tabela 48 – Cálculo da distância ida e volta dos trabalhadores para a simulação da cobertura com telha de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

<b>Conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> no transporte dos trabalhadores</b>						
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
	Quantidade de Pessoas	Distância da residência do trabalhador ida e volta até a obra (km)	Dias de trabalho	Meio de transporte utilizado	Conteúdo energético no Transporte Utilizado (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelo transporte dos trabalhadores (kg CO <sub>2</sub> )
Carpinteiro	2 (70 Kg cada)	11,4	5	Carro	41,097	6,042
<b>Subtotal</b>					<b>41,097</b>	<b>6,042</b>

Na tabela 48 acima, apresenta-se os cálculos para o conteúdo energético e emissão de CO<sub>2</sub> gerados pelo transporte dos trabalhadores. Neste caso, levou-se em consideração que os operários morassem perto um do outro e utilizaram o mesmo meio de transporte. Já para a realização da atividade, por se tratar de um trabalho mais demorado, os dias de trabalhos aumentaram e para realizar esta cobertura com telhas de fibrocimento, seriam necessários 5 dias de trabalho.

Tabela 49 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> e do conteúdo energético da simulação da cobertura com telhas de fibrocimento para o estudo de caso 02 – Santa Maria/RS

	TRANSPORTE DOS MATERIAIS	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS	TRANSPORTE DOS	TOTAIS
TOTAL DAS EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> (Kg)	2.906,36	761,67	6,04	<b>3.674,07</b>
TOTAL DO CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	5.935,63	12.923,66	41,10	<b>18.900,38</b>

Na tabela 49, apresentam-se os somatórios de cada etapa do processo pré-operacional para o estudo de caso de coberturas com telhas de fibrocimento, sendo relevante a análise para o total do conteúdo energético o qual representou em um alto índice na produção dos materiais, seja ele, pela elaboração da telha de fibrocimento e pelo cimento utilizado na composição deste.



## 6.5 Análises comparativas entre as coberturas verdes e hipotéticas

Neste item são discutidos os resultados obtidos em cada estudo de caso das coberturas verdes (CV), comparando com as simulações das coberturas em telhas cerâmicas (CTC) e coberturas em telhas de fibrocimento (CTF). Conforme o método de pesquisa, são apresentados os somatórios dos quantitativos de conteúdo energético em (MJ) pelos transportes dos materiais, pelos processos de fabricação dos materiais e pelo transporte dos trabalhadores, logo apresentam-se os somatórios das emissões de CO<sub>2</sub> em (Kg) pelos transportes dos materiais, pelos processos de fabricação dos materiais e pelo transporte dos trabalhadores.

Os dados obtidos são analisados mediante a geração dos gráficos representativos para cada análise. Para uma melhor identificação nos gráficos e facilidade na leitura a terminologia cobertura verde será representada pela abreviação (CV), cobertura com telha cerâmica (CTC) e cobertura com telha de fibrocimento (CTF), para os estudos de caso em Porto Alegre (POA) e para a cidade de Santa Maria adotou-se (SMA).

Tabela 50 – Resultados para os estudos de caso das coberturas verdes e coberturas hipotéticas

	Conteúdo energético pelo transporte dos materiais (MJ)	Conteúdo energético pelos processos de fabricação dos materiais (MJ)	Conteúdo energético pelo transporte dos trabalhadores (MJ)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelos transporte dos materiais (kg)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelos processos de fabricação dos materiais (kg)	Emissão de CO <sub>2</sub> pelos deslocamentos dos trabalhadores (kg)	Totais do conteúdo energético (MJ)	Totais de emissões de CO <sub>2</sub> (kg)	
CV - POA	1.869,41	6.621,26	10,82	1.289,66	350,14	1,59	<b>8.501,49</b>	<b>1.641,39</b>	➡ TABELA 19
CTC - POA	2.922,44	9.281,63	32,45	2.377,78	636,49	4,77	<b>12.236,52</b>	<b>3.019,04</b>	➡ TABELA 31
CTF - POA	2.507,86	6.486,80	32,45	2.317,73	382,40	4,77	<b>9.027,11</b>	<b>2.704,90</b>	➡ TABELA 37
CV - SMA	437,54	4.172,45	8,22	2.414,39	226,56	1,21	<b>4.618,21</b>	<b>2.642,16</b>	➡ TABELA 25
CTC - SMA	8.351,45	18.485,36	41,10	2.908,69	1.267,56	6,04	<b>26.877,91</b>	<b>4.182,29</b>	➡ TABELA 43
CTF - SMA	5.935,63	12.923,66	41,10	2.906,36	761,86	6,04	<b>18.900,39</b>	<b>3.674,26</b>	➡ TABELA 49
	↓ GRÁFICO 3	↓ GRÁFICO 4	↓ GRÁFICO 5	↓ GRÁFICO 7	↓ GRÁFICO 8	↓ GRÁFICO 9	↓ GRÁFICO 6	↓ GRÁFICO 10	

Os gráficos abaixo apresentam os resultados comparativos quanto ao conteúdo energético dos transportes dos materiais, dos processos de fabricação do material, do transporte dos trabalhadores e os totais alcançados.

