

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS III**

**THAIS VIEIRA LOPES**

**TELHADO VERDE, ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>:  
UMA ANÁLISE COMPARATIVA A SISTEMAS DE COBERTURA  
CONVENCIONAIS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2014**

**THAÍS VIEIRA LOPES**

**TELHADO VERDE, ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>:  
UMA ANÁLISE COMPARATIVA A SISTEMAS DE COBERTURA  
CONVENCIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construções Sustentáveis, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sergio  
Fernando Tavares

**CURITIBA**

**2014**

**THAÍS VIEIRA LOPES**

**TELHADO VERDE, ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>: UMA  
ANÁLISE COMPARATIVA A SISTEMAS DE COBERTURA  
CONVENCIONAIS**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de *Especialista* no Curso de Construções Sustentáveis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

---

Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares  
Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFPR

Banca:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra Libia Patrícia Peralta Agudelo  
Professora do III Cecons, UTFPR

---

Prof. Dr. Eduardo Leite Kruger  
Professor do DACOC, UTFPR

Curitiba  
2014

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Sérgio Fernando Tavares, pela confiança, disposição e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

À UTFR e Escritório Verde pela estrutura disponibilizada.

A todos os professores do III CECONS pelas aulas ministradas e dedicada transmissão de seus conhecimentos.

Aos colegas de jornada pelas inúmeras horas compartilhadas.

À minha mãe, fonte inesgotável de carinho e exemplo de dedicação à vida acadêmica.

*“Trabalhar com sustentabilidade  
é plantar um presente que garanta a subsistência das novas gerações  
num planeta que pede socorro e se aquece a cada dia.  
Pois melhor que plantar árvores, despoluir rios, proteger animais,  
É semear a consciência de que a garantia da vida é respeitar as fronteiras da  
natureza.”*

Nildo Lage

## RESUMO

VIEIRA LOPES, Thaís. Telhado verde, energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>: Uma análise comparativa a sistemas de cobertura convencionais. 2014. 92 folhas. Monografia de especialização em construções sustentáveis – DACC - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba.

O crescimento populacional urbano das últimas décadas trouxe um grande impacto para a área urbana, seja na redução de áreas permeáveis nas cidades, seja nos impactos causados pela construção civil acelerada para atender à esta demanda. Neste sentido o uso de telhados verdes pode surgir como uma alternativa para combater alguns dos efeitos do adensamento urbano atual, como a redução de ilhas de calor, melhoria da qualidade do ar e da água dos ambientes, e na qualidade das edificações. Os telhados verdes são uma técnica construtiva milenar, e nas últimas décadas tem tomado uma conotação cada vez mais sustentável no sentido de produzir um menor impacto ambiental se comparado a sistemas de cobertura convencionais. A partir disso o trabalho procura analisar sete sistemas construtivos, que vão de coberturas convencionais em laje pré-moldada e coberturas cerâmicas a propostas de utilização de telhado verde com estrutura em madeira, ou ainda sobre uma laje pré-moldada. Para isso foram utilizadas tabelas de composição e quantificação dos materiais em 7 sistemas de cobertura analisados, para em seguida calcular os valores de Energia Embutida (MJ) e emissão de CO<sub>2</sub> desses materiais. Com isso pode-se comparar entre os sete sistemas quais seriam os de menor impacto em termos de Energia Embutida e CO<sub>2</sub>. Conclui-se que três dos sistemas de cobertura verdes tiveram índices de EE e emissão de CO<sub>2</sub> menores do que as coberturas convencionais com laje cerâmica, sendo portanto uma alternativa eficiente às coberturas em laje cerâmica, do ponto de vista do menor impacto ambiental.

**Palavras-chave:** Telhado verde. Energia Embutida. Emissão de CO<sub>2</sub>. Sustentabilidade. Arquitetura

## ABSTRACT

VIEIRA LOPES, Thais. Green roof, embodied energy and CO2 emission: A comparative analysis with conventional roofing systems. 2014. 92 sheets. Monograph of expertise in sustainable construction - DACC – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR. Curitiba.

Urban population growth in recent decades has brought a big impact to the urban areas, as in the reduction of permeable areas in cities, as the impacts caused by the accelerated building construction to complete this demand. Therefore the use of green roofs may emerge as an alternative to contest some of the effects of the actual urban density, such as the reduction of heat islands, improving the quality of air and water environments, and the quality of the buildings. Green roofs are a millenary construction technique, and in recent decades have taken an increasingly sustainable connotation producing a lower environmental impact compared to conventional roofing systems. So the paper analyzes seven construction systems ranging from conventional roofing precast slab and ceramic covers to propose the use of green roof wooden structure, or on a precast slab. Tables of composition and quantification of these 7 roofing materials systems were analyzed to then calculate the values of embodied energy (MJ) and CO2 emissions. However you can compare among the seven systems which would have the lowest impact in terms of embodied energy and CO2. The conclusion was that the three green roof systems have indices of EE and CO2 smaller than conventional roofing tile with the slab, thus being an efficient alternative to the coverage ceramic slab, from the viewpoint of reduced environmental impact.

**Keywords:** Green roof. Embodied Energy. CO2 emission. Sustainability. Architecture

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Telhado verde na Noruega.....	18
Figura 2 Terraço Jardim na Villa Savoye .....	19
Figura 3 Terraço do Ministério da Educação e Cultura (Rio de Janeiro).....	20
Figura 4 Corte esquemático de um telhado verde extensivo.....	21
Figura 5 Telhado verde extensivo da Escola de Arte, Design e Multimídia – Universidade Tecnológica de Nanyang, em Cingapura .....	21
Figura 6 Corte esquemático de um telhado verde intensivo .....	22
Figura 7 Telhado verde intensivo do edifício ACROS, sede da prefeitura da cidade de Fukuoka, no Japão .....	23
Figura 8 Camadas de uma cobertura verde.....	24
Figura 9 Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica .....	41
Figura 10 Laje com sombreamento em argila expandida.....	42
Figura 11. Telhado em estrutura de madeira .....	43
Figura 12. Etapas de construção dos telhados verdes.....	44
Figura 13 Módulos do sistema Hexa .....	45
Figura 14 Composição do telhado no sistema Hexa .....	46
Figura 15. Sistema modular Instituto Cidade Jardim.....	47
Figura 16 Valores de energia embutida dos materiais que compõem o substrato .....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Emissões brasileiras de CO <sub>2</sub> no setor de processos industriais.....	33
Tabela 2. Modelo de composição e quantitativo de materiais.....	34
Tabela 3. Descrição dos sistemas de telhados analisados.....	34
Tabela 4. Modelo de tabela de valores de EE e CO <sub>2</sub> nos materiais que compõem um sistema de cobertura.....	35
Tabela 5. Valores de EE(MJ/Kg) dos principais materiais utilizados.....	36
Tabela 6. Valores de CO <sub>2</sub> (Kg) para os principais materiais utilizados.....	37
Tabela 7. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 1.....	50
Tabela 8. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 2.....	51
Tabela 9. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 3.....	52
Tabela 10. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 4.....	53
Tabela 11. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 5.....	54
Tabela 12. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 6.....	55
Tabela 13. Energia Embutida nos principais materiais do sistema 7.....	56
Tabela 14. Energia Embutida nos principais materiais dos sete sistemas.....	57
Tabela 15. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos sete sistemas.....	59
Tabela 16. Materiais com maior emissão de CO <sub>2</sub> nos sete sistemas.....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Emissões brasileiras de CO <sub>2</sub> distribuída por setores. ....	32
Gráfico 2. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 1. ....	50
Gráfico 3. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 2. ....	51
Gráfico 4. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 3. ....	52
Gráfico 5. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 4. ....	53
Gráfico 6. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 5. ....	54
Gráfico 7. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 6. ....	55
Gráfico 8. Valores totais de CO <sub>2</sub> nos materiais do sistema 7. ....	56
Gráfico 9. Energia embutida nos sete sistemas de cobertura. ....	57

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Objetivo Geral .....	14
1.3 HIPÓTESES .....	14
1.4 JUSTIFICATIVAS .....	14
1.4.1 Justificativa ambiental .....	14
1.4.2 Justificativa Social .....	15
1.4.3 Justificativa Econômica .....	16
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	17
2.2 OS TELHADOS VERDES.....	17
2.2.1 Tipos de telhado verde.....	20
2.2.1.1 Telhados verdes extensivos .....	20
2.2.1.2 Telhados verdes intensivos.....	22
2.2.2 Estruturas dos telhados verdes .....	23
2.2.2.1 Vegetação .....	24
2.2.2.2 Substrato.....	24
2.2.2.3 Membrana filtrante .....	25
2.2.2.4 Camada de drenagem.....	25
2.2.2.5 Camada de retenção de água.....	26
2.2.2.6 Isolamento térmico.....	26
2.2.2.7 Proteção anti raízes.....	26
2.2.2.8 Membrana de impermeabilização.....	26
2.2.3 Benefícios.....	27
2.3 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA.....	28
2.4 AS CIDADES DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO.....	28
2.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE TELHADOS VERDES.....	30
2.6 ENERGIA EMBUTIDA.....	31
2.7 GERAÇÃO DE CO <sub>2</sub> ASSOCIADOS A CONSTRUÇÃO CIVIL .....	31
<b>3 METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>34</b>
3.1 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS .....	35
3.1.1 Composição dos sistemas de cobertura .....	35
3.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS.....	37
<b>4 OS SISTEMAS DE TELhado UTILIZADOS</b> .....	<b>39</b>
4.1 SISTEMAS DE COBERTURA CONVENCIONAIS .....	40
4.1.1 Sistema 1 – Laje pré moldada com cobertura em telha cerâmica.....	40
4.1.2 Sistema 2 – Laje pré-moldada com sombreamento.....	41

4.1.3 Sistema 3 – Telhado em estrutura de madeira com cobertura em telha cerâmica.....	42
4.2 SISTEMAS DE COBERTURA COM TELHADO VERDE .....	43
4.2.1 Sistema 4 – Telhado verde Hexatelhado .....	45
4.2.2 Sistema 5 – Telhado verde modular Instituto Cidade Jardim .....	47
4.2.3 Sistema 6 – Telhado verde vernacular.....	48
4.2.4 Sistema 7 – Telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada .....	48
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>49</b>
5.1. RESULTADOS OBTIDOS NOS SISTEMAS DE COBERTURA PROPOSTOS.....	49
5.1.1. Sistema 1 – Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica.....	49
5.1.2. Sistema 2 – Laje pré-moldada sombreada com argila expandida.....	50
5.1.3. Sistema 3 – Telhado com estrutura em madeira e cobertura em telha cerâmica.....	52
5.1.4. Sistema 4 – Telhado verde sistema hexa .....	53
5.1.5. Sistema 5 – Telhado verde sistema modular .....	54
5.1.6. Sistema 6 – Telhado verde vernacular.....	55
5.1.7. Sistema 7 – Telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada .....	56
5.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	57
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>61</b>
<b>7 TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS FIGURAS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>91</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O adensamento populacional urbano vem se mostrando um grave problema urbano, onde as áreas verdes cada vez mais escassas, são suprimidas de maneira a dar espaço para abrigo a essa população que aumenta exponencialmente. A ocupação desordenada e urgente acaba por alterar o equilíbrio do espaço construído. A humanidade, que antes tinha formas de abrigo menos agressivas ao meio ambiente, onde prevaleciam materiais naturais, hoje tem suas técnicas construtivas cada vez mais desenvolvidas, e de certa forma mais destrutivas, pois os materiais e tecnologias existentes permitem ao homem construir sem se preocupar com os aspectos físicos e geográficos do seu meio, haja vista que as condições necessárias para uma boa habitabilidade podem ser obtidas de maneira artificial: iluminação elétrica, conforto térmico e acústico mecânicos, entre outros.

Através da evolução tecnológica alcançada, o homem se afasta cada vez mais das técnicas mais primitivas, ou orgânicas de construir, degradando de forma assustadora o espaço e o meio ambiente.

Roaf (2006) afirma que o mundo precisa de profissionais que integrem arquitetura, ecologia e engenharia, que possam projetar edifícios mais passivos, que usem menos energia, ou o mínimo possível, e que esta energia seja proveniente de fontes renováveis. É preciso, segundo ele, que exista o desenvolvimento de uma consciência, além de uma formação profissional, de maneira que possam projetar e construir com interdisciplinaridade, de maneira a adequar as necessidades de construção juntamente com propostas mais sustentáveis.

Ao se estudar novas tecnologias, busca-se estimular os profissionais atuantes na construção civil a buscarem maneiras de projetar e construir gerando um menor impacto, utilizando de menos recursos naturais, e mais materiais e matérias-primas renováveis, e dessa forma gerar um impacto menor, seja no clima e microclimas urbanos quanto na qualidade de vida da população.

Mais difundidos no período do modernismo, os telhados verdes (naquela altura presentes nos terraços-jardins) tem sua origem desde muito antes, há séculos utilizados em várias culturas pelo mundo. No Brasil, seu uso até hoje é pouco difundido, porém recentemente tem ganhado alguma popularidade, por conta das possibilidades e benefícios que eles apresentam. Sua contribuição na melhora do conforto térmico nas edificações, além da contribuição na filtragem e drenagem de água de chuva, criação de microclimas, redução de efeito de ilhas de calor, aumento da flora e fauna urbana, entre outras vantagens tem se tornado mais conhecido com o passar dos anos.

Assim sendo, este trabalho visa comparar o potencial de energia embutida e de emissão de CO<sub>2</sub>, enquanto atributos de sustentabilidade, entre sete sistemas de cobertura verde, evidenciando a viabilidade não só deste ponto de vista, mas também do ponto de vista social, tecnológico e econômico.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Para garantir melhor qualidade de vida, e também a manutenção dos recursos naturais não renováveis, é necessário que se crie uma consciência ao projetar e construir, garantindo que as soluções a serem adotadas minimizem ou gerem o menor impacto ambiental possível. Dessa maneira, o uso de telhados verdes pode reduzir sensivelmente os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> na construção e manutenção das edificações. Baseada na demanda já descrita, surge o problema desta pesquisa.

Um sistema de telhado verde extensivo tem menos energia incorporada e emite menos CO<sub>2</sub> se comparado a um sistema de cobertura em telha cerâmica ou laje de concreto convencional?

## 1.2 OBJETIVOS

Este tópico abordará os objetivos gerais do presente trabalho.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise comparativa entre sistemas de telhados tradicionais mais comuns no Brasil e sistemas de telhado verde, no tocante a emissão de CO<sub>2</sub> e energia embutida.

### 1.3 HIPÓTESES

A redução de carga de energia embutida em um telhado verde está relacionada a menor quantidade de material utilizado, e também à tipologia de materiais que podem ser utilizados na elaboração de um sistema de cobertura verde. Dessa forma, entende-se que uma estrutura de cobertura verde que não utilize um embasamento em laje de concreto armado possa ter níveis de energia embutida menores e também uma menor emissão de CO<sub>2</sub>, se comparados a sistemas de cobertura em cerâmica ou laje impermeabilizada.

### 1.4 JUSTIFICATIVAS

Diante dos impactos gerados pela exploração e uso desenfreado de recursos naturais e energéticos, que recairão diretamente sobre as próximas gerações, justifica-se este estudo como uma tentativa de mensurar e comparar diretamente qual tecnologia de cobertura proposta tem menor impacto ambiental.

Seis setores industriais que são os responsáveis pelo maior consumo energético no Brasil, nomeadamente a indústria de cimento, cerâmica, metais não ferrosos, indústria do aço, mineração e indústrias químicas, são setores diretamente ligados à construção civil, e são responsáveis, conjuntamente, pelo uso de 75% de energia de fontes não renováveis (TAVARES, 2006).

#### 1.4.1 Justificativa ambiental

O impacto do adensamento urbano tem reflexo ambiental direto, à medida que as áreas urbanizadas tornam-se cada vez menos permeáveis,

dando lugar a um solo compactado e impermeabilizado. O efeito estufa e as ilhas de calor são fenômenos que estão se tornando uma realidade cada vez mais palpável nos centros urbanos, onde as condições climáticas são diretamente afetadas pela maneira como a urbanização se estabelece. Nesse sentido o uso de telhados verdes pode ser uma ferramenta de mitigação desses efeitos, à medida que entre seus benefícios estão a diminuição do efeito de ilha de calor, a absorção de água de chuva e conseqüente benefício a drenagem urbana, além de serem uma ferramenta de absorção de CO<sub>2</sub> e de melhoria das condições ambientais urbanas.

#### 1.4.2. Justificativa Social

Atualmente, a população urbana é superior a 50% da população mundial, e a expectativa é que esse número avance de maneira acelerada, onde a demanda por espaço e habitação humana vem na contramão da capacidade urbana de oferecer condições de habitabilidade na mesma velocidade solicitada. Os problemas sociais decorrentes desse desequilíbrio entre oferta e procura são imensos, e cada vez mais conhecidos, destacando-se os problemas de enchentes, deslizamentos, trânsito, problemas respiratórios e alérgicos derivados do excesso de poluição, entre muitos outros. Baldessar (2012), em seu estudo de telhado verde como mecanismo de captação de águas pluviais, aponta que um sistema de telhado verde pode reduzir em até 70% o envio de água de chuva para a rede pluvial, além de que a utilização de coberturas verdes poderia aumentar a área permeável de um terreno para 75%, onde a taxa de ocupação de um lote é de 50%, atingindo o triplo de permeabilidade exigida pelo município de Curitiba. Dessa forma o uso de telhado verde viria a contribuir na drenagem urbana, à medida que reduziria o seu escoamento imediato para o sistema de captação de água da rede pública, rios e córregos urbanos, de maneira a impedir ou minimizar as enchentes urbanas.

### 1.4.3 Justificativa Econômica

Talvez a justificativa econômica mais aceita para a utilização de coberturas verdes seja detectada através da análise de seu ciclo de vida, já que a sua vida útil pode facilmente ultrapassar o dobro da vida útil de um sistema de cobertura convencional (SAVI, 2012), pois o telhado verde não sofre diretamente com a ação do clima, o contrário do que acontece com uma cobertura tradicional, onde as mudanças climáticas e variações de temperatura agem diretamente sobre as propriedades físico químicas destas estruturas, solicitando manutenção constante, principalmente em lajes impermeabilizadas, que sofrem influência direta da ação dos raios ultravioleta, e dilatação dos materiais que compõe sua estrutura. Desta forma, o telhado verde pode servir ainda como um agente de proteção da cobertura que está sob ele, reduzindo a amplitude de variação térmica, e ainda a evitando a exposição direta aos raios solares. Pode-se considerar ainda que o isolamento térmico ocasionado pelo telhado verde contribui com uma economia de energia, seja para calefação ou resfriamento da edificação onde está inserido. Os telhados verdes, quando inseridos sobre uma laje de concreto, possuem custo superior aos sistemas convencionais, e destaca com isso a importância de novas tecnologias que visem desenvolver o sistema de cobertura verde, e também de se considerar a avaliação de um telhado verde durante a análise do ciclo de vida de uma edificação (SAVI, 2012).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em 1987, o Relatório Brundtland (1991), apresentou um novo olhar sobre o desenvolvimento, definindo-o como o processo que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. É a partir daí que o conceito de desenvolvimento sustentável passa a ficar conhecido. Elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio ambiente e Desenvolvimento, o Relatório de *Brundtland* acena para a falta de compatibilidade entre desenvolvimento sustentável e produção e consumo, mostrando a necessidade de estabelecer uma nova relação entre desenvolvimento humano e meio ambiente, sem sugerir, no entanto, uma estagnação de crescimento econômico, e sim buscar uma interação mais adequada, conciliando as questões ambientais e sociais.

A definição de desenvolvimento sustentável, de acordo com o relatório é “um desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”.

A necessidade de uma economia crescente, assim como a escassez de recursos naturais e as grandes mudanças climáticas acabam por ameaçar nossa capacidade de alcançar esse objetivo.

### 2.2 OS TELHADOS VERDES

Também denominados de terraços-jardim, tetos verdes, coberturas verdes, jardins suspensos e *green roofs*, são os usos mais conhecidos de vegetação em sistemas de coberturas. Neste trabalho o termo empregado será Telhados Verdes (TV).

Telhados verdes são estruturas de cobertura onde são aplicadas diversas camadas, entre elas camadas de solo e vegetação. Apesar de ser mais comum encontrar telhados verdes sobre lajes, o telhado verde é um sistema construtivo que pode permitir variações e aplicação sobre diversas

superfícies e estruturas. Nos telhados verdes modernistas eram quase sempre encontrados sobre lajes planas de concreto, porém em alguns países, como a Alemanha e outros países nórdicos, é comum observar esse tipo de telhado em coberturas inclinadas. São construídos em diferentes camadas e espessuras variáveis, porém normalmente consistem de uma camada de barreira de raiz, drenagem, filtro, meio de cultura ou substrato e por último a camada de vegetação (BIANCHINI, *ET AL* 2011). A classificação dos telhados verdes, de acordo com sua finalidade e características, é dividida entre telhados intensivos e extensivos, ou ainda um terceiro tipo intermediário e menos comum chamado de semi-intensivo. Coberturas intensivas exigem uma profundidade maior de solo ou substrato, e exigem mais manutenção e substrato além de ser um sistema mais pesado, normalmente associado aos telhados-jardins.

Telhados extensivos possuem uma camada de substrato relativamente fina e exigem menos manutenção.

### Figura 1. Telhado verde na Noruega



Fonte: Viver de Eco

A origem desses sistemas de cobertura vem de alguns séculos, principalmente em regiões de temperaturas mais baixas, em regiões como a Escandinávia e Islândia, que foram as precursoras no uso dessa tecnologia construtiva. Ainda existem registros de uso desse sistema em regiões mais

quentes, a exemplo da Tanzânia. Usado com a função de garantir o isolamento térmico, o telhado verde era utilizado na Islândia como mecanismo para evitar o uso de calefação (SAVI, 2012 *apud* MINKE, 2004).

Existem referências de utilização do telhado verde datadas do período de 4000 a 600 a.C. na Babilônia, segundo Osmundson (1999) os Jardins Suspensos da Babilônia sejam talvez o exemplo mais difundido.

Le Corbusier adotou o uso de terraços-jardins como um dos cinco princípios do modernismo, onde a recuperação de espaços sem uso nas coberturas através da criação de jardim, foi talvez uma maneira de integrar as edificações além de inseri-las em um contato maior com a natureza (SAVI, 2012).

**Figura 2. Terraço Jardim na Villa Savoye, Le Corbusier 1928.**



Fonte: Ambientalista sem rede

No Brasil, o uso de terraços jardins tem exemplos significativos na arquitetura moderna, tendo o Burle Marx como um dos seus grandes defensores. Os prédios mais significativos com o uso dessa tecnologia são

prédios institucionais, como pro exemplo o Ministério da Educação e Cultura, no Rio de Janeiro (Figura 1).

**Figura 3. Terraço do Ministério da Educação e Cultura no Rio de Janeiro**



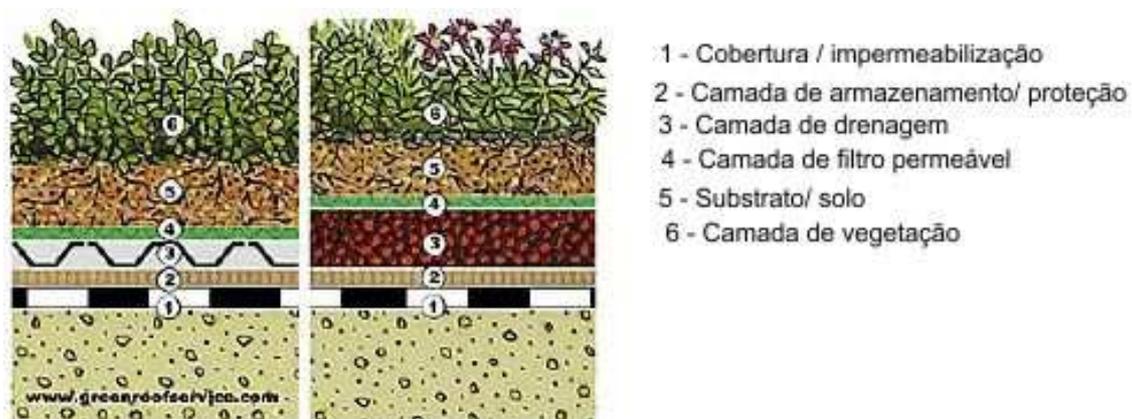
Fonte: Panoramio

### 2.2.1 Tipos de telhado verde

Os telhados verdes são divididos em 3 tipos básicos, no entanto as tipologias mais comumente encontradas são as descritas como telhado verde extensivo e telhado verde intensivo, cujas características serão descritas a seguir.

#### 2.2.1.1 Telhados verdes extensivos

**Figura 4. Corte esquemático de um telhado verde extensivo**



Fonte: greengridroofs (2014)

São coberturas mais simples e resistentes, e geralmente tem um custo menor de implantação e manutenção. São indicadas para qualquer tamanho de área, e por ter um peso menor, se adaptam melhor a estruturas de coberturas já existentes.

A vegetação ideal para este sistema é a de pequeno porte, pois a espessura do substrato não pode ser espessa, geralmente entre 8 e 12 cm, e o substrato entre 4 e 19 cm. Os telhados extensivos tem durabilidade estimada em 30 anos, e aceitam inclinações entre 0° e 30°.

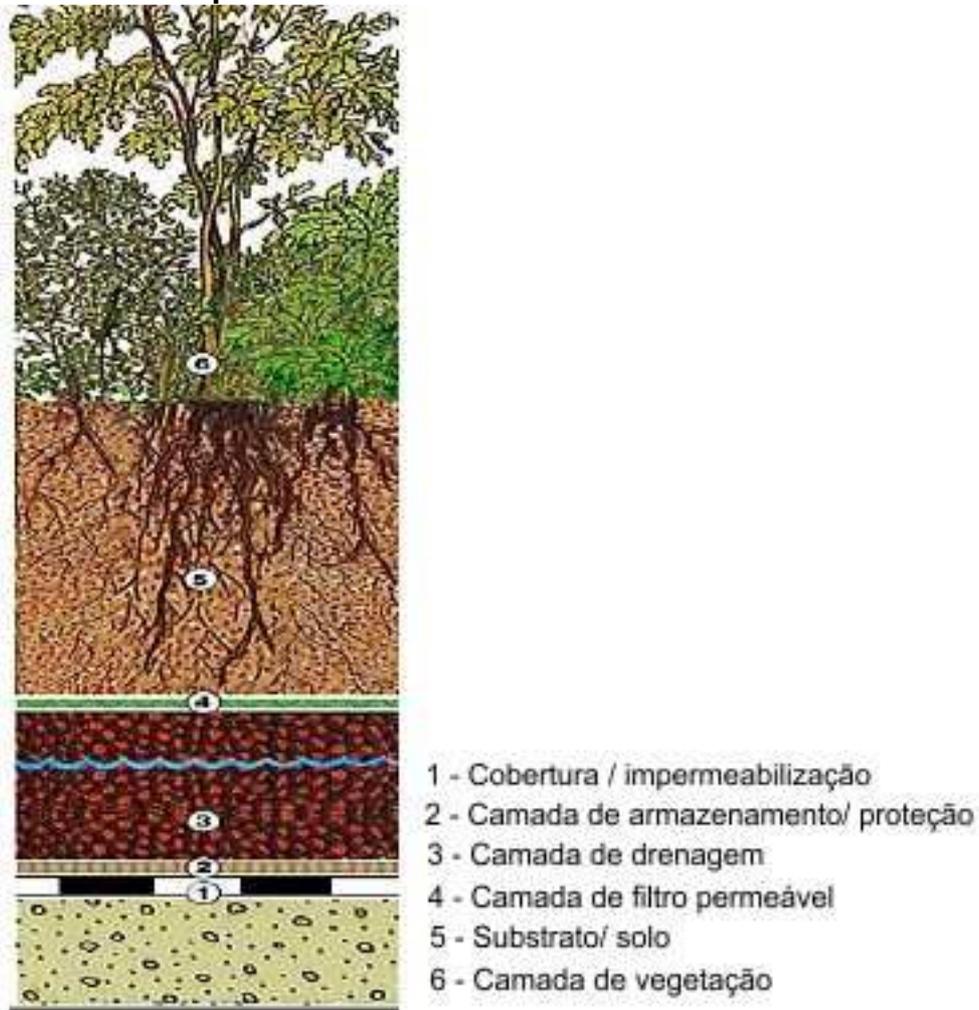
**Figura 5. Telhado verde extensivo da Escola de Arte, Design e Multimídia – Universidade Tecnológica de Nanyang, em Cingapura**



Fonte: Green Roofs (2014)

### 2.2.1.2 Telhados verdes intensivos

**Figura 6. Corte esquemático de um sistema de telhado verde intensivo**



Fonte: greengridroofs (2014)

Devido a sua camada de substrato e drenagem serem significativamente mais espessas, admite uma maior variabilidade de plantas, inclusive de porte maior, porém requerem sistemas de irrigação e manutenção mais complexos, semelhantes a um jardim tradicional. Exige uma espessura mínima de substrato entre 15 cm podendo chegar até 2 metros. Tem custos para instalação e manutenção maiores do que os sistemas extensivos, além de exigirem um projeto estrutural adequado para suportar tamanha carga, que pode chegar a 1200kg/m<sup>2</sup> em função da espessura de substrato e acúmulo de

água. Esse sistema também exige uma inclinação menor da cobertura, que pode variar entre  $0^\circ$  e  $1,2^\circ$ .

**Figura 7. Corte Telhado verde intensivo do edifício ACROS, sede da prefeitura da cidade de Fukuoka, no Japão**

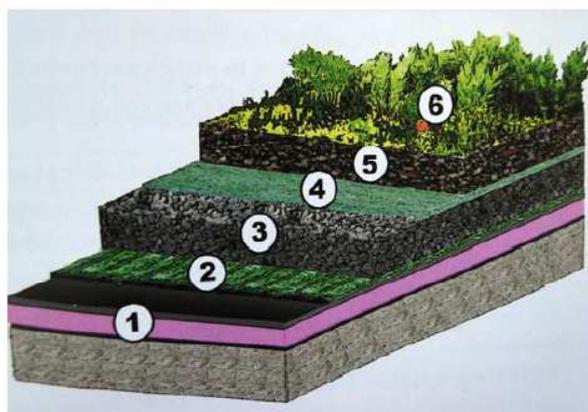


Fonte: Skyscrapercity (2014)

### 2.2.2 Estruturas dos telhados verdes

Telhados verdes são basicamente compostos por camadas de vegetação, substrato, membrana filtrante, camada de drenagem, camada de retenção de água, isolamento térmico, membrana anti raízes, membrana de impermeabilização e infraestrutura de suporte (NASCIMENTO, 2008).

**Figura 8. Camadas de uma cobertura verde.**



- 1 - pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização.
- 2 - proteção e camada de armazenamento.
- 3 - camada de drenagem.
- 4 - camada anti-raiz e filtro permeável.
- 5 - camada de substrato.
- 6 - vegetação.

Fonte: Baldessar (2012)

### 2.2.2.1 Vegetação

A vegetação deve ser escolhida de maneira a considerar a tipologia de uso pretendida, além de prever a manutenção possível. O clima e a profundidade do substrato também são condicionantes para a definição de vegetação a ser plantada, pois o tipo de substrato, a profundidade, o sombreamento e a demanda de nutrientes são fatores de grande importância a serem observados.

No sistema extensivo geralmente são escolhidas espécies nativas, mais resistentes a escassez ou excesso de água, assim como variações de temperatura. São mais indicadas espécies de pequeno porte, com crescimento rápido e capacidade de autorregeneração, com sistema de raízes pouco profundo, e mais resistente a pragas e doenças. Sendo assim, espécies como gramíneas e suculentas são as mais indicadas para coberturas extensivas, por exemplo, (NASCIMENTO, 2008 *apud* POUHEY, 1998).

### 2.2.2.2 Substrato

O solo que servirá de suporte para o desenvolvimento da vegetação do telhado é também chamado de substrato, e será o responsável por armazenar os nutrientes e a água que darão condições de desenvolvimento e manutenção

das plantas nas coberturas verdes. Em coberturas extensivas, utilizam-se substratos de cultivo que podem ser orgânicos ou inorgânicos, porém diferente do solo natural utilizado para a agricultura. Substratos orgânicos são compostos elaborados a partir de matéria vegetal, geralmente resíduos agrícolas, como cascas de árvores, fibras e casca de arroz.

Os substratos minerais ou inorgânicos podem ter origem natural, sem existência de processos de manufatura, como a brita ou areia, ou ainda serem manufaturados, como a argila expandida ou vermiculita.

#### 2.2.2.3 Membrana filtrante

Utilizada principalmente para evitar que a camada de drenagem sofra obstrução por partículas do substrato, geralmente é composta por uma manta geotêxtil, de 200 micras, fabricada em polipropileno ou poliéster. Esta membrana é estendida sobre a camada de drenagem, sobrepostas e coladas ao longo do perímetro de cobertura (NASCIMENTO, 2008).

#### 2.2.2.4 Camada de drenagem

Sua função principal é fazer com que o excesso de água saia do substrato, afim de evitar o alagamento do solo, e conseqüentemente o apodrecimento das raízes. Telhados verdes extensivos podem dispensar essa camada, se forem utilizados em superfícies com inclinação superior a 5°, porém em telhados sobre superfícies planas essa camada é indispensável. Os materiais mais comumente utilizados para a drenagem são granulares (brita, seixo ou argila expandida), ou ainda elementos fabricados ou manufaturados, como placas de poliestireno ou polipropileno com protuberâncias que permitam o escoamento rápido da água em excesso (NASCIMENTO, 2008).

#### 2.2.2.5 Camada de retenção de água

Serve quase como o oposto da camada de drenagem, pois sua função PE acumular a água de chuva ou irrigação, a fim de garantir os nutrientes necessários para o desenvolvimento da vegetação. Pode ser encontrada na forma de painéis absorventes de composições variadas, ou ainda em forma de um gel que pode ser incorporado ao substrato. Existem no mercado painéis fabricados com lã de rocha agregada a elementos químicos que aumentam sua capacidade de absorção e retenção de água. Em coberturas intensivas são utilizadas placas moldadas em polipropileno ou poliestireno.

#### 2.2.2.6 Isolamento térmico

O isolamento é basicamente formado pela sobreposição das camadas que compõe o telhado verde, pois tais camadas reduzem a passagem de energia, como afirma Nascimento (2008) *apud* González (2001). Tal efeito isolante não é fixo ou constante, pois depende do conteúdo das camadas, além do fluxo de água no sistema, e a interferência dos ventos, o que dificulta a mensuração de tal efeito.

#### 2.2.2.7 Proteção anti raízes

É a primeira camada, que vai diretamente sobre a impermeabilização e estrutura. Serve para preservar a estrutura da cobertura, de maneira a evitar danos estruturais. Geralmente é utilizada uma manta de poliestireno de 200 micras, porém é recomendado a utilização de um aditivo herbicida, de maneira a garantir que as raízes não ultrapassem nem se desenvolvam nesta camada.

#### 2.2.2.8 Membrana de impermeabilização

Tem a função de prevenir a infiltração de água na cobertura, além de inibir a ação das raízes na estrutura. A impermeabilização preferencialmente deverá ser realizada sobre uma camada de regularização, para garantir um

desempenho mais eficiente, de maneira a impedir que uma superfície heterogênea, com protuberâncias ou partículas soltas, danifique a manta de impermeabilização. Os sistemas de impermeabilização podem ser rígidos ou flexíveis, pré-fabricados ou ainda moldados no local.

### 2.2.3 Benefícios

Nascimento (2008) descreve uma série de benefícios proporcionados pelos telhados verdes, entre eles aspectos físicos, biológicos, sociais e globais, divididos em escalas arquitetônicas e urbanas, dos quais podemos destacar, entre outros, os efeitos térmicos, que geram um resfriamento interno através do isolamento da cobertura, e em escala urbana a redução dos efeitos de ilhas de calor nos ambientes externos do entorno. O isolamento acústico, e a melhora da qualidade do ar e da água também são efeitos físicos bastante notáveis no uso do sistema de coberturas verdes.

Se considerarmos os aspectos biológicos, teremos um incremento da diversidade do espaço verde, além de proporcionar a recuperação de espécies da fauna e da flora regionais.

Entre os benefícios, estão outros de aspecto social de grande importância, como a possibilidade de geração de trabalho, nas instalações e manutenções dos telhados, a possibilidade de cultivo num sistema de agricultura urbana, a melhora da paisagem urbana, a possibilidade de uso dos telhados verdes como forma de promover a educação ambiental e a conscientização.

Por fim, a autora considera ainda aspectos globais relacionados ao telhado verde, como a redução no consumo de energia e controle dos microclimas, além da redução de emissões pelo menor uso de energia e retenção de partículas contaminantes que existam no ar, e também a redução de superfícies pavimentadas.

## 2.3 REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

Segundo Dutil *et al* (2011) a redução do consumo de energia, especialmente a gerada através de combustíveis fósseis, é uma necessidade mundial. Para diminuir os efeitos das mudanças climáticas, o mundo precisa reduzir suas emissões de CO<sub>2</sub> em pelo menos 50% até o ano de 2050.