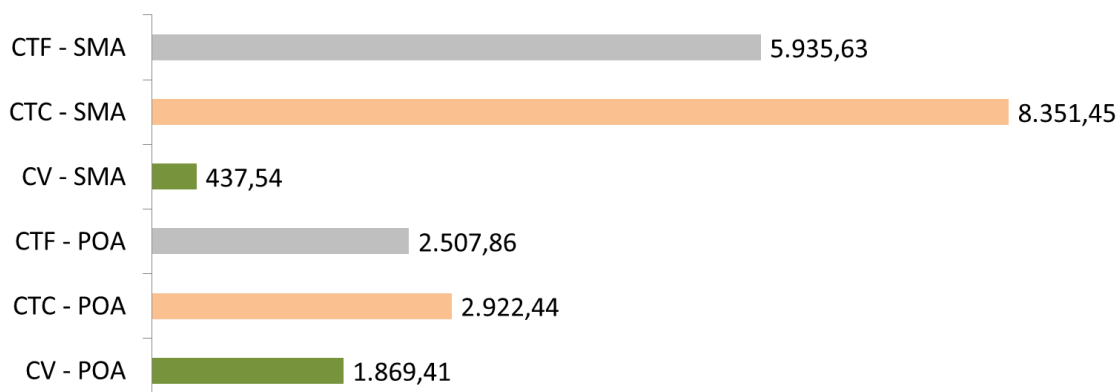


Gráfico 3 – Conteúdo energético (MJ) pelos transportes dos materiais.

No gráfico 3, observa-se a diferença em gasto energético pelo transporte dos materiais, a cobertura verde de Santa Maria representou ser mais favorável quanto ao conteúdo energético pelo transporte dos materiais em comparação as outras duas modalidades de coberturas tradicionais, lembrando que, de todos os materiais utilizados na cobertura verde, neste caso, somente dois produtos foram industrializados, a manta bidim e o impermeabilizante, sendo que a correta escolha dos demais produtos como terra e pedras do local, contribuíram para este resultado.

No mesmo gráfico 3, porém, no caso de Porto Alegre pode-se analisar que os resultados da cobertura verde foram inferiores as outras duas propostas hipotéticas, isto se deve a complexidade da composição da tecnologia desta cobertura verde, já que se utilizaram produtos industrializados (manta asfáltica) e outros naturais que não se encontravam disponíveis no local da obra (transporte da terra e das gramas), o que gerou o aumento de consumo energético pelo transporte da areia e terra, por exemplo.

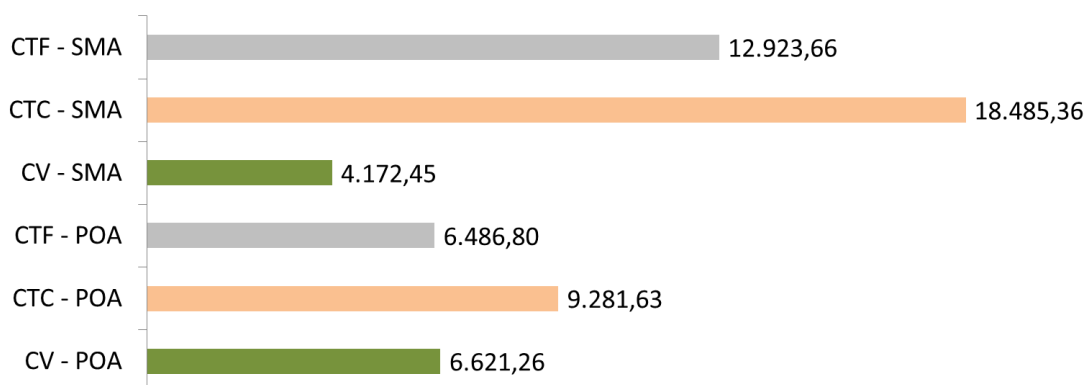


Gráfico 4 – Conteúdo energético (MJ) pelos processos de fabricação dos materiais.

Quanto ao conteúdo energético pelos processos de fabricação, os quais estão, neste caso, relacionados diretamente a quantidade de produto utilizado em cada cobertura, pode-se realizar a seguinte análise. No estudo de caso de Santa Maria, a escolha do produto de impermeabilização, o qual não é um derivado de petróleo, favoreceu ao baixo valor alcançado. A cobertura com telha cerâmica representou três vezes mais consumo energético que a cobertura verde para sua implementação. Já no caso de Porto Alegre, a cobertura verde ultrapassou 134,46 MJ a mais que a cobertura com telhas de fibrocimento, o que representa um valor relativamente baixo, em comparação com as demais tecnologias.

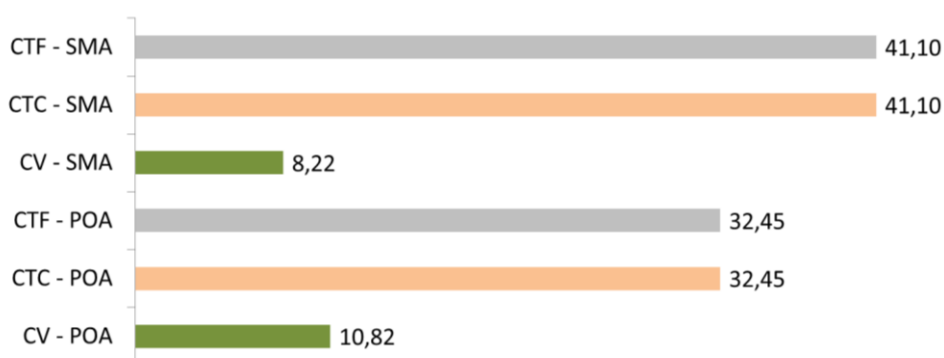


Gráfico 5 – Conteúdo energético (MJ) pelo deslocamento dos trabalhadores.

No gráfico 5, observa-se a diferença no conteúdo energético pelo deslocamento dos trabalhadores, devido a complexidade da atividade para elaboração das coberturas tradicionais, o qual exigiu maior quantidade de horas de trabalho.