Reduzir a energia incorporada em materiais de construção é um assunto em foco no momento. O cálculo de energia incorporada é utilizado para medir o impacto ambiental das construções, e é considerado um indicador de sustentabilidade de edificações. Considera-se como energia incorporada, toda aquela utilizada para a fabricação dos materiais que serão usados na construção de um edifício, e contempla desde a extração desses materiais até o destino final na obra, incluindo nisso o transporte das matérias primas e dos produtos finais, (GRAF e TAVARES, 2010).

Para dimensionar o tamanho do impacto da construção civil no consumo de energia produzida, apenas em 2010 os Estados Unidos utilizaram 50% de toda a energia produzida por eles na construção civil, e com isso geraram metade do total de emissão gases do efeito estufa do país, apenas com a construção de edifícios (MENASSA, 2011).

## 2.4 AS CIDADES DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO

As baixas emissões de carbono pode ser considerado um fator fundamental para a contribuição do desenvolvimento sustentável e urbano eficaz, no combate as alterações climáticas. Para (YUNG, 2012), a reutilização adaptativa de edifícios faz parte do quadro para alcançar cidades com baixa emissão de carbono, e para isso deve ser vista de maneira mais holística, integrando-se aspectos sociais, econômicos e políticos. A urgência na redução de emissões de carbono se faz pela mudança climática causada por esses gases. Os edifícios são responsáveis por mais de 40% de toda a energia consumida no mundo, e pela emissão de um terço de todos os gases do efeito estufa, além de gerar em torno de 136 milhões de toneladas de resíduos anualmente, dos quais 50% são de demolição (YUNG, 2012 apud Unep, 2009)

. Nesse contexto a requalificação de edifícios evita o desperdício gerado pelo processo de demolição, além de poupar energia, reduzir as emissões de carbono, se tornando uma das estratégias mais importantes para minimizar ou atenuar o impacto negativo causado pela mudança do clima. Dessa forma o conceito de cidades de baixo carbono está intimamente ligado ao desenvolvimento sustentável, e um dos desafios mais críticos enfrentados pelo mundo nas últimas décadas.

Yung (2012), considera alguns fatores como significativos para alcançar a sustentabilidade na adaptação/ requalificação de edifícios construídos, sendo eles:

#### Aspectos econômicos

Uma conservação urbana bem sucedida, assim como uma requalificação de edifício deve tentar manter a viabilidade econômica, podendo-se considerar eficiência econômica quando os benefícios tangíveis e intangíveis do projeto superam seus custos. A criação de empregos, além da requalificação da área imediata ao edifício requalificado podem ser vistas como parâmetros de sucesso econômico.

#### Aspectos sócio-culturais

A melhoria da inclusão social é um dos temas implícitos no desenvolvimento sustentável, e pode se dar através do reconhecimento do multiculturalismo, e através de parcerias e envolvimento da comunidade no processo.

#### Aspectos ambientais e físicos

A requalificação de edifícios existentes ajuda a reduzir a emissão de gases do efeito estufa e a pegada ecológica da construção civil, e também a melhora da vida útil do edifício e a qualidade ambiental proporcionada pelo aumento do conforto térmico da edificação.

## 2.5 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE TELHADOS VERDES

Segundo Bianchini (2011), existem mais vantagens do que desvantagens na utilização dos telhados verdes para redução da poluição ar. Telhados verdes são construídos com diferentes tipos de camadas, que variam de acordo com o tipo de telhado, ou condições meteorológicas que influem no processo de escolha. Os sistemas de telhado verde normalmente consistem em: Barreira de raiz; drenagem; meio de cultura, e a camada de vegetação. Tecnologias recentes permitiram o uso de polímeros na composição das camadas dos telhados verdes, entre eles o polietileno de baixa densidade e o polipropileno. O uso desses materiais acaba por reduzir o peso dos telhados verdes, uma vez que diminui a espessura e peso o que implica na redução do custo total, sendo que com menos sobrecarga diminui-se também o reforço estrutural necessário para sustentar esse peso extra na edificação existente, além de evitar custos excessivos na construção de novos edifícios. O processo de fabricação desses polímeros tem muitos efeitos negativos para o meio ambiente, além da poluição do ar.

De acordo com Bianchini (2011 *apud* SPERLING, 2006) O uso de polímeros em diferentes aplicações industriais é devido às suas múltiplas características benéficas, tais como: versatilidade, peso baixo, alta durabilidade, resistência a corrosão, capacidade de isolamento, baixo custo e capacidade de adaptação.

Utilizando-se da ferramenta *SimaPro* Bianchini (2011) realizou uma análise dos impactos ambientais dos materiais comumente utilizados para a construção do telhado verde, analisando quatro principais substâncias poluentes (  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  e  $\text{PM}_{10}$ ) e concluiu que apesar da poluição causada por esses poluentes, no processo de fabricação dos polímeros, o uso de telhado verde pode compensar – entre 13 e 32 anos – o uso desses materiais na sua composição, no entanto o estudo também demonstrou que polímeros não reciclados emitem cerca de 2,8 vezes mais substâncias tóxicas para o ar do que polímeros reciclados, salientando a importância de desenvolvimento de mais pesquisas acerca de novos materiais para uso nos telhados verdes, em substituição aos polímeros.

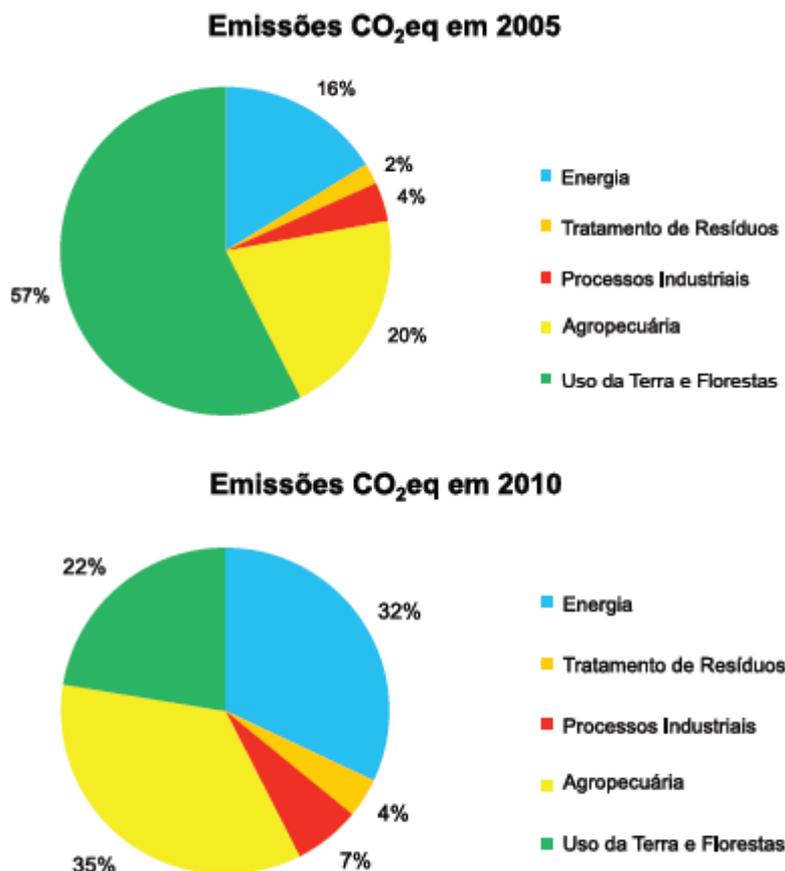
## 2.6 ENERGIA EMBUTIDA

Energia incorporada, ou energia embutida, é uma forma de mensurar o impacto ambiental das construções. Está diretamente relacionada à eficiência energética. Pode ser considerada como sendo toda a energia usada para fabricação dos materiais de um espaço, desde a extração da matéria prima até o destino final, no local da obra.

Inclui ainda a energia usada para extrair a matéria-prima, para o processo de fabricação e transporte da matéria-prima para a fábrica e o produto final para o seu consumidor. A energia incorporada pode chegar a 40% de toda a energia consumida durante a vida da edificação (TAVARES, 2006).

## 2.7 GERAÇÃO DE CO<sub>2</sub> ASSOCIADOS A CONSTRUÇÃO CIVIL

No documento produzido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, Inventário Nacional de Emissões de Gases do Efeito Estufa existe uma descrição detalhada das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (BRASIL, 2013). Entre os anos de 2000 a 2005, a maioria das emissões – em torno de 75% - era proveniente de queimadas de terrenos para produção de pastos ou agricultura, entre 2005 e 2010 esses valores mudaram sensivelmente, atualmente os maiores responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub> no Brasil são a Agropecuária e a Energia, através do consumo de combustíveis de origem fóssil (figura 1) para fonte de energia.

Gráfico 1. Emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> distribuída em setores

Fonte: BRASIL, 2013

A construção civil atualmente é a responsável por uma parcela significativa das emissões, já que esta ligada diretamente aos setores industriais e setor de energia. De acordo com Brasil (2013) entre o ano de 1990 até o ano de 2005, destaca-se o desmatamento como sendo o protagonista das emissões brasileiras. A mudança de uso de solo e desmatamento foram os responsáveis por 57% das emissões nesses 15 anos analisados. A agricultura aparece na sequência, com 20% das emissões, seguida do setor de energia, com 16%. A partir de 2005 as emissões geradas pela Mudança da Terra e Florestas vem sofrendo uma grande redução, ficando em 22%, ao passo que Agropecuária atingiu 35%, o setor de Energia 32%, e setor de Processos industriais alcançou 7% de participação. O documento de estimativa cita ainda que o setor de energia sofreu uma redução em 2009 devido a queda de consumo de combustíveis de origem fóssil, como sendo reflexo de uma crise internacional.

Tabela 1. Emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> no setor de processos industriais

SETOR	1990	1995	2000	2005	2010	Variação	
						1995-2005	2005-2010
<b>PROCESSOS INDUSTRIAIS</b>	<b>52.536</b>	<b>63.065</b>	<b>71.673</b>	<b>77.943</b>	<b>82.048</b>	<b>23,6%</b>	<b>5,3%</b>
Produção de Cimento	11.062	11.528	16.047	14.349	22.055	24,5%	53,7%
Produção de Cal	3.688	4.104	5.008	5.356	5.950	30,5%	11,1%
Outros Usos do Calcário e da Dolomita	1.630	1.728	1.756	1.815	2.935	5,0%	61,7%
Uso da Barrilha	182	247	243	248	468	0,3%	88,5%
Indústria Química	7.200	9.881	8.982	10.224	3.801	3,5%	-62,8%
Produção de Ferro-Gusa e Aço	24.756	30.686	35.437	38.283	37.797	24,8%	-1,3%
Produção de Alumínio	3.781	4.197	3.176	3.373	3.353	-19,6%	-0,6%
Uso de HFCs	1	355	661	3.694	5.513	940,9%	49,3%
Uso de SF <sub>6</sub>	237	339	365	602	176	77,4%	-70,7%

Contribuição para as emissões do setor em 2010:

Produção de Ferro-Gusa e Aço	46,1%
Produção de Cimento	26,9%
Produção de Cal	7,3%
Uso de HFCs	6,7%
Indústria Química	4,6%
Produção de Alumínio	4,1%
Outros Usos do Calcário e da Dolomita	3,6%
Uso da Barrilha	0,6%
Uso de SF <sub>6</sub>	0,2%

Fonte: BRASIL, 2013

Ao observarmos as emissões de CO<sub>2</sub> decorrentes de processos industriais, verifica-se que a maioria está diretamente ligada a construção civil, nomeadamente as indústrias de produção de ferro, aço, cimento, cal, alumínio, entre outras. Assim como se observou uma queda no setor de energia, originada por uma crise internacional em 2009, tal resultado se reflete também nos processos industriais, principalmente no setor de ferro-aço.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta pesquisa tem o objetivo de comparar e analisar a Energia Embutida e a Emissão de CO<sub>2</sub> de sete sistemas de cobertura, que vão de telhado convencional com cobertura cerâmica, cobertura com laje, sistemas de telhado verde, e sistemas combinados.

O trabalho teve início com a apresentação de uma revisão bibliográfica, onde foram abordados os assuntos relacionados ao tema proposto, com o objetivo de verificar o estado da arte do uso de coberturas verdes, suas emissões de CO<sub>2</sub> e Energia Embutida.

Com base na pesquisa publicada por Savi (2012), levantou-se a composição de materiais e quantitativos, conforme exemplo demonstrado na tabela 2, dos sete sistemas de cobertura propostos pela autora (tabela 3), de forma a se calcular a quantidade de energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub> de cada sistema proposto. As tabelas completas das sete tipologias de cobertura encontram-se nos apêndices

**Tabela 2. Modelo de composição e quantitativo de materiais**

Exemplo de uma tabela de composição de um sistema com Laje pré moldada com sombreamento									
Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m <sup>2</sup> construído	
Laje pré-fabricada p/pisos espessura 12cm		57,6							
Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,05	2,88	1515	4363,2	0,05	218,160	3,788	
Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,01	0,576	1650	950,4	0,15	142,560	2,475	
Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,03	1,728	1650	2851,2	0,15	427,680	7,425	
Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	15			864	4,2	3628,800	63,000	

Fonte: A Autora (2014)

**Tabela 3. Descrição dos sistemas de telhado analisados**

Sistema	Descrição
Sistema 1	Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica
Sistema 2	Laje pré-moldada sombreada com argila expandida
Sistema 3	Telhado com estrutura em madeira, cobertura em telha cerâmica e forro em madeira
Sistema 4	Telhado verde - Sistema Hexa
Sistema 5	Telhado verde - sistema modular
Sistema 6	Telhado verde - Sistema vernacular
Sistema 7	Telhado verde - Sistema vernacular sobre laje pré-moldada

Fonte: A Autora (2014)

Dessa forma, foram elaborados quadros, tabelas e gráficos, de maneira a sistematizar e organizar os resultados obtidos, para assim chegar as considerações finais sobre a comparação entre sistemas de cobertura e suas emissões de CO<sub>2</sub> e energia embutida.

### 3.1 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

#### 3.1.1 Composição dos sistemas de cobertura

A primeira etapa da coleta de dados foi a estruturação de uma tabela de composição e quantitativo de materiais utilizados em cada um dos sistemas construtivos. Dessa forma, cada um dos materiais utilizados na composição dos diversos sistemas foi quantificado e discriminado, gerando valores de EE em MJ Total e EE MJ/m<sup>2</sup>.

A partir da determinação dos quantitativos de material, e EE, pode-se calcular os valores de CO<sub>2</sub> em cada material e no sistema como um todo, conforme modelo exemplificado na tabela 4, sendo efetuados os mesmos cálculos para cada um dos sete sistemas de cobertura analisados.

**Tabela 4. Modelo de tabela de valores de EE e CO<sub>2</sub> nos materiais que compõem um sistema de cobertura**

	<b>MATERIAIS</b>	<b>TOTAL EE</b>	<b>Kg CO2</b>	<b>%CO2</b>
1	Material S	1682,85	133,20	0,28%
2	Material Y	570,24	40,22	0,09%
3	Material Z	8558,38	1.082,84	2,31%
		52178,45	3.476,05	100%

Fonte: A Autora (2014)

Para composição dos sistemas de coberturas foram utilizados dados da TCPO (Tabelas de composição de Preços para Orçamentos), assim como a tabela de insumos e serviços da SEIL/PRED de Junho 2013. Esta planilha é utilizada para composição de custos de material e serviços pelo Governo do

Estado do Paraná, para composição de preços de pregões e licitações públicas no estado.

Os materiais não descritos na tabela, como os sistemas de telhado verde, foram coletados junto a fabricantes e fornecedores dos produtos.

Os valores para cálculo de EE e CO<sub>2</sub> foram obtidos em Tavares (2006), Myrans (2009) e Hammond (2008).

**Tabela 5. Valores de EE (MJ/Kg) dos principais materiais utilizados.**

<b>Tabela EE (MJ/Kg) nos principais materiais</b>	
<b>MATERIAIS</b>	<b>EE (MJ/kg)</b>
Tinta betuminosa - primer - 0,3kg/m <sup>2</sup> (1)	51,00
Adesivo auto vulcanizante para manta butílica	51,00
Berço hidro-asfáltico e borracha moída para camada amortecedora (1)	51,00
Emulsão hidro-asfáltica - 0,5kg/m <sup>2</sup> (1)	51,00
Fita de caldeação para manta butílica (espessura: 3,00 mm / largura: 1,00 m) (1)	51,00
Manta butílica (espessura: 0,80 mm e 7kg/m <sup>2</sup> )(1)	51,00
Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa) (1)	4,20
Polietileno HDPE (3)	79,67
Polipropileno (2)	95,00
Poliéster (2)	95,00
Substrato (2)	3,904
Vermiculita expandida (3)	7,20

Fonte: (1) TAVARES,2006. (2) MYRANS, (3) HAMMOND, 2008

**Tabela 6. Valores de CO<sub>2</sub> (Kg) para os principais materiais utilizados.**

Tabela Valores de Kg CO <sub>2</sub> /Kg dos	
Material	Kg CO <sub>2</sub> /Kg
Aço (1)	0,075
Areia (1)	0,079
Cal (1)	0,760
Cerâmica vermelha (1)	0,078
Cerâmica Reves. (1)	0,052
Cimento (1)	0,126
Compensado (1)	0,856
HDPE (3)	1,600
Impermeabilização (3)	4,200
Madeira (1)	0,450
Pedra (1)	0,071
Plásticos (1)	0,053
Poliéster (3)	2,520
Substrato (2)	1,320
Tintas (1)	0,074
Vermiculita expandida (3)	0,520

Fonte: (1)TAVARES,2006. (2) MYRANS, (3) HAMMOND, 2008

Primeiramente calculou-se a quantidade de cada material, para a partir daí calcular o valor de EE/Kg de material, e por conseguinte o valor de EE total do sistema. O cálculo de CO<sub>2</sub> foi feito da mesma forma, obtendo-se a quantidade de Kg de cada material, multiplicando-se pelo valor de CO<sub>2</sub> em cada Kg de material, assim sucessivamente para cada um dos sistemas.

### 3.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados deu-se através de comparação direta entre os dados obtidos de cada uma das tabelas. Primeiramente foi elaborada uma tabela com os valores de EE e CO<sub>2</sub> dos materiais que compõem cada um dos sistemas analisados. Dessa forma pode-se observar a contribuição de cada material ao sistema analisado, e obter o impacto percentual de cada material relativamente a EE e CO<sub>2</sub>.

Com os resultados de cada sistema, pode-se comparar diretamente, entre os sete analisados, de maneira a ver qual sistema teria uma quantidade

de Energia Embutida e Emissão de CO<sub>2</sub> mais significativos, sendo esses resultados demonstrados através de uma tabela e um gráfico.

## 4 OS SISTEMAS DE TELHADO UTILIZADOS

Considerando os sete modelos propostos por Savi (2012), que abordam os sistemas de coberturas mais comuns ao padrão nacional de construção civil, além de propor quatro possibilidades de uso do sistema de telhado verde, optou-se por analisar todas as tipologias propostas pela autora, de maneira a abranger uma maior variabilidade de tipologias, e assim um referencial amplo de comparação entre estas tipologias.

Dessa forma os sistemas construtivos foram divididos em duas categorias principais, podendo ser classificados como:

### A) Sistemas de cobertura convencionais:

- Sistema 1 - Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica
- Sistema 2 – Laje pré-moldada sombreada com argila expandida
- Sistema 3 - Telhado com estrutura em madeira, cobertura em telha cerâmica e forro em madeira

### B) Sistemas de cobertura com telhado verde:

- Sistema 4 – Telhado verde - Sistema Hexa
- Sistema 5 – Telhado verde - sistema modular
- Sistema 6 – Telhado verde - Sistema vernacular
- Sistema 7 – Telhado verde - Sistema vernacular sobre laje pré-moldada

Savi (2012) trabalhou com três sistemas distintos de cobertura convencional, e quatro sistemas de cobertura verde, sendo que o sistema 4 e 5 são sistemas modulares disponíveis no mercado, o sistema 6 um sistema moldado *in loco*. Com exceção do sistema 7, que foi moldado *in loco* sobre um sistema de laje pré-moldada impermeabilizada, os outros sistemas de telhado verde foram montados sobre uma base de estrutura em madeira.

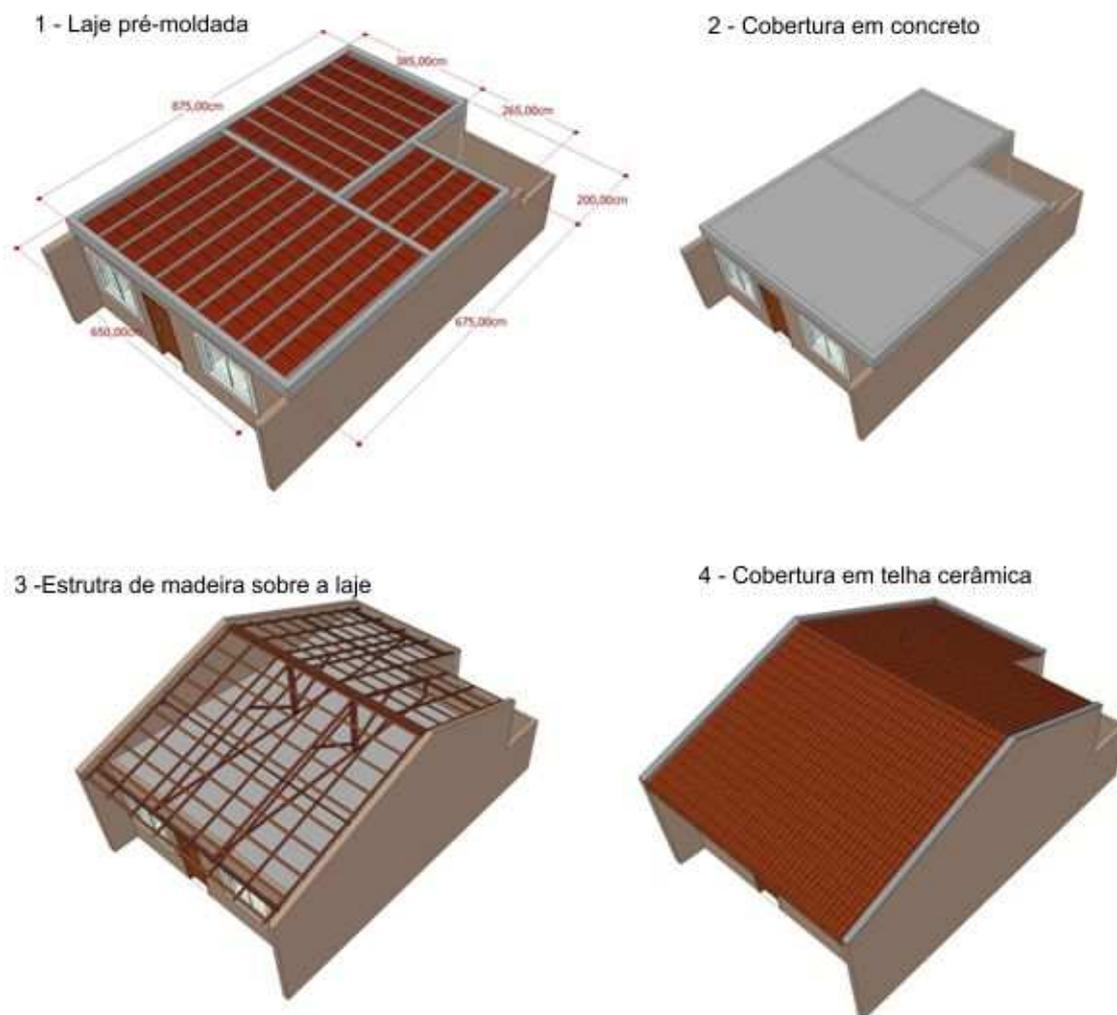
## 4.1 SISTEMAS DE COBERTURA CONVENCIONAIS

### 4.1.1 Sistema 1 – laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica

Em uma área de cobertura de 57,6m<sup>2</sup>, incluindo beirais de 60 cm, utilizou-se uma laje pré-moldada de lajota cerâmica, com espessura de 8 cm e camada de concreto de 4cm FCK de 20MPA. Sobre esta laje, uma estrutura em madeira serrada sem aparelhamento, com dimensionamento adequado para suportar a carga de telhas cerâmicas com vão projetado de 7 a 10 metros, considerando-se a cobertura a ser feita em telha do tipo Romana.

Nas lajes das laterais, consideraram-se oitões de alvenaria de tijolos cerâmicos, chapiscados e rebocados pelo exterior, e tijolos aparentes do lado interno da cobertura. O projeto incluiu ainda calhas, rufos, chapisco, emboço, reboco e pintura da laje. (Figura 9).

**Figura 9 – laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica**



Fonte: SAVI (2012)

#### 4.1.2 Sistema 2 – laje pré-moldada com sombreamento

Conforme o sistema anterior, para uma área de cobertura de de 57,6m<sup>2</sup>, incluindo beirais de 60 cm, utilizou-se uma laje pré-moldada de lajota cerâmica, com espessura de 8 cm e camada de concreto de 4cm FCK de 20MPA. Para o fechamento lateral, considerou-se uma platibanda de 100cm de altura, construída em tijolos cerâmicos, incluindo chapisco e emboço em todas as faces. Para impermeabilização, SAVI (2012) considerou para efeito de peso e custos um sistema de impermeabilização com manta asfáltica de 3mm de espessura com proteção de filme de alumínio grifado de 0,8mm. Sobre a camada de impermeabilização, com efeito de proteção e sombreamento da

laje, considerou-se uma camada de 5cm de argila expandida com diâmetro variando entre 20 e 30 mm.

**Figura 10. Laje com o sombreamento de argila expandida**

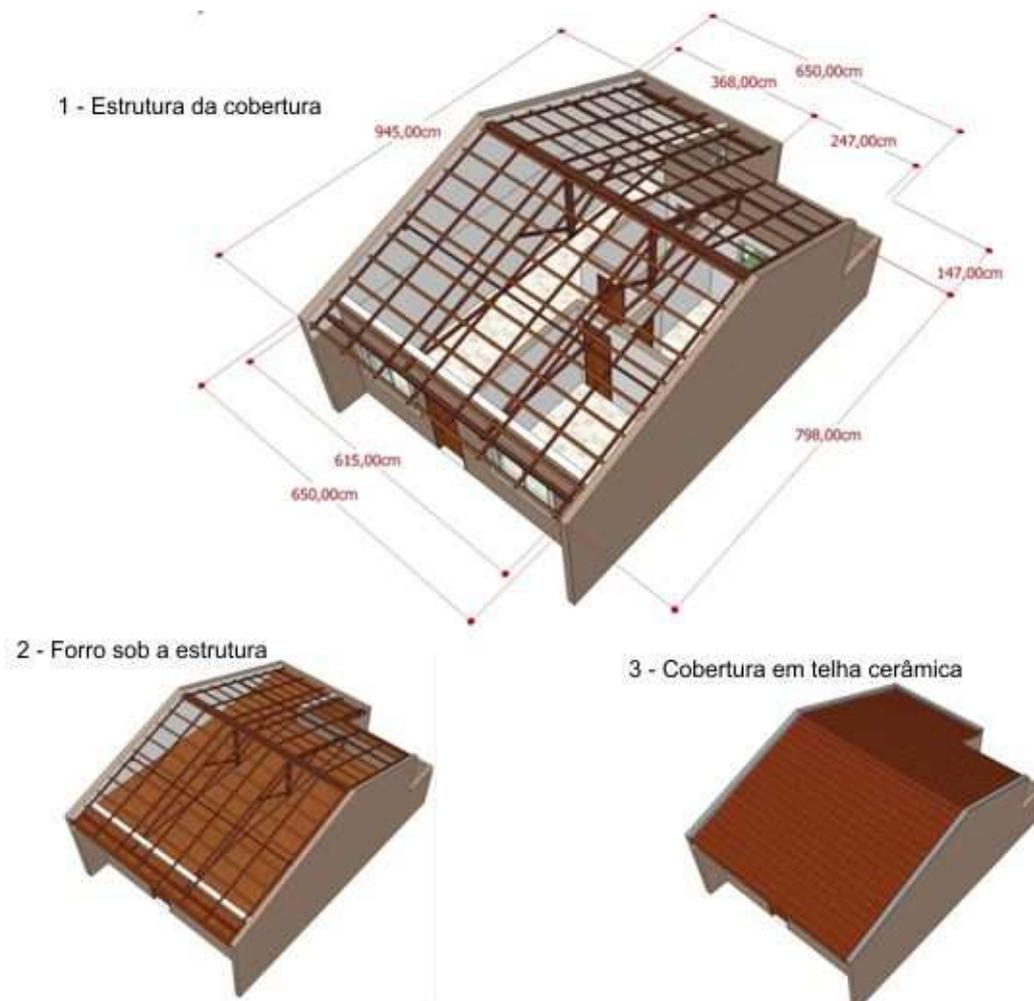


Fonte: SAVI (2012)

#### 4.1.3 Sistema 3 - telhado em estrutura de madeira com cobertura de telha cerâmica e forro em madeira

Neste sistema a autora considera uma cobertura em telha cerâmica sem laje pré-moldada, sendo a estrutura do telhado em madeira serrada e não aparelhada, com dimensionamento adequado para suporte de telhadas cerâmicas tipo Romana, com vãos de 7 a 10 metros. O fechamento considerado foi em alvenaria de tijolos cerâmicos, considerando chapisco emboço e reboco pelo lado exterior, e interior sem acabamento. O fechamento interno foi calculado com forro plano de madeira tipo cedrinho, com tábuas de espessura de 1cm. Sobre o forro acrescentou-se duas demãos de verniz. A autora considerou ainda rufo sobre as paredes e calha no muro posterior.

**Figura 11. Telhado em estrutura de madeira**



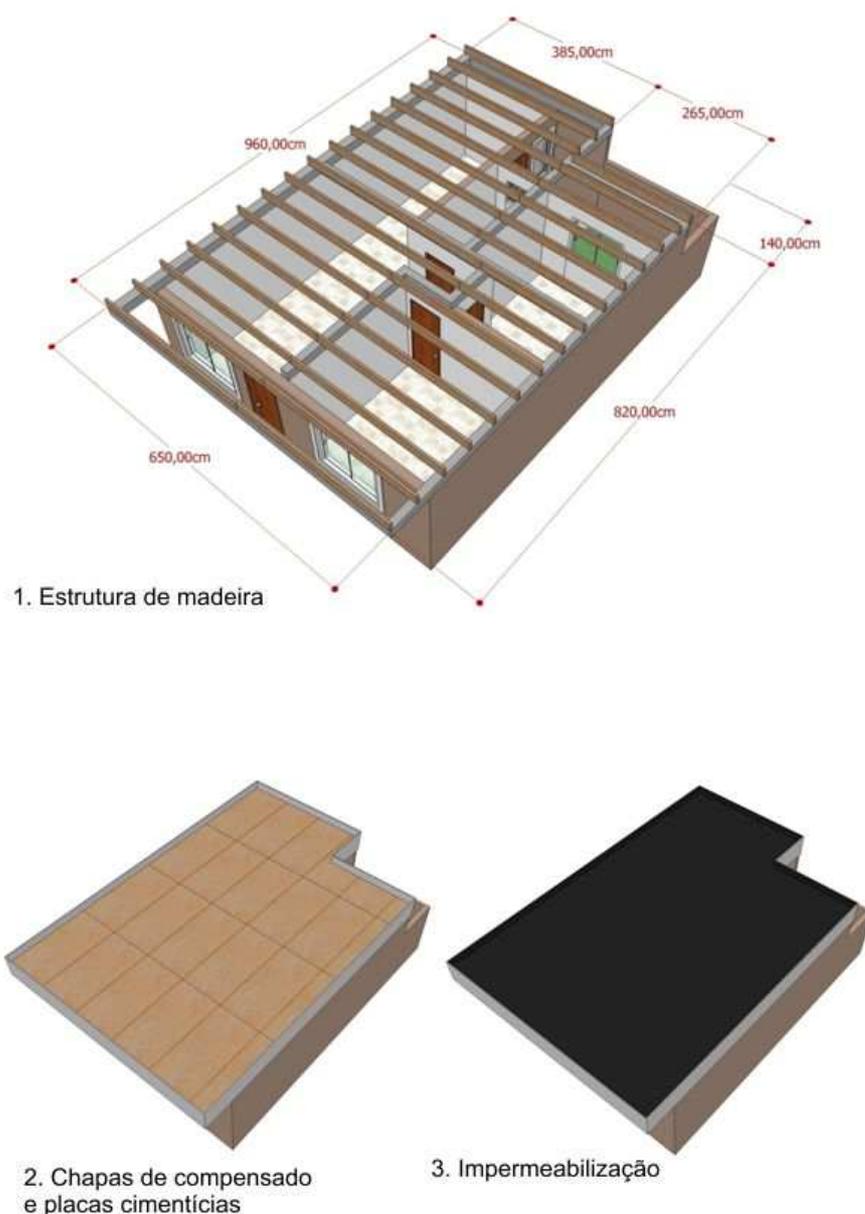
Fonte: SAVI (2012)

#### 4.2 SISTEMAS DE COBERTURA COM TELHADO VERDE

Os sistemas propostos por Savi (2012) visaram obter um sistema com menor peso, de maneira a garantir um custo menor para implantação do sistema, já que o excesso de peso iria exigir mais estrutura para receber a cobertura verde. A proposta também procurou utilizar materiais renováveis e com menor impacto ambiental, utilizando um sistema que reduzisse a utilização de concreto em sua composição. Com essa premissa, a autora desenvolve um sistema com estrutura em madeira. A estrutura é composta por 14 vigas de 6,5

metros e 4 vigas de 4 metros, totalizando 107 metros lineares de vigas de madeira não aparelhada e de primeira qualidade. Cada viga tem a dimensão de 5 x 22,5cm. Chapas de madeira compensada foram então dispostas sobre essas vigas, sendo necessárias 21 chapas de 122x244cm e 18mm de espessura, para cobrir toda a extensão do telhado. Para o fechamento lateral, a autora optou por utilizar placas cimentícias de 6mm de espessura. Sobre as chapas foi utilizada uma impermeabilização com manta asfáltica de 3mm, com uma camada de filme de alumínio grofado. Este sistema servirá de base para receber os materiais de três sistemas analisados pela autora, que serão descritos a seguir.

**Figura 12. Etapas da composição dos telhados verdes**



Fonte: SAVI (2012)

#### 4.2.1 Sistema 4 - telhado verde hexatelhado

Neste sistema Savi (2012) considerou uma estrutura em madeira, sobre ela aplicou-se um contrapiso de 4cm de concreto, e sobre este uma manta de impermeabilização. Sobre isso aplicou-se uma membrana de polietileno de alta densidade, para barrar a penetração de raízes no contrapiso, de maneira a garantir que estas não danifique a impermeabilização. Os módulos foram então dispostos sobre esse sistema. Os módulos utilizados foram o sistema Hexa, da empresa Ecotelhado. O sistema hexa é composto por células de polietileno de alta densidade – HDPE, compostos de 95% material reciclado, com capacidade de retenção de água de 25l/m<sup>2</sup>, com área de 0,1624m<sup>2</sup> por unidade em formato hexagonal, utilizando-se 6,16 peças por metro quadrado. A manta de retenção de nutrientes foi disposta sobre os módulos, com o objetivo de reter água e nutrientes, garantindo assim a nutrição das plantas. Essa manta é composta principalmente por poliéster, com espessura de 5mm.

Sobre esse sistema depositou-se a camada de substrato, que foi adquirido da Ecotelhado juntamente com os módulos plásticos. O substrato fornecido garante baixo peso sobre a cobertura e boa capacidade de retenção de nutrientes e água.

Sobre o substrato foram plantadas espécies de vegetação de pequeno porte, que exigem pouca manutenção.

**Figura 13. Módulos do sistema Hexa**



Fonte: Ecotelhado

Figura 14. Composição do telhado verde sistema hexa.



Fonte: SAVI (2012)

#### 4.2.2 Sistema 5 - telhado verde modular instituto cidade jardim

Utilizando a base desenvolvida para comportar todos os sistemas de telhado verde analisados, utilizou-se uma manta geotêxtil 100% poliéster, com a função de proteção das raízes. Sobre a manta foram dispostos os módulos fornecidos pelo Instituto Cidade Jardim. Trata-se de módulos de polietileno de alta densidade – HDPE, de formato retangular, com medidas de 40x50x8cm. Os módulos são compostos por duas partes, sendo uma destinada a retenção de água e outra que acomoda o substrato. Sobre eles a vegetação é disposta. Este sistema é modular, e tem capacidade de retenção de água de 33 litros por m<sup>2</sup> e peso aproximado de kg/m<sup>2</sup> já considerado o sistema saturado.