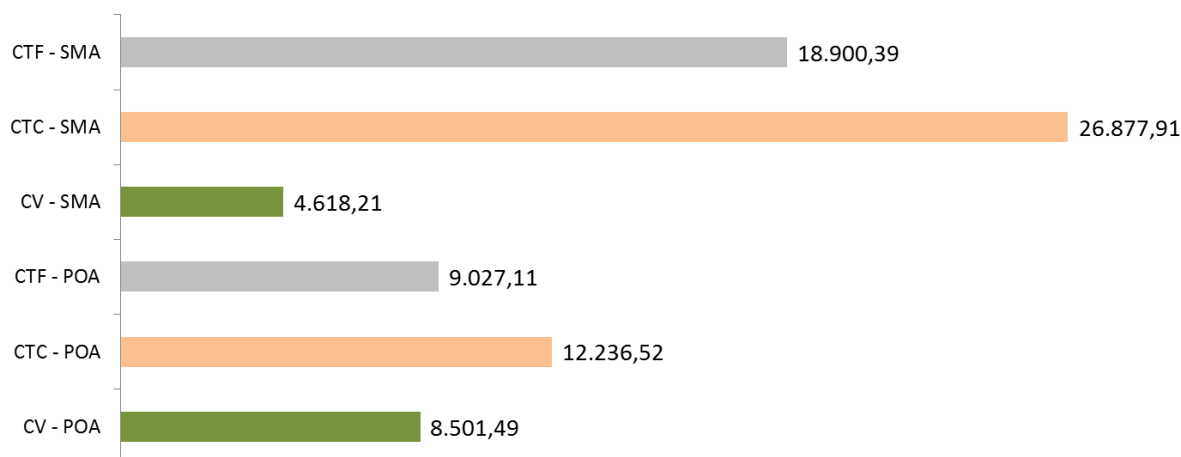


Gráfico 6 – Totais do conteúdo energético (MJ), transporte do material, produção do material e transporte dos trabalhadores.

Os totais do conteúdo energético de todas as fases pré-operacionais dos estudos de caso estão expostos no gráfico 6, o qual, demonstra que a cobertura com telha cerâmica possui alto consumo de energia, que se deve a localização das fábricas deste produto (telha cerâmica) bem como as fontes utilizadas para fabricação do produto em grande parte.

Quanto ao conteúdo energético a cobertura verde de Santa Maria, representou ser a solução com melhor desempenho, com baixo índice de conteúdo energético em comparação com os outros dois tipos de coberturas tradicionais.

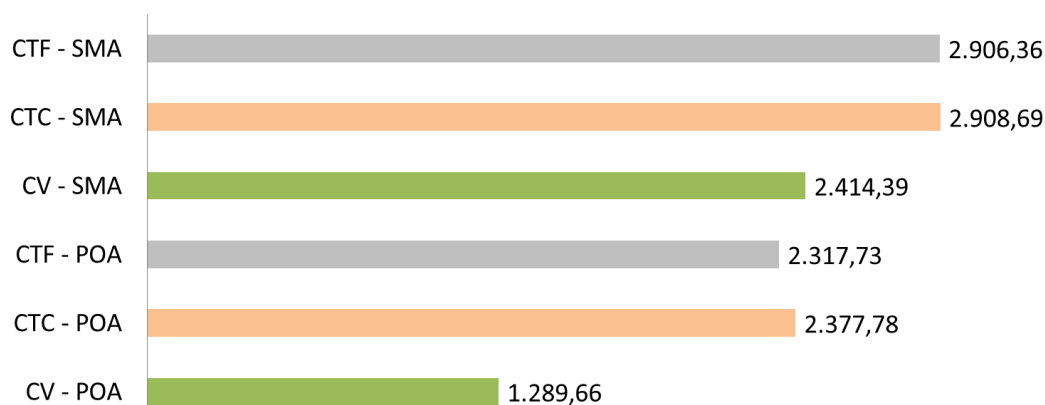


Gráfico 7 – Emissão de CO<sub>2</sub> (kg) pelos transportes dos materiais das coberturas estudadas.

O gráfico 7 apresenta as emissões de CO<sub>2</sub> para as seis coberturas estudadas. Analisando o gráfico, pode-se verificar que, nas simulações realizadas para os deslocamentos dos materiais das coberturas hipotéticas com telhas cerâmicas e de fibrocimento, as coberturas verdes representaram menores índices de emissões de

CO<sub>2</sub>. Lembrando ainda que a cobertura verde de Santa Maria possui uma camada a mais (manta bidim) que a cobertura verde de Porto Alegre, o que influenciou os resultados, já que este não é fabricado na região próxima de sua implementação.

Para a comparação dos impactos pela emissão de CO<sub>2</sub> das coberturas estudadas em Santa Maria, a cobertura verde representou seri a mais eficiente.

Os resultados analisados das coberturas de Porto Alegre apresentam valores consideráveis de emissão de CO<sub>2</sub>, também pode-se observar que a cobertura verde representou possuir melhor desempenho quanto a emissão de CO<sub>2</sub> pelo transporte dos materiais.

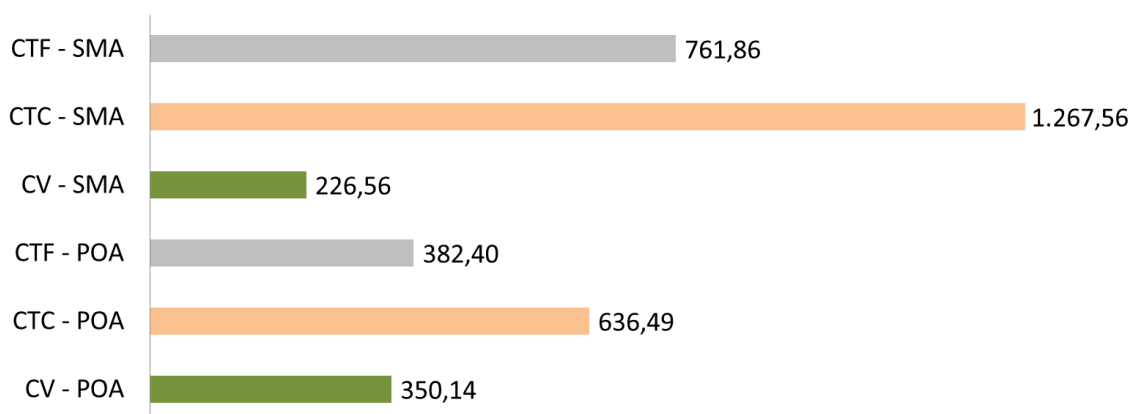


Gráfico 8 – Emissões de CO<sub>2</sub> (kg) das fontes de fabricação dos materiais utilizados nas coberturas em estudo.

A partir da análise do gráfico 8, pode-se perceber a importância dos processos produtivos dos materiais da construção civil. A cobertura verde de Santa Maria apresentou melhor desempenho quanto as emissões de CO<sub>2</sub>, sendo 535,30 kg de CO<sub>2</sub> menos que a cobertura de fibrocimento e 1.041,00 kg de CO<sub>2</sub> menos que a cobertura de telhas cerâmicas nos processos produtivos dos materiais pelas fontes de energia.

A cobertura verde de Porto Alegre, ficou abaixo das outras duas coberturas estudadas, verificando a eficiência desta cobertura implantada quanto as emissões de CO<sub>2</sub> para as fontes de fabricações dos materiais.

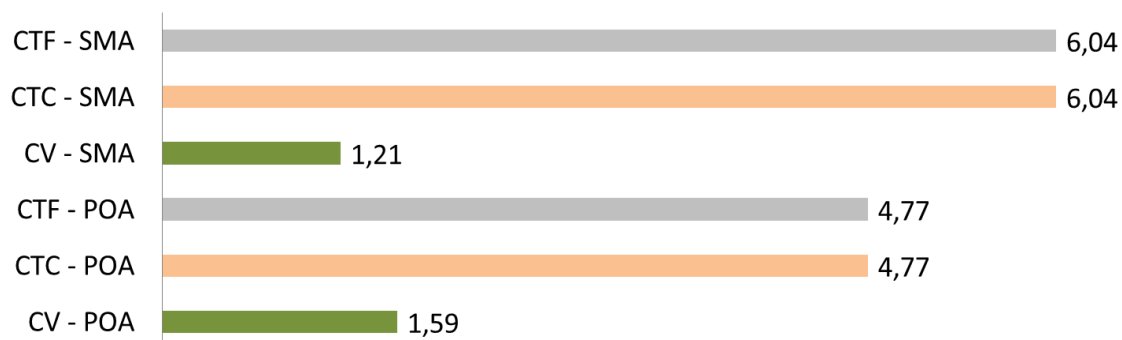


Gráfico 9 – Emissões de CO<sub>2</sub> (kg) pelo transporte dos trabalhadores para elaboração das coberturas em estudo.

De acordo com os valores apresentados no gráfico 9, pode-se identificar a importância da mão de obra profissional para os sistemas mais elaborados de coberturas. As coberturas verdes representam uma facilidade de implantação, podendo ser realizada pelo próprio usuário, não havendo necessidade que este se desloque do local para efetuar o trabalho, considerando que o mesmo resida no local da obra.

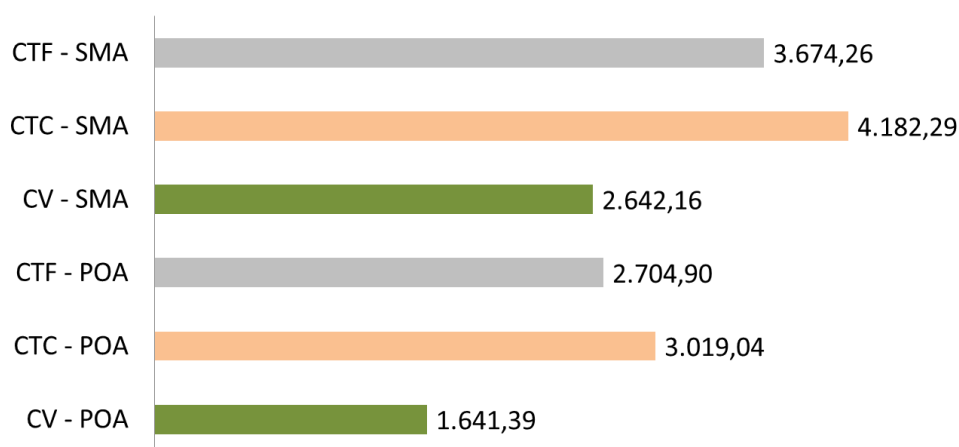


Gráfico 10 – Total das emissões de CO<sub>2</sub> (kg) de toda a fase pré-operacional para a implementação das coberturas em estudo.

O gráfico 10 apresenta os resultados dos estudos de casos pesquisados com os totais das emissões de CO<sub>2</sub>, o total das emissões da cobertura verde de Santa Maria representou ter mais desempenho quanto as emissões totais de CO<sub>2</sub> na fase pré-operacional. As coberturas analisadas no estudo de caso de Porto Alegre representam valores significativos sendo que a cobertura verde ficou com o total de emissões de CO<sub>2</sub> inferior as outras duas simulações.