**Figura 15. Sistema modular Instituto Cidade Jardim.**



Fonte: Instituto Cidade Jardim

#### 4.2.3 Sistema 6 – telhado verde vernacular

Trata-se de um sistema de cobertura verde moldado *in locu*. Sobre a base preparada para receber os sistemas verdes, já impermeabilizada, foi disposta a manta geotêxtil de poliéster, sobre a manta uma camada de argila expandida com 3cm de espessura. Sobre essa camada colocou-se novamente uma camada de geotêxtil, tendo a função de reter o substrato e garantir que a camada de argila tenha uma drenagem eficiente. O substrato é então espalhado uniformemente, com uma espessura média de 5cm sobre toda a superfície do telhado. Sobre o substrato são plantadas as espécies escolhidas, neste caso o Cacto Margarida.

#### 4.2.4 Sistema 7 – telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada

Para a composição deste sistema, foi utilizada a mesma cobertura de laje pré-moldada utilizada no sistema 2, ou seja, laje pré—moldada com lajota cerâmica e capa de concreto de 4cm de espessura, com platibanda de 100cm, com área total de 57,6m<sup>2</sup>. Depois de impermeabilizada a laje esta pronta para receber o mesmo sistema descrito no item 4.2.3, ou seja, manta geotêxtil, argila expandida, manta novamente, camada de substrato e por fim a vegetação.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são comparados os resultados obtidos entre os sete sistemas de cobertura abordados e a relação entre energia embutida e a geração de CO<sub>2</sub> pelos materiais utilizados nos diversos sistemas. Os resultados completos estão detalhados nos apêndices.

Os resultados foram obtidos através de comparação direta dos resultados obtidos nos cálculos de Energia Embutida (EE) e emissão de CO<sub>2</sub>.

Com base na descrição de cada sistema de cobertura, elaborou-se uma tabela de composições, cujos dados foram obtidos da TCPO, planilha SEIL/PRED julho 2013 e Tavares (2006), conforme descrito no item 3.1.1.

### 5.1 RESULTADOS OBTIDOS NOS SISTEMAS DE COBERTURA PROPOSTOS

Os dados obtidos em cada sistema foram compilados em uma tabela que demonstra os valores obtidos para EE e CO<sub>2</sub> em cada um dos sistemas.

#### 5.1.1 Sistema 1 – Laje pré moldada com cobertura em telha cerâmica

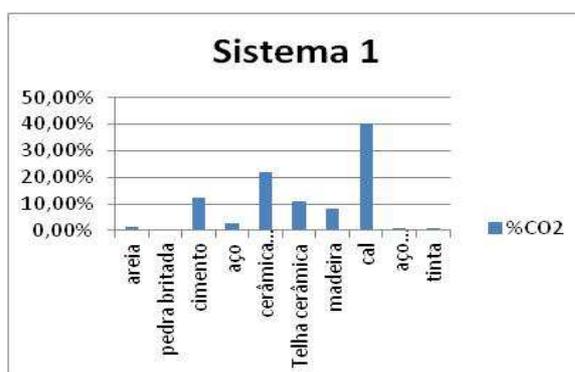
O sistema 1, é uma cobertura convencional de laje pré-moldada com cobertura em telhado cerâmico. Conforme demonstra a tabela 5, o material de maior participação no valor de energia embutida desse telhado foi na composição da laje pré-fabricada, onde o bloco cerâmico tem um alto valor de energia embutida, e representou mais de 46% da energia de toda a cobertura. A cal também tem um valor elevado, representando 17,32%, por ser um material com valor de energia embutida de 3MJ/Kg por Kg de cal. Nessa cobertura, o cimento é um material com alto valor de energia embutida, no entanto, nesse trabalho seu valor de energia final foi pouco significativo, devido à pequena quantidade utilizada.

**Tabela 7. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 1**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 1			
	MATERIAIS	TOTAL EE	%
1	areia	1.682,85	2,07%
2	pedra britada	570,24	0,70%
3	cimento	8.658,38	10,65%
4	aço	3.428,35	4,22%
5	cerâmica (blocos)	37.938,63	46,65%
6	Telha cerâmica	12.441,60	15,30%
7	madeira	830,02	1,02%
8	cal	14.089,05	17,32%
9	aço galvanizado	857,31	1,05%
10	tinta	827,42	1,02%
		81.323,85	100%

Fonte: A Autora (2014)

Em relação a emissão de CO<sub>2</sub> o material que apresentou maior valor de Kg CO<sub>2</sub> emitido foi a cal, sendo responsável por mais de 40% de todo o CO<sub>2</sub> do sistema 1.

**Gráfico 2. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 1**

Fonte: A Autora (2014)

### 5.1.2 Sistema 2 – Laje pré moldada sombreada com argila expandida.

O sistema 2, é uma cobertura convencional de laje pré-moldada impermeabilizada e com um sombreamento através de uma camada de argila

expandida. Conforme demonstra a tabela abaixo, a impermeabilização foi o material de maior impacto no valor de energia embutida na composição do telhado 2, o que elevou significativamente o valor total de EE se comparado ao sistema 1.

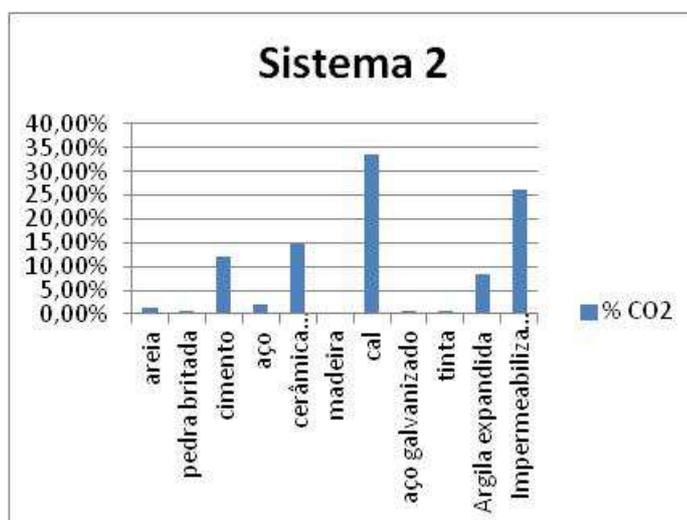
**Tabela 8. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 2**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 2		
MATERIAIS	TOTAL EE	%
1 areia	2.015,16	1,49%
2 pedra britada	1.283,04	0,95%
3 cimento	12.788,99	9,44%
4 aço	3.428,35	2,53%
5 cerâmica (blocos)	37.938,63	28,00%
6 madeira	12,10	0,01%
7 cal	17.670,16	13,04%
8 aço galvanizado	892,68	0,66%
9 tinta	1.171,32	0,86%
10 Argila expandida	15.552,00	11,48%
11 Impermeabilização	42.760,44	31,55%
	135.512,87	100%

Fonte: A Autora (2014)

Em relação aos valores de emissão de CO<sub>2</sub>, nesse caso dois materiais se destacaram, sendo a cal com o maior percentual de emissão seguida pela impermeabilização.

**Gráfico 3. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 2**



Fonte: A Autora (2014)

5.1.3 Sistema 3 – Telhado com estrutura em madeira, cobertura em telha cerâmica e forro de madeira.

Considerando um telhado com sistema de telhado com estrutura em madeira e cobertura com telhas cerâmicas, as telhas foram justamente o material de maior representatividade neste sistema, sendo responsáveis por 43,72% de toda a energia embutida nesta cobertura. Tal valor deve-se principalmente ao processo de fabricação da telha cerâmica, que na sua cura/queima utiliza grande quantidade de combustível fóssil de fonte não renovável (TAVARES, 2006).

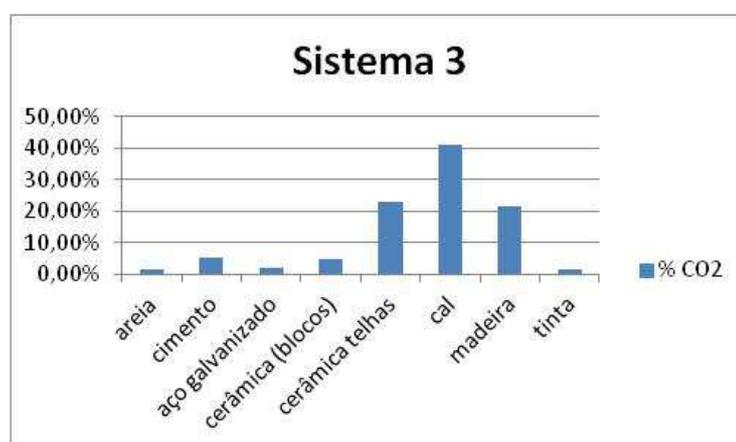
**Tabela 9. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 3**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 3			
	MATERIAIS	TOTAL EE	%
1	areia	760,83	2,68%
2	cimento	1.756,14	6,19%
3	aço galvanizado	1.125,22	3,96%
4	cerâmica (blocos)	3.695,43	13,02%
5	cerâmica telhas	12.411,36	43,72%
6	cal	6.881,26	24,24%
7	madeira	1.005,08	3,54%
8	tinta	754,74	2,66%
		28.390,06	100%

Fonte: A Autora (2014)

Em relação às emissões de CO<sub>2</sub> no sistema 3 o material com maior valor de CO<sub>2</sub> emitido também foi a cal, seguida das telhas cerâmicas e da madeira.

**Gráfico 4. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 3**



Fonte: A Autora (2014)

#### 5.1.4 Sistema 4 – Telhado verde sistema hexa

O sistema 4 é o primeiro das quatro coberturas com telhado verde analisadas. Nesse caso não existe laje pré-moldada para embasamento, e sim uma estrutura em madeira coberta com chapas de compensado, conforme descrito no capítulo 4. Essa base em compensado recebe impermeabilização, como nos sistemas com laje, e esta foi a responsável por mais de 50% da energia embutida nesta tipologia de cobertura.

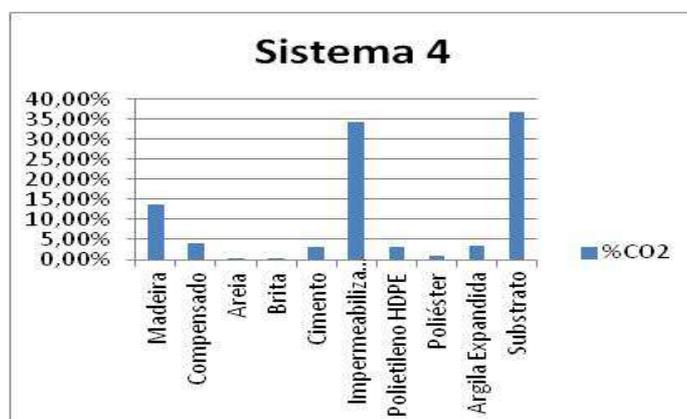
**Tabela 10. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 4**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 4			
	MATERIAIS	TOTAL EE	%
1	Madeira	1.542,83	1,91%
2	Compensado	3.864,00	4,78%
3	Areia	98,49	0,12%
4	Brita	16,35	0,02%
5	Cimento	2.505,05	3,10%
6	Impermeabilização	42.760,44	52,94%
7	Poliétileno HDPE	16.465,30	20,39%
8	Poliéster	3.830,40	4,74%
9	Argila Expandida	702,00	0,87%
10	Substrato	8.979,20	11,12%
		80.764,05	100%

Fonte: A Autora (2014)

Considerando às emissões de CO<sub>2</sub>, o substrato aparece como sendo o material de maior impacto, emitindo mais de um terço de todo o CO<sub>2</sub> desta cobertura, seguido pela impermeabilização.

**Gráfico 5. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 4**



Fonte: A Autora (2014)

### 5.1.5 Sistema 5 – Telhado verde sistema modular

Por ser exatamente a mesma tipologia do sistema 4, a diferença está no módulo utilizado, o resultado do sistema 5 é similar ao do sistema 4, onde a impermeabilização é o material com maior valor de energia embutida, 58,40% nesse caso.

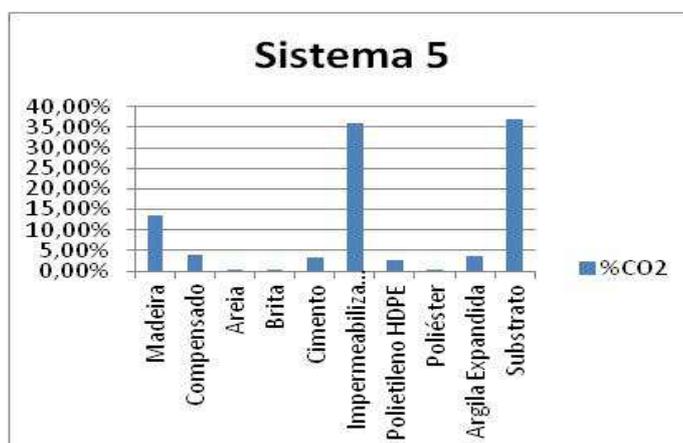
**Tabela 11. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 5**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 5			
	MATERIAIS	TOTAL EE	%
1	Madeira	1.550,49	2,02%
2	Compensado	3.864,00	5,05%
3	Areia	102,73	0,13%
4	Brita	16,35	0,02%
5	Cimento	2.616,18	3,42%
6	Impermeabilização	44.716,80	58,40%
7	Polietileno HDPE	12.849,18	16,78%
8	Poliéster	1.094,40	1,43%
9	Argila Expandida	702,00	0,92%
10	Substrato	9.057,28	11,83%
		76.569,41	100%

Fonte: A Autora (2014)

No tocante às emissões de CO<sub>2</sub>, o material mais emissivo é o substrato, seguido pela impermeabilização.

**Gráfico 6. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 5**



Fonte: A Autora (2014)

### 5.1.6 Sistema 6 – Telhado verde vernacular

Como o sistema 6 também é semelhante ao 4 e 5, ou seja, possui a mesma base estrutural, diferenciando-se pela tipologia de cobertura verde, que nesse caso não utiliza caixas de polietileno, como nos sistemas comerciais. Portanto, assim como nos outros dois sistemas de cobertura verde, a impermeabilização é a componente de maior valor de energia embutida, apresentando mais de 61% da energia de toda a cobertura, conforme tabela abaixo.

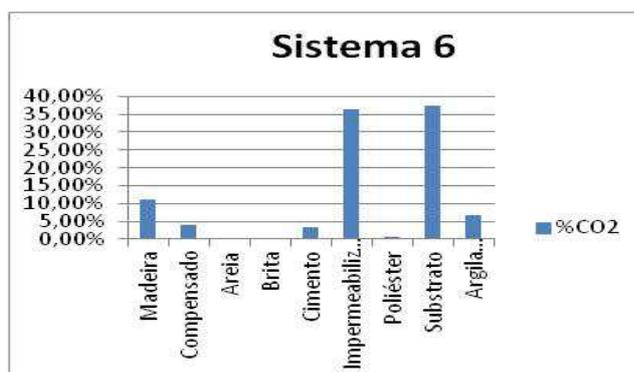
**Tabela 12. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 6**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 6			
	MATERIAIS	TOTAL EE	%
1	Madeira	1.249,66	1,71%
2	Compensado	3.864,00	5,28%
3	Areia	102,73	0,14%
4	Brita	16,35	0,02%
5	Cimento	2.616,18	3,57%
6	Impermeabilização	44.716,80	61,08%
7	Poliéster	2.188,80	2,99%
8	Substrato	9.057,28	12,37%
9	Argila Expandida	9.396,00	12,83%
		73.207,80	100%

Fonte: A Autora (2014)

O substrato também aparece como maior emissor de CO<sub>2</sub>, da mesma maneira que no sistema 4 e 5, correspondendo a mais de um terço das emissões na cobertura 6.

**Gráfico 7. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 6**



Fonte: A Autora (2014)

### 5.1.7 Sistema 7 – Telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada

O sistema 7, contrário dos sistemas 4, 5 e 6, está instalado sobre uma laje pré-moldada e impermeabilizada, similar à laje do sistema 2, no entanto, mesmo com uma tipologia diferente das demais coberturas verdes analisadas, a impermeabilização aparece como material mais significativo em relação a carga de energia embutida, seguida pela cerâmica da laje.

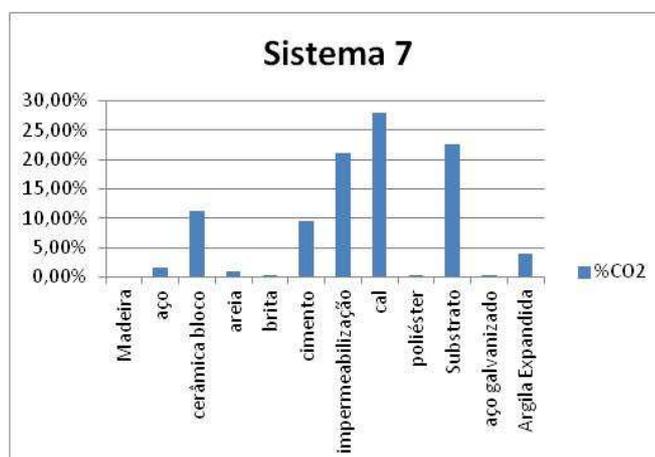
**Tabela 13. Energia Embutida nos principais materiais do Sistema 7**

Energia Embutida (MJ) nos principais materiais do Sistema 7		
MATERIAIS	TOTAL EE	%
1 Madeira	12,10	0,01%
2 aço	3.428,35	2,50%
3 cerâmica bloco	36.150,52	26,31%
4 areia	1.936,54	1,41%
5 brita	570,24	0,42%
6 cimento	12.650,65	9,21%
7 impermeabilização	42.760,44	31,13%
8 cal	18.412,84	13,40%
9 poliéster	2.188,80	1,59%
10 Substrato	8.979,20	6,54%
11 aço galvanizado	892,68	0,65%
12 Argila Expandida	9.396,00	6,84%
	137.378,35	100%

Fonte: A Autora (2014)

Analisando as emissões de CO<sub>2</sub>, a cal supera a impermeabilização, com 27,93% de todo o CO<sub>2</sub> emitido para esta cobertura.

**Gráfico 8. Valores de CO<sub>2</sub> nos principais materiais do sistema 7**



Fonte: A Autora (2014)

## 5.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

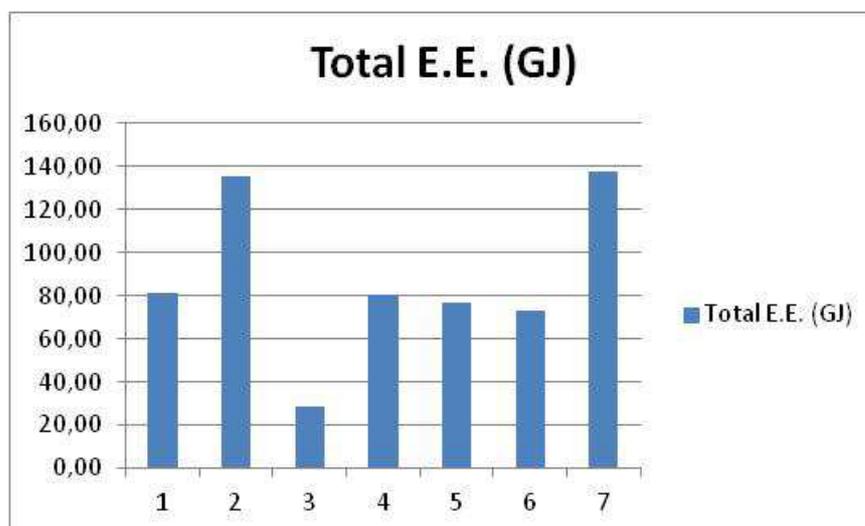
Com base nos resultados de casa sistema, elaborou uma tabela e um gráfico, comparando os 7 sistemas analisados.