Observando que a média do sequestro de carbono (SCV) é de 0,945 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> ano obtida na Eq. 1 (p. 67) e por meio do cálculo da Eq. 2 e 3 (p. 67) respectivamente, pode-se determinar de forma hipotética que após 49,4 anos a cobertura verde de Santa Maria mitiga ao médio ambiente os danos causados pelas emissões de CO<sub>2</sub>, e a cobertura verde de Porto Alegre, após 61,15 anos respectivamente.

Cabe ainda destacar que, poderá compensar a fase operacional da edificação, pelos usos de tecnologias de manutenção e conforto dos usuários, ressaltando que esta compensação de CO<sub>2</sub> ainda na fase operacional para uma edificação com cobertura verde diminuiria o consumo de energia, já que esta apresenta os benefícios já comprovados em publicações científicas, como por exemplo o conforto térmico, limitando o uso de equipamentos de refrigeração mecânicos, entre outros.



**Tabela 51** - Resultados para os estudos de caso das coberturas verdes e coberturas hipotéticas para comparativos por m<sup>2</sup>

	Conteúdo energético pelo transporte dos materiais (MJ/m <sup>2</sup> )	Conteúdo energético pelos procesos de fabricação dos materiais (MJ/m <sup>2</sup> )	Conteúdo energético pelo transporte dos trabalhadores (MJ/m <sup>2</sup> )	Emissão de CO <sub>2</sub> pelos transporte dos materiais (kg/m <sup>2</sup> )	Emissão de CO <sub>2</sub> pelos processos de fabricação dos materiais (kg/m <sup>2</sup> )	Emissão de CO <sub>2</sub> pelos transporte dos trabalhadores (kg/m <sup>2</sup> )	Totais do conteúdo energético (MJ/m <sup>2</sup> )	Totais de emissões de CO <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )
CV - POA	65,80	233,06	0,38	45,39	12,32	0,06	<b>299,24</b>	<b>57,78</b>
CTC - POA	102,87	326,70	1,14	83,70	22,40	0,17	<b>430,71</b>	<b>106,27</b>
CTF - POA	88,27	228,33	1,14	81,58	13,46	0,17	<b>317,74</b>	<b>95,21</b>
CV - SMA	7,73	73,72	0,15	42,66	4,00	0,02	<b>81,59</b>	<b>46,68</b>
CTC - SMA	147,55	326,60	0,73	51,39	22,40	0,11	<b>474,87</b>	<b>73,89</b>
CTF - SMA	104,87	228,33	0,73	51,35	13,46	0,11	<b>333,93</b>	<b>64,92</b>