**Tabela 14. Energia Embutida nos principais materiais dos sistemas**

Sistemas	EE Total (MJ)	EE Total (GJ)
1	81.323,85	81,32
2	135.512,87	135,51
3	28.390,06	28,39
4	80.764,05	80,76
5	76.569,41	76,57
6	73.207,80	73,21
7	137.378,35	137,38

Fonte: A Autora (2014)

**Gráfico 9. Energia Embutida nos 7 sistemas de cobertura**



Fonte: A Autora (2014)

Conforme pode-se observar, o sistema que obteve maior valor de energia embutida foi o sistema 7, seguido pelo sistema 2, e o de menor valor foi o sistema 3. A cobertura 7, tal como a 2, é composta por laje pré-moldada, cujo valor de energia embutida no processo de impermeabilização é bastante alto, conforme já visto, o que faz o valor da cobertura 7 ser maior que a cobertura do sistema 2 é pelo fato da 7 ser um sistema de cobertura verde, e

como visto, o substrato acaba por ter um alto valor de EE, o que fez do sistema 7 superior em valores de EE comparado ao sistema 2.

O terceiro maior valor de EE observa-se no sistema 1, cujas lajotas cerâmicas de sua laje pré-moldada tiveram a maior contribuição no tocante a carga de energia embutida.

Os sistemas 4 e 5 aparecem com valores muito similares, justamente por terem a mesma tipologia, variando apenas o formato e fabricante dos módulos utilizados na composição da cobertura verde. Novamente a impermeabilização, juntamente com o substrato, é a responsável pelos maiores valores de energia embutida nesses sistemas. A impermeabilização tem valor de energia embutida alto, devido aos altos valores de EE em MJ/kg nos materiais que compõem a impermeabilização, nomeadamente manta butílica, adesivo auto-vulcanizante, emulsão hidro-asfáltica e fita de caldeação. Tal composição foi obtida em TAVARES (2006), e os valores em MJ/Kg de material chegam a 51MJ/kg de material. Optou-se por utilizar a composição descrita por Tavares (2006) diante da dificuldade de encontrar valores relacionados à EE e CO<sub>2</sub> na literatura pesquisada, e também por Savi (2012) considerar a possibilidade de utilização de outras tecnologias de impermeabilização.

O sistema 6 aparece como o segundo menor valor de EE, perdendo apenas para o sistema 3, que apresentou o menor valor entre os sete sistemas. O sistema 6, sendo uma cobertura verde vernacular, acaba por ser o melhor entre as coberturas verdes apresentadas, no sentido de ter menos energia embutida. Tal resultado deve-se a utilização de menos material plástico, no caso o HDPE, que foi utilizado na composição das caixas modulares dos sistemas 4 e 5, o que o tornou a melhor opção entre os telhados verdes.

O sistema 3 aparece como sendo a cobertura de menor energia embutida, pois não possui laje e portanto não necessita de impermeabilização, apresentando um valor de EE sensivelmente mais baixo que os demais sistemas.

Segundo Myrans (2009) o composto orgânico que compõe o substrato é responsável por 53,6% de toda a EE, devido principalmente ao processo de compostagem, e mais ainda ao gasto energético para transporte do composto,

desde a coleta dos materiais que irão compor a compostagem, até a triagem e energia elétrica utilizada na instalação da usina de compostagem.

**Figura 16. Valores de energia embutida dos materiais que compõem o substrato.**

Growing Medium Ingredients	% of Growing Medium by Mass	Mass (kg/m <sup>2</sup> )	Embodied Energy (MJ/kg)	Embodied Energy (MJ/m <sup>2</sup> )	% Contribution to EE of Growing Medium
Stalite	50	272	2.97	808	38.0
Stalite fines	10	54	2.97	162	7.6
USGA Root Zone Sand	25	136	0.12	16	0.8
Organic Compost	15	82	19.96	1,141	53.6
<b>Totals</b>	<b>100</b>	<b>545</b>	<b>26.01</b>	<b>2,128</b>	<b>100</b>

**Table 4.2** - Embodied energy and percent contribution to the embodied energy of the growing medium by ingredient, with feedstock of compost included.

Fonte: MYRANS (2009)

Tais resultados demonstram que as coberturas verdes demonstram bons resultados quanto aos valores de Energia Embutida, exceto quando utiliza-se como base a laje cerâmica pré-moldada, como no sistema 7, mesmo assim, o valor não é tão maior que o sistema 2, que possui sombreamento em argila expandida ao invés de cobertura verde.

Os resultados obtidos para Energia Embutida, de certa forma se repetem quando analisamos as emissões de CO<sub>2</sub> nos sete sistemas de cobertura.

**Tabela 15. Valores totais de CO<sub>2</sub> nos sete sistemas**

Sistemas	kg CO <sub>2</sub> Total
1	8904,45
2	13372,95
3	4233,3
4	10233,71
5	10260,63
6	10074,54
7	16698,50

Fonte: A Autora (2014)

Nos telhados verdes, o substrato aparece como sendo o valor mais expressivo em emissão de CO<sub>2</sub>. O valor, o substrato utilizado, ou meio de

cultura, cujos valores foram obtidos em MYRANS (2009). Tal valor de EE e posteriormente de CO<sub>2</sub> deve-se a composição do substrato, que leva agregados fundamentais ao meio de cultura, entre eles os chamados agregados leves: xisto, ardósia ou argila. Tais agregados tem altos valores energéticos oriundos de sua produção, que necessita de queima/aquecimento em fornos de altas temperaturas (aproximadamente 1150° C) para que esses materiais tenham suas características de retenção de umidade alteradas. Tais processos de aquecimento, combinados aos gases envolvidos, acaba por inchar o volume do agregado, duplicando seu tamanho e aumentando a capacidade de absorção de água (MYRANS apud Bremner e Ries, 2007).

**Tabela 16. Materiais com maior emissão de CO<sub>2</sub> nos sete sistemas**

<b>Sistemas</b>	<b>Material com maior participação de CO<sub>2</sub></b>	<b>Percentual no sistema</b>
1	Cal	40,08%
2	Cal	33,47%
3	Cal	41,18%
4	Impermeabilização	34,44%
5	Substrato	36,81%
6	Substrato	37,49%
7	Cal	27,93%

Fonte: A Autora (2014)

Observando-se os materiais que tiveram maior contribuição na emissão de CO<sub>2</sub> verificamos que 3 materiais são os maiores responsáveis pelas emissões nos sistemas estudados, sendo a cal, a impermeabilização e ainda o substrato. Embora a impermeabilização só apareça como maior valor do sistema 7, ela tem valores elevados nos 5 sistemas em que ela é utilizada

A cal aparece como grande contribuidor para a emissão de CO<sub>2</sub>, em quatro coberturas analisadas, sendo utilizada na composição das argamassas que originam o chapisco, emboço e reboco nas alvenarias presentes nestes sistemas. Os altos valores de emissão de CO<sub>2</sub> relativos à cal, devem-se principalmente a grande quantidade de combustível na produção. Segundo Tavares (2006), as emissões de CO<sub>2</sub> ocorrem da calcinação do calcário, processo que inclusive faz parte para a produção do clínquer, que compõe o concreto. No Brasil o clínquer representa cerca de 73% da composição do cimento produzido (BRASIL, 2013).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de cobertura 3, composto por telhado cerâmico e forro em madeira envernizada mostrou o melhor resultado, tanto em emissão de CO<sub>2</sub> quanto em energia embutida. Tal resultado deve-se ao fato desse sistema não utilizar os materiais mais significativos em EE e CO<sub>2</sub>, como a impermeabilização e o substrato, presentes nas coberturas verdes. Embora com menores valores de CO<sub>2</sub> e EE, o sistema de telhado com forro em madeira não tem a mesma vantagem que os sistemas de telhado verde no quesito de eficiência térmica, pois não conta com o mesmo isolamento térmico que um telhado verde proporciona, sendo que os gastos energéticos para garantir conforto térmico no interior dessa habitação deverão ser consideravelmente maiores que nas edificações com os sistemas de cobertura verde.

No entanto, o telhado verde se mostrou bastante eficiente tanto em EE quanto em emissão de CO<sub>2</sub> se comparado às coberturas com laje cerâmica, o que do ponto de vista da sustentabilidade é de grande importância, se considerarmos o impacto gerado pela construção civil no mundo. Dessa forma a utilização de novas tecnologias tende a colaborar para a diminuição dos impactos gerados pela construção civil no planeta, e conseqüentemente pela melhora da qualidade de vida.

Apesar do cimento e do concreto terem uma alta participação nas emissões de CO<sub>2</sub> da construção civil mundial, neste trabalho aparecem como elementos pouco significativos devidos a baixa quantidade utilizada, ao considerarmos apenas a cobertura dos sistemas, com eventual participação de alvenaria, em uma pequena parcela das composições. Dessa forma, mesmo o cimento sendo responsável por uma grande parte dos impactos ambientais da construção civil, ele não contribui expressivamente nos resultados encontrados neste trabalho.

Esta pesquisa comparou os sistemas mais comuns de cobertura, com possibilidades de uso de sistemas de telhado verde, sejam eles sistemas prontos e comerciais, quanto sistemas moldados *in locu*, denominados vernaculares. Através da análise comparativa foi possível confirmar parcialmente a hipótese de que os sistemas de cobertura verde têm menor

coeficiente de EE e emissão de CO<sub>2</sub> se comparados a tecnologias tradicionais de cobertura, desde que sejam coberturas com laje cerâmica, como observamos nas tabelas. De todos os sistemas comparados, o sistema 6, que utiliza telhado verde vernacular, sobre estrutura de madeira foi o que apresentou o melhor resultado entre as coberturas verdes, no sentido de gerar menos CO<sub>2</sub> e ter um menor coeficiente de energia embutida, sendo então uma solução importante do ponto de vista da sustentabilidade.

Tais comparações foram necessárias para demonstrar quais materiais tem mais impacto nos diferentes sistemas, sendo possível verificar que a impermeabilização, a cal, e o substrato foram os maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> nos sistemas analisados.

Conclui-se que existem várias maneiras de utilização de coberturas verdes, e se considerarmos um sistema de impermeabilização mais leve, podem ser uma alternativa viável para implantação em projetos de caráter mais sustentável.

## 7 TRABALHOS FUTUROS

O estudo de tecnologias de composição de telhados verdes sugere várias vertentes, nesse sentido sugere-se:

- ✓ Aprofundar pesquisas no âmbito da análise de Ciclo de Vida dos telhados verdes (ACV);
- ✓ Desenvolvimento de novos modelos de telhados verdes para o setor residencial para habitações populares;
- ✓ Aprofundar as pesquisas de emissão de CO<sub>2</sub> e Energia Embutida para outras tipologias de cobertura;
- ✓ Implantação de telhados verdes em edifícios educacionais como ferramenta de educação ambiental;
- ✓ Desenvolver outros parâmetros de sustentabilidade como a retenção de CO<sub>2</sub> pelas plantas utilizadas nas coberturas verdes
- ✓ Estudar sistemas de impermeabilização com materiais de menor impactos, não derivados de combustível fóssil.
- ✓ Aprofundar pesquisas no desenvolvimento de substrato para obter materiais com menor energia embutidas e também mais leves, que facilitem a utilização de telhados verdes para *retrofit*.

## REFERÊNCIAS

BALDESSAR, Silvia M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2012.

BIANCHINI, F. ; HEWAGE, K. **How green are the greenroofs – Lifecycle analysis of green roof materials**. School os Civil Engineering, University os British Columbia. Canadá.2011. Disponível em:  
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311002629>> Acesso em 04/02/2014.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Estimativas anuais de emissões de gases do efeito estufa no Brasil**. Brasil, 2013. Disponível em  
<<http://www.mct.gov.br>> Acesso em 20/03/2014.

DUTIL, Y.; ROUSSE, D. ; QUESADA, G. **Sustainable Buildings: An Ever Evolving Target . Technologies of Energy and Energy Efficiency**, Écolo de Technologie Supérieure. Canadá. 2011. Disponível em:  
<<http://www.mdpi.com/2071-1050/3/2/443/>>. Acesso em: 20/01/2014.

GRAF, H. F.; TAVARES, S. F. **Energia incorporada dos materiais de uma edificação Padrão Brasileira Residencial**. In: 1º CONGRESSO DE INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E SUSTANTABILIDADE, 2010. UNIFEBE, Brusque/SC. Disponível em:  
<<http://sites.unifebe.edu.br/congressoits2010/artigos/artigos.php>>. Acesso em 25/01/2014.

HAMMOND, G.P.; JONES, C.I. **Inventory of Carbon & Energy (ICE)**. Department of Mechanical Engineering. University of Bath. UK, 2008. Disponível em: <[www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied/](http://www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied/)>. Acesso em 12/02/2014.

MENASSA, C. C. **Evaluating Sustainable Retrofits In Existing Buildings Under Uncertainty**. University of Wisconsin-Madison. USA.2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811004324>>. Acesso em: 03/02/2014.

MYRANS, Katharine. **Comparative energy and carbon assessment of three green technologies fo a Toronto Roof**. Dissertação de Mestrado. University of Toronto, 2009.

NASCIMENTO, Wânia C. do. **Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba – Barreiras e potencialidades**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR, PPGCC, 2008.

OSMUNDSON, T. **Roof Gardens – History, Design and Construction**. W.W. Norton & Company, Inc., New York, NY. 1999.

RELATÓRIO BRUNDTLAND. **Nosso Futuro Comum**. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Editora da Fundação Getúlio Vargas. RJ, 1991. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/12906958/Relatorio-Brundtland-Nosso-Futuro-Comum-Em-Portugues>> Acesso em: dez. 2013.

ROAF, S., FUENTES, M., THOMAS, S., **A Casa Ambientalmente Sustentável**. 2ª edição, Porto Alegre: Bookman, 2006.

SAVI, Adriane C. **Desenvolvimento de técnica construtiva de telhado verde e análise comparativa de custos com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia de especialização. Curitiba: UTFPR, DACC, 2012.

TAVARES, Sérgio F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de doutorado. Florianópolis: UFSC, PPGECC, 2006.

TCPO, **Tabelas de composição de Preços para Orçamentos**. Editora PINI. São Paulo, 2003. CD-ROM, desenvolvido pela Construnet.

YUNG, E. H. K.; CHAN, E. H.W. **Implementation Challenges to the Adaptive Reuse of Heritage Buildings: Towards the Goals of Sustainable, Low Carbon Cities**. Habitat International,2012. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397511000877>>.

Acesso em: 22/01/2014.

## REFERÊNCIAS FIGURAS

**Ecotelhado.** Disponível em:

<<http://www.ecotelhado.com.br/Por/ecotelhado/SistemaModGaloc/default.aspx>>  
> Acesso em 20 de janeiro de 2014.

**Green Grid Roofs.** Disponível em:

<<http://www.greengridroofs.com/inspired/galleries/rooftop.htm>> Acesso em 01 de abril de 2014.

**Green Roof Service.** Disponível em: <[www.greenroofservice.com](http://www.greenroofservice.com)> Acesso em 20 de fevereiro de 2014.

**Viver de Eco.** Disponível em: <http://viverdeeco.com> Acesso em 25 de janeiro de 2014.

**Ambientalista sem rede.** Disponível em: < <http://ambientalistasemrede.org/otelhado-verde-de-le-corbusier/>> Acesso em 30 de março de 2014

**Panoramio.** Disponível em: <[www.panoramio.com](http://www.panoramio.com)> Acesso em 01 de abril de 2014.

**Skyscrapercity.** Disponível em: <<http://www.skyscrapercity.com>> Acesso em 12 de fevereiro de 2014.

**Instituto Cidade Jardim.** Disponível em: [institutocidadejardim.wordpress.com](http://institutocidadejardim.wordpress.com)> Acesso em 23 de janeiro de 2014.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 1.