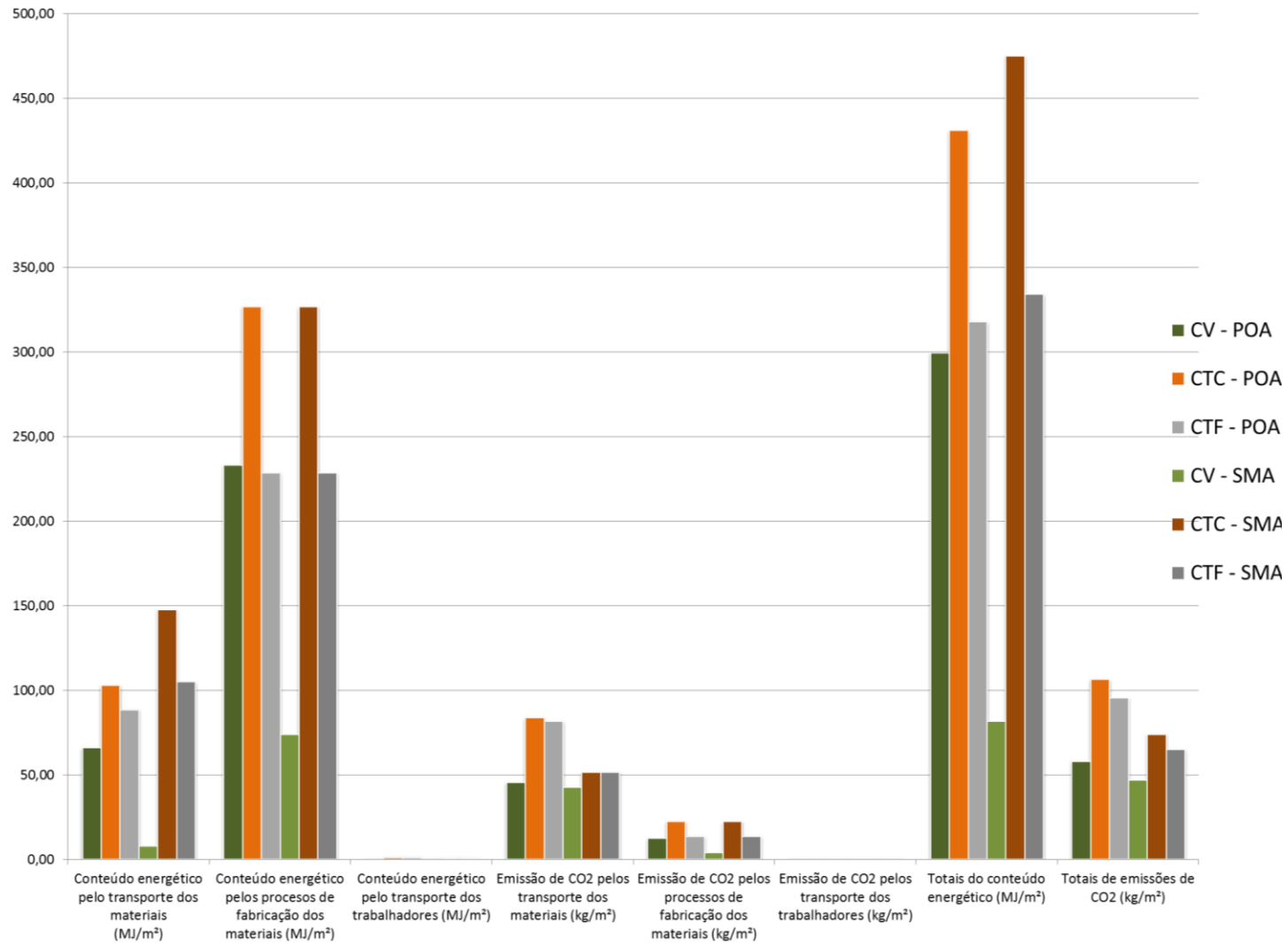


Gráfico 11 – Comparativo dos valores obtidos em MJ/m² para o conteúdo energético e em kg/m² de CO<sub>2</sub> para todas as coberturas estudadas.

A tabela 51 apresenta os valores para cada fase pré-operacional dividido por metro quadrado de área de cobertura, para conseguirmos identificar e comparar todas as coberturas analisadas entre si. Após obtido os dados comparativos realizou-se o infográfico com o intuito de apresentar todos os dados extraídos em um único ítem.

Pode-se analisar que o conteúdo energético mais representativo encontra-se nas fases de fabricações dos produtos e, as emissões de CO<sub>2</sub> mais elevadas foram na fase de transporte dos materiais.

Da mesma forma verifica-se que as coberturas verdes são a tecnologia com melhor desempenho tanto em conteúdo energético bem como em emissões de CO<sub>2</sub> em comparação com as outras coberturas tradicionais de telha cerâmica e fibrocimento.

## 7 CONCLUSÃO

O desenvolvimento dos seres humanos tem apresentado diversos efeitos negativos ao meio ambiente. Destacam-se a produção e o consumo energético de fontes não renováveis e poluidoras e a emissão de poluentes decorrentes do setor da construção civil e dos transportes. O quadro de degradação ambiental resulta especialmente devido ao incremento dos índices de emissão de gases de efeito estufa, dentre os quais se mostra potencialmente prejudicial o dióxido de carbono.

Assim, tomando-se por base que as ações antrópicas são responsáveis por mudanças severas e negativas ao meio ambiente, afetando todos os seres – inclusive os humanos – que nele habitam, a presente pesquisa teve por escopo central aferir e comparar, por meio de dois estudos de casos e suas simulações, o conteúdo energético e as emissões de dióxido de carbono de três soluções de cobertura para habitações residenciais: coberturas verdes, em telha cerâmica e de fibrocimento. Isso, pois, são atribuídos pela literatura técnica diversos benefícios de mitigação de danos ambientais às coberturas verdes.

Logo, por meio da comparação dos estudos de casos em Porto Alegre/RS e Santa Maria/RS, em que foram implementadas esta tecnologia construtiva de topo de edificação, com a simulação destas mesmas coberturas em telhas cerâmicas e de fibrocimento, visou-se a buscar se as coberturas verdes se mostram efetivamente como uma tecnologia aliada a sustentabilidade no que tange à emissão de dióxido de carbono e ao consumo energético na sua fase pré-operacional.

Para tanto, inicialmente apresentou-se o cenário dos impactos ambientais hodiernos e as emissões de dióxido de carbono no Brasil, bem como conceituou-se e foram descritas as vantagens atribuídas às coberturas verdes na fase operacional. Posteriormente, ao se adentrar aos estudos de casos, buscou-se identificar e quantificar os insumos utilizados nas coberturas verde, de telha cerâmica e de fibrocimento, assim como determinou-se a emissão de dióxido de carbono e o consumo energético na fase pré-operacional destas coberturas, a fim de se responder a problemática de pesquisa.

Tomou-se por pressuposto que as coberturas verdes têm o potencial de mitigar danos ambientais, especialmente os causados pelo setor da construção civil de emissão de dióxido de carbono e de consumo energético na fase pré-operacional

da mesma forma como são descritas as vantagens na fase operacional, confirmando a hipótese da pesquisa.

Salienta-se, entretanto, que a tecnologia se torna sustentável com baixos índices de emissões de CO<sub>2</sub> e baixo consumo energético, pelos processos de fabricação dos materiais, de acordo com a escolha correta dos materiais selecionados para compor cada camada da cobertura verde, principalmente a camada de impermeabilização.

As coberturas verdes apresentaram melhores desempenhos quanto aos índices de emissões de CO<sub>2</sub> e de conteúdo energético, ou seja, as coberturas verdes se mostraram menos poluentes na fase pré-operacional.

Ademais, percebeu-se nas pesquisas bibliográficas que os benefícios atribuídos às coberturas verdes referem-se à fase operacional, o que não foi objeto da presente pesquisa. Todavia, cumpre ressaltar que dentre as possibilidades aqui analisadas para fechamento de topo de edificações, as coberturas verdes são a única tecnologia capaz de, mitigar os danos ambientais, em especial a emissão de dióxido de carbono, e fornecer um serviço ambiental à coletividade de sequestro de carbono durante o período de vida útil da tecnologia na edificação.

Assim sendo, as coberturas verdes se apresentaram a forma menos poluidora na fase pré-operacional, e contribuindo que seu atributo de sustentabilidade deve-se também a fase operacional, momento no qual todos os danos decorrentes de sua implementação podem ser mitigados. É neste campo que se indica a futuras pesquisas acadêmicas, haja vista que não se encontraram trabalhos científicos comparativos entre os três tipos de coberturas ora analisados na fase operacional a fim de mensurar qualitativamente, o quanto as coberturas verdes podem oferecer em sequestro de dióxido de carbono.