Sistema 1 - Laje Pré-moldada com telha cerâmica									
	Materials	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m <sup>2</sup> construído
Laje pré-fabricada p/pisos espessura 12cm			57,6						
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,05	2,88	1515	4363,2	0,05	218,160	3,788
	Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,01	0,576	1650	950,4	0,15	142,560	2,475
	Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,03	1,728	1650	2851,2	0,15	427,680	7,425
	Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	15			864	4,2	3628,800	63,000
	Barra de aço CA-50 1/4" (bitola: 6,30 mm / massa linear: 0,245 kg/m)	kg	1,89			108,864	31	3374,784	58,590
	Laje pré-fabricada convencional parapiso ou cobertura (espessura: 80 mm / vão livre: 3,50 m / peso próprio: 205 Kgf/m <sup>2</sup> / sobrecarga: 150 Kgf/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	1	57,6	205	11808	2,9	34243,200	594,500
	Prego (tipo de prego: 18x27)	kg	0,03	1,728		1,728	31	53,568	0,930
	PEÇA DE MADEIRA DE LEI NATIVA/REGIONAL 7,5 X 7,5 CM NÃO APARELHADA	m <sup>3</sup>	0,0036	0,20736	720	2,592	0,5	1,296	0,023
	TABUA MADEIRA 3A QUALIDADE 2,5X 30,0CM (1 X 12") NAO APARELHADA	m	0,03	1,728	720	21,6	0,5	10,800	0,188
COBERTURA		M <sup>2</sup>	57,6						
	ESTRUTURA DE MADEIRA DE LEI 1A SERRADA NAO APARELHADA, PARA TELHAS CER AMICAS, VAOS 7M ATE 10 M	KG	28,4	1635,84		1635,84	0,5	817,920	14,200
	telha cerâmica tipo romana	M <sup>2</sup>	16	921,6	2,5	2304	5,4	12441,600	216,000
FORRO		M <sup>2</sup>	57,6						
CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL		M <sup>2</sup>	76,06						
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,06	4,5636	1515	6913,85	0,05	345,693	6,002
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	187,1076		187,108	4,2	785,852	13,643
EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL			57,6						
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,109	6,2784	1515	9511,78	0,05	475,589	8,257
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	2670,336		2670,34	3	8011,008	139,080
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	16,36	942,336		942,336	4,2	3957,811	68,712
REBOCO PARA TETOS ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO		m <sup>2</sup>	57,46						
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	879,138		879,138	3	2637,414	45,788
	areia lavada tipo fina	m <sup>3</sup>	0,041	2,35586	1515	3569,13	0,05	178,456	3,098
ALVENARIA		m <sup>2</sup>	18,6						
	BLOCO CERAMICO VEDAÇÃO 6 FUROS - 9 X 14 X 19 CM	unid.	31	576,6	2,21	1274,29	2,9	3695,429	64,157
argamassa traco 1:4 cimento e areia para assentamento									
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	1,2	22,32		22,32	4,2	93,744	1,628
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,12	2,232	1515	3381,48	0,05	169,074	2,935
CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL		m <sup>2</sup>	18,6						
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,06	1,116	1515	1690,74	0,05	84,537	1,468
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	45,756		45,756	4,2	192,175	3,336
EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL									
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,109	2,0274	1515	3071,51	0,05	153,576	2,666
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	862,296		862,296	3	2586,888	44,911
REBOCO ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO			18,6						
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	284,58		284,58	3	853,740	14,822
	areia lavada tipo fina	m <sup>3</sup>	0,041	0,7626	1515	1155,34	0,05	57,767	1,003
VEDAÇÃO/ACABAMENTOS									
	RUFO EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO N.24, DESENVOLVIMENTO 16CM	m	22,27	22,27	0,83	18,4841	33,8	624,763	10,847
	CALHA EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO N.24, DESENVOLVIMENTO 33CM	m	4	4	1,72	6,88	33,8	232,544	4,037
	PINTURA LATEX PVA AMBIENTES INTERNOS, DUAS DEMAOS	l	0,17	9,792	1,3	12,7296	65	827,424	14,365
							<b>EE Total (MJ)</b>	<b>81323,85</b>	<b>1411,87</b>
							EE (GJ)	81,32	1,41

## APÊNDICE B – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 2.

Sistema 2 - Laje Pré-moldada com sombreamento											
	Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m² construído		
Laje pré-fabricada p/pisos espessura 12cm			57,6								
	Areia lavada tipo média	m³	0,05	2,88	1515	4363,2	0,05	218,160	3,788		
	Pedra britada 1	m³	0,01	0,576	1650	950,4	0,15	142,560	2,475		
	Pedra britada 2	m³	0,03	1,728	1650	2851,2	0,15	427,680	7,425		
	Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	15			864	4,2	3628,800	63,000		
	Barra de aço CA-50 1/4" (bitola: 6,30 mm / massa linear: 0,245 kg/m)	kg	1,89			108,864	31	3374,784	58,590		
	Laje pré-fabricada convencional parapiso ou cobertura (espessura: 80 mm / vão livre: 3,50 m / peso próprio: 205 Kg/m² / sobrecarga: 150 Kg/m²)	m²	1	57,6	205	11808	2,9	34243,200	594,500		
	Prego (tipo de prego: 18x27)	kg	0,03	1,728		1,728	31	53,568	0,930		
	PEÇA DE MADEIRA DE LEI NATIVA/REGIONAL 7,5 X 7,5 CM NÃO APARELHADA	m³	0,0036	0,20736	720	2,592	0,5	1,296	0,023		
	TABUA MADEIRA 3A QUALIDADE 2,5X 30,0CM (1 X 12") NAO APARELHADA	m	0,03	1,728	720	21,6	0,5	10,800	0,188		
IMPERMEABILIZAÇÃO		M²	61,2								
Manta butílica para coberturas		m²	61,2								
	Tinta betuminosa - primer -0,3kg/m2	m²	0,3	18,36		18,36	51	936,360	16,256		
	Adesivo auto vulcanizante para manta butílica	l	0,2	12,24		12,24	51	624,240	10,838		
	Berço hidro-asfáltico e borracha moída para camada amortecedora	kg	3	183,6		183,6	51	9363,600	162,563		
	Emulsão hidro-asfáltica - 0,5kg/m2	kg	0,5	30,6		30,6	51	1560,600	27,094		
	Fita de caldeação para manta butílica (espessura: 3,00 mm / largura: 1,00 m)	m	2	122,4		122,4	51	6242,400	108,375		
	Areia lavada tipo média	m³	0,02	1,224	1515	1854,36	0,05	92,718	1,610		
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	9,45	578,34		578,34	4,2	2429,028	42,171		
	Manta butílica (espessura: 0,80 mm e 7kg/m2)	m²	1,1	67,32		471,24	51	24033,240	417,244		
FORRO		M²	57,6								
CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL		M²	81,54								
	Areia lavada tipo média	m³	0,06	4,8924	1515	7411,986	0,05	370,599	6,434		
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	200,5884		200,5884	4,2	842,471	14,626		
EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL			81,54								
	Areia lavada tipo média	m³	0,109	8,88786	1515	13465,1079	0,05	673,255	11,688		
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	3780,1944		3780,1944	3	11340,583	196,885		
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	16,36	1333,9944		1333,9944	4,2	5602,776	97,270		
REBOCO PARA TETOS ARGAMASSA TRACO 1:4:5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO		m²	57,6								
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	881,28		881,28	3	2643,840	45,900		
	areia lavada tipo fina	m³	0,041	2,3616	1515	3577,824	0,05	178,891	3,106		
ALVENARIA		m²	18,6								
	BLOCO CERAMICO VEDAÇÃO 6 FUROS - 9 X 14 X 19 CM	unid.	31	576,6	2,21	1274,286	2,9	3695,429	64,157		
argamassa traco 1:4 cimento e areia para assentamento											
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)to Po	kg	1,2	22,32		22,32	4,2	93,744	1,628		
	Areia lavada tipo média	m³	0,12	2,232	1515	3381,48	0,05	169,074	2,935		
CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL		m²	18,6								
	Areia lavada tipo média	m³	0,06	1,116	1515	1690,74	0,05	84,537	1,468		
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	45,756		45,756	4,2	192,175	3,336		
EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL											
	Areia lavada tipo média	m³	0,109	2,0274	1515	3071,511	0,05	153,576	2,666		
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	862,296		862,296	3	2586,888	44,911		
REBOCO ARGAMASSA TRACO 1:4:5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO			23,94								
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	366,282		366,282	3	1098,846	19,077		
	areia lavada tipo fina	m³	0,041	0,98154	1515	1487,0331	0,05	74,352	1,291		
SOMBREAMENTO E ACABAMENTO			57,6								
	RUFO EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO N.24, DESENVOLVIMENTO 16CM	m	31,82	31,82	0,83	26,4106	33,8	892,678	15,498		
	ARGILA EXPANDIDA 3CM DE ESPESSURA	m³	0,05	2,88	750	2160	7,2	15552,000	270,000		
	CAMADA DE BRITA P/PROTECAO DA LAJE DE COBERTURA	m³	0,05	2,88	1650	4752	0,15	712,800	12,375		
	PINTURA LATEX PVA AMBIENTES INTERNOS, DUAS DEMAOS	l	0,17	13,8618	1,3	18,02034	65	1171,322	20,335		
							<b>EE Total (MJ)</b>	<b>135512,87</b>	<b>2352,65</b>		
							<b>EE (GJ)</b>	<b>135,51</b>	<b>2,35</b>		

## APÊNDICE C – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 3.

Sistema 3 - Estrutura em madeira e telha cerâmica									
	Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m² construído
COBERTURA		M²	57,46						
	ESTRUTURA DE MADEIRA DE LEI 1A SERRADA NAO APARELHADA, PARA TELHAS CER AMICAS, VAOS 7M ATE 10 M	KG	28,4	1631,864		1631,86	0,5	815,932	14,165
	telha cerâmica tipo romana	M²	16	919,36	2,5	2298,4	5,4	12411,360	215,475
FORRO		M²	57,6						
	FORRO DE BEIRAL EM MADEIRA TIPO CEDRINHO, INCLUSO TESTEIRA ALTURA15CM E MEIA-CANA	m²	8,01	0,0801	720	57,672	0,5	28,836	0,501
	FORRO DE MADEIRA TIPO CEDRINHO, LARGURA DAS TABUAS 10CM, ESPESSURA 1CM , EXCLUSIVE ENTARUGAMENTO	M²	44,53	0,4453	720	320,616	0,5	160,308	2,783
CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL		M²	18,6						
	Areia lavada tipo média	m³	0,06	1,116	1515	1690,74	0,05	84,537	1,468
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	45,756		45,756	4,2	192,175	3,336
EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MA NUAL			18,6						
	Areia lavada tipo média	m³	0,109	2,0274	1515	3071,51	0,05	153,576	2,666
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	862,296		862,296	3	2586,888	44,911
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	16,36	304,296		304,296	4,2	1278,043	22,188
REBOCO PARA TETOS ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO		m²	18,6						
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	284,58		284,58	3	853,740	14,822
	areia lavada tipo fina	m³	0,041	0,7626	1515	1155,34	0,05	57,767	1,003
ALVENARIA		m²	18,6						
	BLOCO CERAMICO VEDAÇÃO 6 FUROS - 9 X 14 X 19 CM	unid.	31	576,6	2,21	1274,29	2,9	3695,429	64,157
argamassa traco 1:4 cimento e areia para assentamento									
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)to Po	kg	1,2	22,32		22,32	4,2	93,744	1,628
	Areia lavada tipo média	m³	0,12	2,232	1515	3381,48	0,05	169,074	2,935
CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL		m²	18,6						
	Areia lavada tipo média	m³	0,06	1,116	1515	1690,74	0,05	84,537	1,468
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	45,756		45,756	4,2	192,175	3,336
EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MA NUAL									
	Areia lavada tipo média	m³	0,109	2,0274	1515	3071,51	0,05	153,576	2,666
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	862,296		862,296	3	2586,888	44,911
REBOCO ARGAMASSA TRACO 1:4,5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO			18,6						
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	284,58		284,58	3	853,740	14,822
	areia lavada tipo fina	m³	0,041	0,7626	1515	1155,34	0,05	57,767	1,003
VEDAÇÃO/ACABAMENTOS									
	RUFO EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO N.24, DESENVOLVIMENTO 16CM	m	31,82	31,82	0,83	26,4106	33,8	892,678	15,498
	CALHA EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO N.24, DESENVOLVIMENTO 33CM	m	4	4	1,72	6,88	33,8	232,544	4,037
	PINTURA VERNIZ EM FORRO DE MADEIRA, DUAS DEMAOS	l	0,17	8,9318	1,3	11,6113	65	754,737	13,103
							<b>EE Total (MJ)</b>	<b>28390,05</b>	<b>492,88</b>
							EE (GJ)	28,39	0,49

## APÊNDICE D – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 4.

Sistema 4 - HEXA									
	Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m² construído
<b>ESTRUTURA COBERTURA</b>									
	PEÇA DE MADEIRA DE LEI 1A QUALIDADE 5 X 22,5CM (2X9") NAO APARELHADA	ML	107	1,20375	720	866,7	0,5	433,350	7,523
	ESTRUTURA DE MADEIRA DE LEI 1A SERRADA NAO APARELHADA, PARA TELHAS CER AMICAS, VAOS ATE 7M	m²	57,46	1631,864	720	1631,86	0,5	815,932	14,165
	PLACA DE COMPENSADO AUTOCLAVADO ESP 1,7cm DIM 122 X 244cm. 23KG	Un.	21	483		483	8	3864,000	67,083
<b>PLACA CIMENTICIA Sem amianto. Esp. 6mm. 10,2kg/m²</b>									
	Areia lavada tipo média	m³	0,003204	0,0762	1515	115,4295	0,05	5,771	0,100
	Pedra britada 1	m³	0,000694	0,0165	1650	27,2305	0,15	4,085	0,071
	Pedra britada 2	m³	0,002084	0,0496	1650	81,7699	0,15	12,265	0,213
	Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	0,761127	18,0996		18,0996	4,2	76,018	1,320
<b>IMPERMEABILIZAÇÃO</b>									
	Manta butilica para coberturas	m²	61,2	61,2					
	Tinta betuminosa - primer -0,3kg/m2	m²	0,3	18,36		18,36	51	936,360	16,256
	Adesivo auto vulcanizante para manta butilica	l	0,2	12,24		12,24	51	624,240	10,838
	Berço hidro-asfáltico e borracha moída para camada amortecedora	kg	3	183,6		183,6	51	9363,600	162,563
	Emulsão hidro-asfáltica - 0,5kg/m2	kg	0,5	30,6		30,6	51	1560,600	27,094
	Fita de caldeação para manta butilica (espessura: 3,00 mm / largura: 1,00 m)	m	2	122,4		122,4	51	6242,400	108,375
	Areia lavada tipo média	m³	0,02	1,224	1515	1854,36	0,05	92,718	1,610
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	9,45	578,34		578,34	4,2	2429,028	42,171
	Manta butilica (espessura: 0,80 mm e 7kg/m2)	m²	1,1	67,32		471,24	51	24033,240	417,244
<b>FORRO</b>									
	FORRO DE MADEIRA TIPO CEDRINHO, LARGURA DAS TABUAS 10CM, ESPESSURA 1CM , EXCLUSIVE ENTARUGAMENTO	M²	81,54	0,8154	720	587,088	0,5	293,544	5,096
<b>TELHADO VERDE VERNACULAR</b>									
	MÓDULO HEXA ECOTELHADO - 6,16un./m² - 0,55kg/um - (HDPE)	m²	57,6	354,816	0,55	195,149	79,67	15547,505	269,922
	lona de proteção antirraízes - polietileno alta densidade (HDPE) 200 micras	m²	57,6		0,2	11,52	79,67	917,798	15,934
	manta de retenção de nutrientes 5mm - 100% poliéster	m²	57,6		0,5	28,8	95	2736,000	47,500
	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER RT 09 P/ DRENAGEM TIPOBIDIM OU EQUIV	m²	57,6		0,2	11,52	95	1094,400	19,000
	ARGILA EXPANDIDA	m³	1,74		750	1305	7,2	9396,000	163,125
	Substrato	m³	2,3		1000	2300	3,904	8979,200	155,889
	MUDAS RASTEIRAS DA REGIAO (CX com 12)	un.	696					----- não computado -----	
	PLANTIO ARBUSTO DE H=0.5 A 0.7M COM 12 UNID/M2, APENAS MÃO DE OBRA, EXCLUSO O FORNECIMENTO DA MUDA E DO ADUBO	m²	58					----- não computado -----	
							<b>EE Total (MJ)</b>	<b>89458,06</b>	<b>1553,09</b>
							<b>EE (GJ)</b>	<b>89,46</b>	<b>1,55</b>

## APÊNDICE E – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 5.

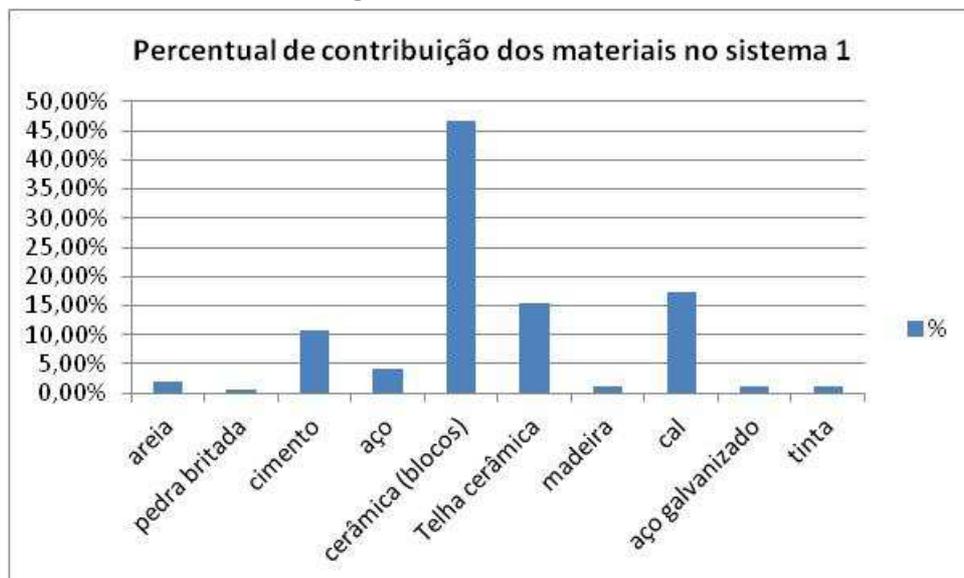
Sistema 5- Telhado Verde Modular										
	Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m <sup>2</sup> construído	
<b>ESTRUTURA COBERTURA</b>										
	PEÇA DE MADEIRA DE LEI 1A QUALIDADE 5 X 22,5CM (2X9") NAO APARELHADA	ML	107	1,20375	720	866,7	0,5	433,350	7,523	
	ESTRUTURA DE MADEIRA DE LEI 1A SERRADA NAO APARELHADA, PARA TELHAS CER AMICAS, VAOS ATE 7M	m <sup>2</sup>	58	1647,2	720	1647,2	0,5	823,600	14,299	
	PLACA DE COMPENSADO AUTOCLAVADO ESP 1,7cm DIM 122 X 244cm. 23KG	Un.	21	483		483	8	3864,000	67,083	
PLACA CIMENTICIA Sem amianto.	Esp. 6mm. 10,2kg/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	23,78							
	Areia lavada tipo média	m <sup>3</sup>	0,0032	0,0762	1515	115,4295	0,05	5,771	0,100	
	Pedra britada 1	m <sup>3</sup>	0,00069	0,0165	1650	27,2305	0,15	4,085	0,071	
	Pedra britada 2	m <sup>3</sup>	0,00208	0,0496	1650	81,7699	0,15	12,265	0,213	
	Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	0,76113	18,0996		18,0996	4,2	76,018	1,320	
<b>IMPERMEABILIZAÇÃO</b>										
	Manta butilica para coberturas	M <sup>2</sup>	64							
	Tinta betuminosa - primer -0,3kg/m2	m <sup>2</sup>	64							
	Adesivo auto vulcanizante para manta butilica	m <sup>2</sup>	0,3	19,2		19,2	51	979,200	17,000	
	Berço hidro-asfáltico e borracha moída para camada amortecedora	l	0,2	12,8		12,8	51	652,800	11,333	
	Emulsão hidro-asfáltica - 0,5kg/m2	kg	3	192		192	51	9792,000	170,000	
	Fita de caldeação para manta butilica (espessura: 3,00 mm / largura: 1,00 m)	kg	0,5	32		32	51	1632,000	28,333	
	Areia lavada tipo média	m	2	128		128	51	6528,000	113,333	
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	m <sup>3</sup>	0,02	1,28	1515	1939,2	0,05	96,960	1,683	
	Manta butilica (espessura: 0,80 mm e 7kg/m2)	kg	9,45	604,8		604,8	4,2	2540,160	44,100	
		m <sup>2</sup>	1,1	70,4		492,8	51	25132,800	436,333	
<b>TELHADO VERDE Modular</b>										
	REVESTIMENTO VIVO - PRONTO PARA PLANTAR- INSTITUTO CIDADE JARDIM - modulo 0,50mx0,50m - 0,7kg/un. - 4 un./m <sup>2</sup> (HDPE)	m <sup>2</sup>	57,6	230,4		0,7	161,28	79,67	12849,178	223,076
	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER RT 09 P/ DRENAGEM TIPOBIDIM OU EQUIV	m <sup>2</sup>	57,6			0,2	11,52	95	1094,400	19,000
	ARGILA EXPANDIDA	m <sup>3</sup>	1,73			750	1297,5	7,2	9342,000	162,188
	Substrato	m <sup>3</sup>	2,32			1000	2320	3,904	9057,280	157,244
	MUDAS RASTEIRAS DA REGIAO (CX com 12)	un.	696							
	PLANTIO ARBUSTO DE H=0.5 A 0.7M COM 12 UNID/M2, APENAS MÃO DE OBRA, EXCLUSO O FORNECIMENTO DA MUDA E DO ADUBO	m <sup>2</sup>	58							
<b>FORRO</b>										
	FORRO DE MADEIRA TIPO CEDRINHO, LARGURA DAS TABUAS 10CM, ESPESSURA 1CM, EXCLUSIVE ENTARUGAMENTO	M <sup>2</sup>	57,6							
		M <sup>2</sup>	81,54	0,8154	720	587,088	0,5	293,544	5,096	
								<b>EE Total (MJ)</b>	<b>85209,41</b>	<b>1479,33</b>
								<b>EE (GJ)</b>	<b>85,21</b>	<b>1,48</b>