Por fim, sugere-se o estudo de sequestro de carbono para as gramíneas mais utilizadas em coberturas verdes extensivas, bem como o estudo do impacto ambiental causado pela implementação de coberturas verdes não artesanais, ou seja, vegetação aplicada sobre material industrial – blocos ou módulos – que são alocados sobre a cobertura impermeabilizada.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Clarissa; FEDRIZZI, Beatriz. Telhados Verdes na Habitação de Interesse Social. In: Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica, 2010. Disponível em <<http://www.joaobn.com/chis/Artigos%20CHIS%202010/044-B.pdf>>. Acesso em 05 dez. 2013.

ANDRADE, Maria Margarida. **Introdução à metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 1994.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**. 2da Ed. São Paulo: Edgar Blüncher, 1997.

BALDESSAR, Silvia Maria Nogueira. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil)-Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

BARTHOLOMEU, Daniela Bacchi. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

BERNARDES, Julio. Cobertura de baixo impacto ambiental melhora comportamento térmico de edificações. In: **Agência USP de Notícias**. São Paulo, boletim nº 1929, 03 out. 2010. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/bols/2006/rede1929.htm>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de Dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)>. Acesso em: 05 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Informação. **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/nacional/2\\_comunicacao\\_nacional/rr/residuos/brasil\\_mcti\\_residuos.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/nacional/2_comunicacao_nacional/rr/residuos/brasil_mcti_residuos.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-sobre-mudan%C3%A7a-do-clima>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

\_\_\_\_\_. **Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. Brasília, 24 nov. 2010b. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cop/panorama/o-que-esta-em-jogo/painel-intergovernamental-sobre-mudanca-do-clima-ipcc>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

BRIBÁN, Ignacio Zabalza; CAPILLA, Antonio Valero; USÓN, Alfonso Aranda. Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environment impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. In: **Bulding and Environment**. Vol.46, mai. 2011. Filadélfia: Elsevier, 2011.

CANTOR, Steven L. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. New York: W.W. Norton & Company, 2008.

CARSON, Rachel. **Primavera Silenciosa**. Tradução de Cláudia Sant'Anna Martins. São Paulo: Gaia, 2010.

CITY OF TORONTO. **Green Roof**. Disponível em: <<http://www.toronto.ca/greenroofs/index.htm>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

D'OLIVEIRA, Pérsio Sandir; LIMA, Igor Grecco de; Barroca, Bruna Barbosa. Influência do Telhado Ecológico com Plantas Verdes no Conforto Ambientais. In: Encontro de Produção Científica Cesumar, 2009, Maringá. **Anais...** Maringá: Centro Universitário de Maringá, 2009. Disponível em: <[www.cesumar.br/epcc2009/anais/igor\\_grecco\\_lima.pdf](http://www.cesumar.br/epcc2009/anais/igor_grecco_lima.pdf)> Acesso em: 05 dez. 2013.

DE SOUZA, Maria Cristina A. H. **Cobertura Verde**. 2008. Monografia. (Especialização em Construção Civil) – Escola Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

DEEZEN. **California Academy of Sciences**. Estados Unidos da América, out. 2008. Disponível em <[http://static.deezen.com/uploads/2008/10/10\\_living\\_roof.jpg](http://static.deezen.com/uploads/2008/10/10_living_roof.jpg)>. Acesso em: 05 dez. 2013.

DOIS MIL E DOZE. **Economia inca andense**. Peru, set. 2009. Disponível em: <<http://www.doismiledoze.com/wp-content/uploads/2007/09/economia-inca-andenes.jpg>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

DOW, Kirstin; DOWNING, Thomas E. **O atlas da mudança climática: o mapeamento completo do maior desafio do planeta**. Tradução de Vera Caputo. São Paulo: Publifolha, 2007.

ENGE, Nick. **Residential Green Roof in Norway** Disponível em <<http://www.lotuslive.org/buildings/files/norwaygreenroof.png>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

FARAH, Fulvio. **Classificação por tipo**. 30 mai. 2009. Disponível em: <<http://fulviofarah.blogspot.com/2009/05/classificacao-por-tipo.html>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

GEMELLI, Carolina Silveira Barlem. **Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimática: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico**. 2009. Dissertação (Mestrado e Doutorado em Engenharia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/21926/000738694.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1991.

GRAF, Helena Fernanda; TAVARES, Sérgio Fernando. **Energia incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial**. 2010. Disponível em: [http://sites.unifebe.edu.br/~congressoits2010/artigos/artigos/087\\_-\\_ENERGIA\\_INCORPORADA\\_DOS\\_MATERIAIS\\_DE\\_UMA\\_EDIFICACAO\\_PADRAO\\_BRASILEIRA\\_RESIDENCIAL.pdf](http://sites.unifebe.edu.br/~congressoits2010/artigos/artigos/087_-_ENERGIA_INCORPORADA_DOS_MATERIAIS_DE_UMA_EDIFICACAO_PADRAO_BRASILEIRA_RESIDENCIAL.pdf) >. Acesso em: 05 dez. 2013.

GREEN ROOFS. **ACROS Fukuoka Prefectural International Hall**. Disponível em <<http://www.greenroofs.com/projects/acros/acros5.jpg>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.

HOPKINS, Graeme; GOODWIN, Christine. **Living Architecture: Green Roofs and Walls**. Collingwood: CSIRO, 2011.

IGRA. **International Green Roof Association**. Disponível em: <<http://www.igra-world.com>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

INFOESCOLA. **Jardins suspensos da Babilônia**. Disponível em <[www.infoescola.com/historia/mesopotamia](http://www.infoescola.com/historia/mesopotamia)>. Acesso em: 15 set. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatísticas do Século XX**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/seculoxx/seculoxx.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2013.

INSTITUTO CIDADE JARDIM. **Coberturas verdes**. 28 fev. 2011. Disponível em: <<http://institutocidadejardim.wordpress.com/tag/telhado-verde/>>. Acesso em: 04 dez. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabelas de Consumo/Eficiência Energética: veículos automotores leves**. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves\\_2013.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2013.pdf)>. Acesso em: 04 dez. 2013.

INTERNATIONAL GREEN ROOF ASSOCIATION. **Green Roof**. Disponível em: <<http://www.igra-world.com/index.php>>. Acesso em: 04 dez. 2013.

JOÃO VOGEL. **Telha holandesa**. Disponível em: <[http://www.joaovogel.com.br/site/telha\\_holandesa.php](http://www.joaovogel.com.br/site/telha_holandesa.php)>. Acesso em: 05 dez. 2013.



KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. Alexandre Salvaterra (trad). Porto Alegre: Bookman, 2010.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do Trabalho Científico**: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1986.

MATTOS, Neide Simões de; GRANATO, Suzana Facchini. **Terra em alerta**. São Paulo: Saraiva, 2010.

MEZZAROBA, Orides; MONTEIRO, Cláudia Servilha. **Manual de metodologia a pesquisa no direito**. São Paulo: Saraiva, 2003.

MINKE, Gernot. **Techos Verdes**: planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo, Uruguay: Editorial Fin de Siglo, 2004.

MONAHAN, J.; POWELL, J. C. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: a case study using a lifecycle assessment framework. In: **Bulding and Environment**. Vol.43, jan. 2011. Filadélfia: Elsevier, 2011.

MONTENEGRO, Gildo. **Ventilação e cobertas: estudo teórico, histórico e descontraído**. São Paulo: Edgar Blüncher, 1984.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 2001.

OLIVEIRA, Eric Watson Netto de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2009.

ONDULINE. **Aplicação de manta**. Disponível em: <<http://www.onduline.com/tr/uploads/images/bitulineuygulamaresmi.png>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

ONU. **A ONU e o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente>>. Acesso em: 05 dez. 2013.a.

\_\_\_\_\_. **Rio+20**: Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20>>. Acesso em: 05 dez. 2013.b.

PAIVA, Patrícia Duarte de Oliveira. **Paisagismo conceitos e aplicações**. Lavras: Editora UFLA, 2008.

PETRUCCI, Eladio G. R. **Materiais de construção**. 11. Ed. São Paulo: Globo, 1998.

PLACITELLI, Carlos H. **Techos verdes en el Cono Sur**. Versión 1.0. 2010. CD-ROM.

PLATAFORMA ARQUITECTURA. **En detalle: Techos Verdes.** Disponível em: <<http://www.plataformaarquitectura.cl/2011/02/02/en-detalle-techos-verdes>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

Revista Técnica. **Telhados Verdes.** Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/148/artigo144157-1.asp>>. Acesso em: 05 dez. 2013.

SEGNINI, Aline; et. al. Seqüestro de Carbono em Solos com Gramíneas. In: **Revista Circular Técnica**. Vol. 41. set. 2007. São Carlos: EMBRAPA, 2007.

SNODGRASS, Edmund C.; MCINTYRE, Linda. **The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance.** London: Timber, 2010.

SPERB, Márcia Roig. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

STANG, Alana; HAWTHORNE, Christopher. **The Green House: new directions in sustainable architecture.** Princeton Architectural Press, 2005.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. **CO<sub>2</sub> Embutido em edificações residenciais brasileiras.** In: XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 7-10 out. 2008. Fortaleza: ENTAC, 2008.

\_\_\_\_\_. Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2005. **Anais...** Maceió. ENCAC, 2005.

\_\_\_\_\_. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2006.

THE WORLD BANK. **World Development Indicators: Brazil.** [2010?]. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/country/brazil>>. Acesso em: 04 dez. 2013.

THEIS, I. M. **Limites Energéticos do Desenvolvimento.** Blumenau: Editora da FURB, 1996.

UFPR. **Troca do telhado do Hospital Veterinário.** Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.pra.ufpr.br/portal/pcu/servicos-da-pcu-2/acompanhamento-de-obras-em-execucao/campus-ii-agrarias/troca-do-telhado-do-hospital-veterinario>>. Acesso em 04 dez. 2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses:** MDT. 7 ed. rev. e atual. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2010.

VAN LENGEN, Johan. **Manual do Arquiteto Descalço**. São Paulo: Editora Empório do Livro, 2008.

VECCHIA, Francisco. Cobertura verde leve (CVL): Ensaio experimental. In: ENCAC – ELACAC, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2005. Disponível em: <[http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121\\_COBERTURA\\_VERDE\\_LEVE\\_ENSAIO\\_EXPERIMENTAL.pdf](http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121_COBERTURA_VERDE_LEVE_ENSAIO_EXPERIMENTAL.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2013.

YOUNGMAN, Angela. **Green Roofs: a guide to their design and installation**. Marlborough: Crowood, 2011.

## APÊNDICE

### ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Durante a conversa com o proprietário levar em consideração algumas informações para a pesquisa, são estas:

- Data e/ou período/mês de implementação da cobertura verde;
- Camadas que compõem a cobertura verde – materiais utilizados;
- Quantidade de material utilizado em cada camada;
- Local onde foram adquiridos os materiais que compuseram a cobertura verde;
- Numero de pessoas que contribuíram para realizar o trabalho;
- Houve algum profissional especializado para realizar alguma atividade específica;
- Dias de trabalho necessários para a atividade específica;
- Meios de transporte dos materiais;
- Dias de trabalho para concluir todas as etapas da cobertura verde.