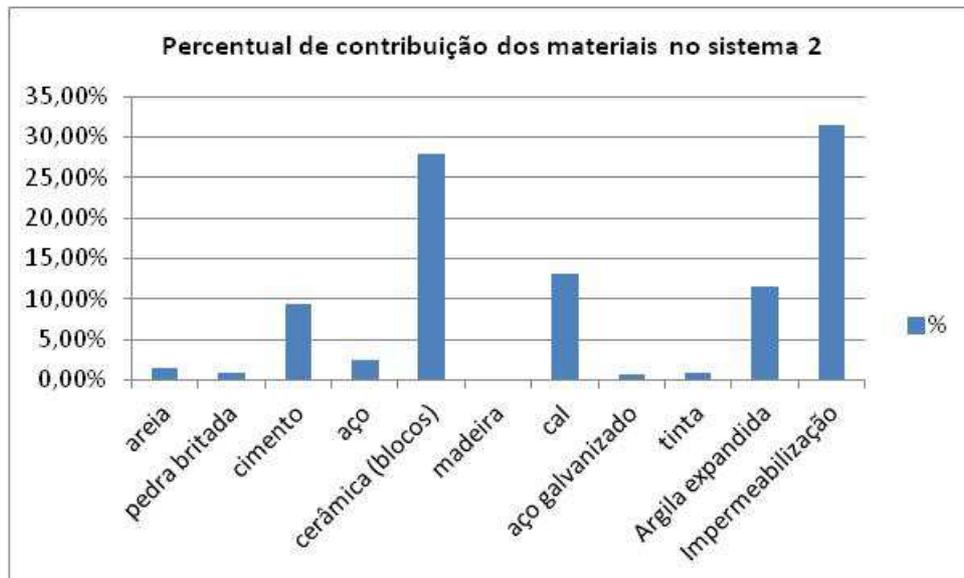
## APÊNDICE F – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 6.

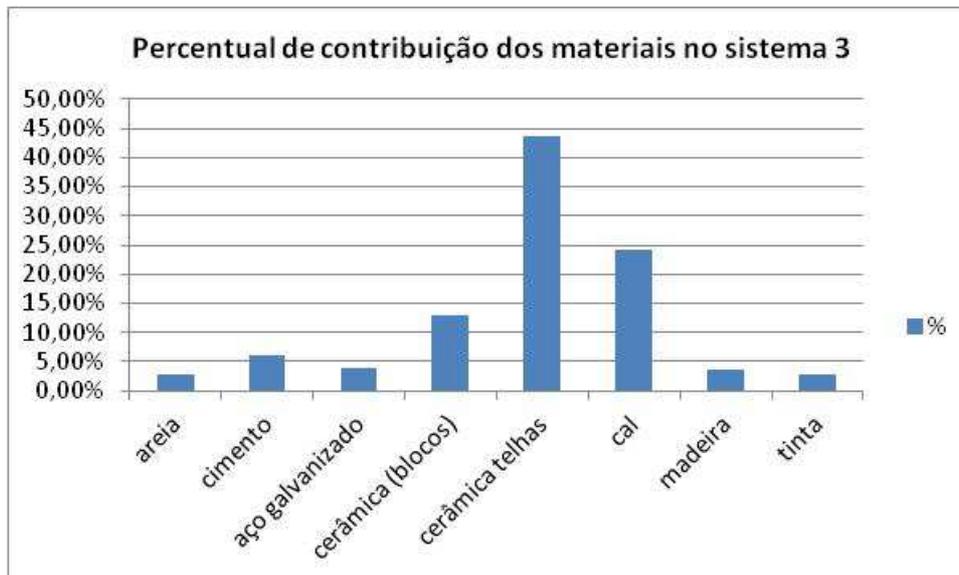
Sistema 6 - Telhado Verde Vernacular									
	Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m² construído
<b>ESTRUTURA COBERTURA</b>									
	PEÇA DE MADEIRA DE LEI 1A QUALIDADE 5 X 22,5CM (2X9") NAO APARELHADA	ML	105,2	1,1835	720	852,12	0,5	426,060	7,397
	ESTRUTURA DE MADEIRA DE LEI 1A SERRADA NAO APARELHADA, PARA TELHAS CER AMICAS, VAOS ATE 7M	m²	58	1647,2	720	1647,2	0,5	823,600	14,299
	PLACA DE COMPENSADO AUTOCLAVADO ESP 1,7cm DIM 122 X 244cm. 23KG	Un.	21	483		483	8	3864,000	67,083
PLACA CIMENTICIA Sem amianto. Esp. 6mm. 10,2kg/m²			m²	23,78					
	Areia lavada tipo média	m³	0,0032	0,0762	1515	115,4295	0,05	5,771	0,100
	Pedra britada 1	m³	0,00069	0,0165	1650	27,2305	0,15	4,085	0,071
	Pedra britada 2	m³	0,00208	0,0496	1650	81,7699	0,15	12,265	0,213
	Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	0,76113	18,0996		18,0996	4,2	76,018	1,320
<b>IMPERMEABILIZAÇÃO</b>			m²	64					
Manta butílica para coberturas			m²	64					
	Tinta betuminosa - primer -0,3kg/m2	m²	0,3	19,2		19,2	51	979,200	17,000
	Adesivo auto vulcanizante para manta butílica	l	0,2	12,8		12,8	51	652,800	11,333
	Berço hidro-asfáltico e borracha moída para camada amortecedora	kg	3	192		192	51	9792,000	170,000
	Emulsão hidro-asfáltica - 0,5kg/m2	kg	0,5	32		32	51	1632,000	28,333
	Fita de caldeação para manta butílica (espessura: 3,00 mm / largura: 1,00 m)	m	2	128		128	51	6528,000	113,333
	Areia lavada tipo média	m³	0,02	1,28	1515	1939,2	0,05	96,960	1,683
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	9,45	604,8		604,8	4,2	2540,160	44,100
	Manta butílica (espessura: 0,80 mm e 7kg/m2)	m²	1,1	70,4		492,8	51	25132,800	436,333
<b>TELHADO VERDE VERNACULAR</b>			m²	57,6					
	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER RT 09 P/ DRENAGEM TIPOBIDIM OU EQUIV. (duas camadas)	m²	57,6	115,2	0,2	23,04	95	2188,800	38,000
	ARGILA EXPANDIDA	m³	1,74		750	1305	7,2	9396,000	163,125
	Substrato	m³	2,32		1000	2320	3,904	9057,280	157,244
	MUDAS RASTEIRAS DA REGIAO (CX com 12)	un.	696						
	PLANTIO ARBUSTO DE H=0.5 A 0.7M COM 12 UNID/M2, APENAS MÃO DE OBRA, EXCLUSO O FORNECIMENTO DA MUDA E DO ADUBO	m²	58						
<b>EE Total (MJ)</b>								<b>73207,80</b>	<b>1270,97</b>
<b>EE (GJ)</b>								<b>73,21</b>	<b>1,27</b>

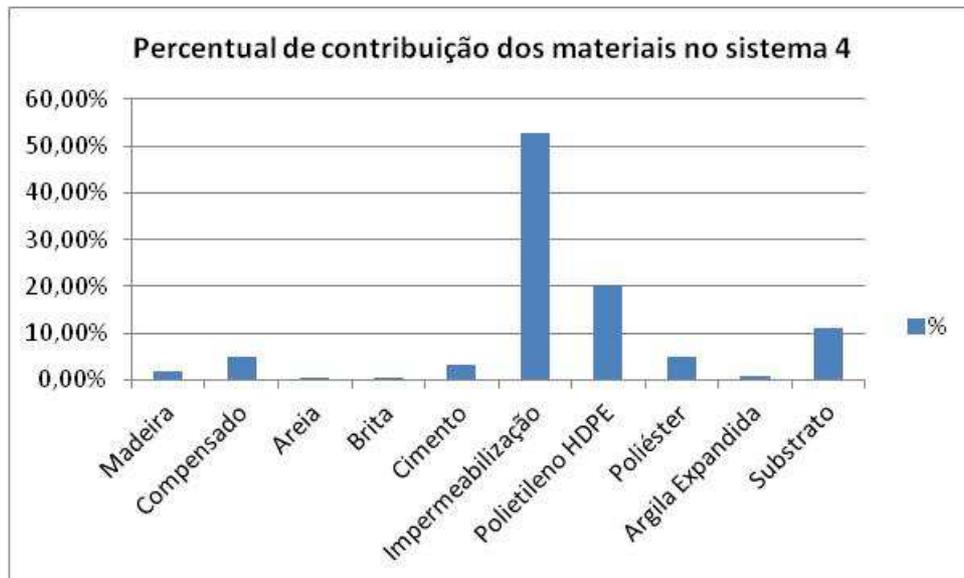
## APÊNDICE G – Tabela de composição e quantitativo de materiais do sistema 7.

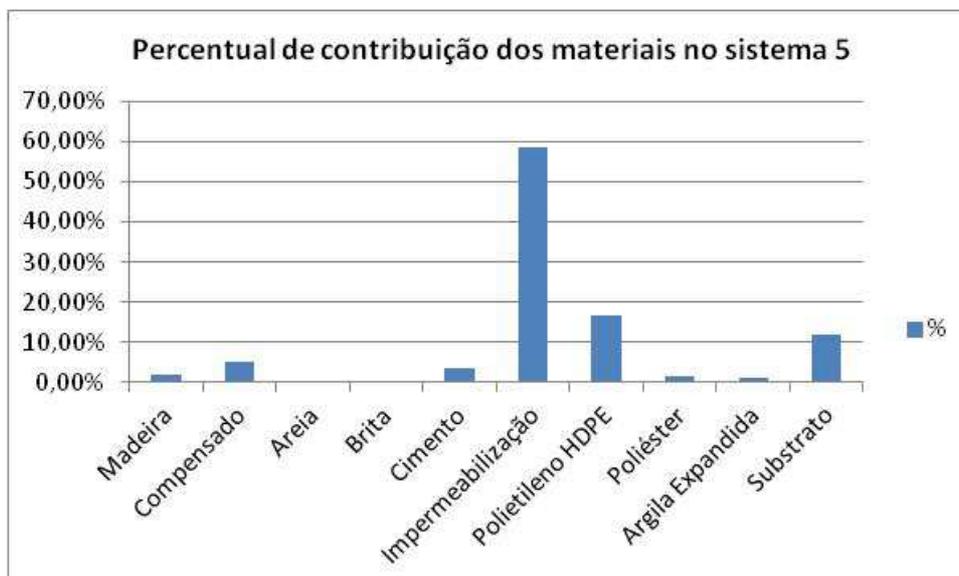
Sistema 7 - Telhado verde vernacular com laje										
	Materiais	Un.	Quant.	Sub Total	Densidade	Total Kg	EE MJ/Kg	EE Total Material	EE MJ Kg/m² construído	
<b>Laje pré-fabricada p/pisos espessura 12cm</b>										
57,6										
	Areia lavada tipo média	m³	0,05	2,88	1515	4363,2	0,05	218,160	3,788	
	Pedra britada 1	m³	0,01	0,576	1650	950,4	0,15	142,560	2,475	
	Pedra britada 2	m³	0,03	1,728	1650	2851,2	0,15	427,680	7,425	
	Cimento Portland CP II-E-20 (resistência: 20,00 MPa)	kg	15			864	4,2	3628,800	63,000	
	Barra de aço CA-50 1/4" (bitola: 6,30 mm / massa linear: 0,245 kg/m)	kg	1,89			108,864	31	3374,784	58,590	
	Laje pré-fabricada convencional parapiso ou cobertura (espessura: 80 mm / vão livre: 3,50 m / peso próprio: 205 Kg/m² / sobrecarga: 150 Kg/m²)	m²	1	57,6	205	11808	2,9	34243,200	594,500	
	Prego (tipo de prego: 18x27)	kg	0,03	1,728		1,728	31	53,568	0,930	
	PEÇA DE MADEIRA DE LEI NATIVA/REGIONAL 7,5 X 7,5 CM NÃO APARELHADA	m³	0,0036	0,20736	720	2,592	0,5	1,296	0,023	
	TABUA MADEIRA 3A QUALIDADE 2,5X 30,0CM (1 X 12") NAO APARELHADA	m	0,03	1,728	720	21,6	0,5	10,800	0,188	
<b>IMPERMEABILIZAÇÃO</b>										
61,2										
	Manta butílica para coberturas	m²	61,2							
	Tinta betuminosa - primer -0,3kg/m2	m²	0,3	18,36		18,36	51	936,360	16,256	
	Adesivo auto vulcanizante para manta butílica	l	0,2	12,24		12,24	51	624,240	10,838	
	Berço hidro-asfáltico e borracha moída para camada amortecedora	kg	3	183,6		183,6	51	9363,600	162,563	
	Emulsão hidro-asfáltica - 0,5kg/m2	kg	0,5	30,6		30,6	51	1560,600	27,094	
	Fita de caldeação para manta butílica (espessura: 3,00 mm / largura: 1,00 m)	m	2	122,4		122,4	51	6242,400	108,375	
	Areia lavada tipo média	m³	0,02	1,224	1515	1854,36	0,05	92,718	1,610	
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	9,45	578,34		578,34	4,2	2429,028	42,171	
	Manta butílica (espessura: 0,80 mm e 7kg/m2)	m²	1,1	67,32		471,24	51	24033,240	417,244	
<b>FORRO</b>										
57,6										
	CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL	M²	81,54							
	Areia lavada tipo média	m³	0,06	4,8924	1515	7411,986	0,05	370,599	6,434	
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	200,5884		200,5884	4,2	842,471	14,626	
	EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL		81,54							
	Areia lavada tipo média	m³	0,109	8,88786	1515	13465,11	0,05	673,255	11,688	
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	3780,1944		3780,194	3	11340,583	196,885	
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	16,36	1333,9944		1333,994	4,2	5602,776	97,270	
	REBOCO PARA TETOS ARGAMASSA TRACO 1:4:5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO	m²	57,6							
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	881,28		881,28	3	2643,840	45,900	
	areia lavada tipo fina	m³	0,041	2,3616	1515	3577,824	0,05	178,891	3,106	
	ALVENARIA	m²	9,6							
	BLOCO CERAMICO VEDAÇÃO 6 FUIROS - 9 X 14 X 19 CM	unid.	31	297,6	2,21	657,696	2,9	1907,318	33,113	
	argamassa traco 1:4 cimento e areia para assentamento									
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	1,2	11,52		11,52	4,2	48,384	0,840	
	Areia lavada tipo média	m³	0,12	1,152	1515	1745,28	0,05	87,264	1,515	
	CHAPISCO TRACO 1:3 (CIMENTO E AREIA), ESPESSURA 0,5CM, PREPARO MANUAL	m²	9,6							
	Areia lavada tipo média	m³	0,06	0,576	1515	872,64	0,05	43,632	0,758	
	Cimento Portland CP II-E-32 (resistência: 32,00 MPa)	kg	2,46	23,616		23,616	4,2	99,187	1,722	
	EMBOCO TRACO 1:2:8 (CIMENTO, CAL E AREIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL		23,94							
	Areia lavada tipo média	m³	0,109	2,60946	1515	3953,332	0,05	197,667	3,432	
	Cal hidratada CH III	kg	46,36	1109,8584		1109,858	3	3329,575	57,805	
	REBOCO ARGAMASSA TRACO 1:4:5 (CAL E AREIA FINA PENEIRADA), ESPESSURA 0,5CM PREPARO MECANICO		23,94							
	Cal hidratada CH III	kg	15,3	366,282		366,282	3	1098,846	19,077	
	areia lavada tipo fina	m³	0,041	0,98154	1515	1487,033	0,05	74,352	1,291	
<b>TELHADO VERDE VERNACULAR</b>										
57,6										
	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER RT 09 P/ DRENAGEM TIPOBIDIM OU EQUIV	m²	57,6		0,2	11,52	95	1094,400	19,000	
	ARGILA EXPANDIDA ESP. 30mm	m³	1,74		750	1305	7,2	9396,000	163,125	
	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER RT 09 P/ DRENAGEM TIPOBIDIM OU EQUIV	m²	57,6		0,2	11,52	95	1094,400	19,000	
	Substrato	m³	2,3		1000	2300	3,904	8979,200	155,889	
	MUDAS RASTEIRAS DA REGIAO (CX com 12)	un.	696							
	PLANTIO ARBUSTO DE H=0.5 A 0.7M COM 12 UNID/M2, APENAS MÃO DE OBRA, EXCLUSO O FORNECIMENTO DA MUDA E DO ADUBO	m²	58							
<b>ACABAMENTO</b>										
57,6										
	RUFO EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO N.24, DESENVOLVIMENTO 16CM	m	31,82	31,82	0,83	26,4106	33,8	892,678	15,498	
								<b>EE Total (MJ)</b>	<b>137378,35</b>	<b>2385,04</b>
								<b>EE (GJ)</b>	<b>137,38</b>	<b>2,39</b>

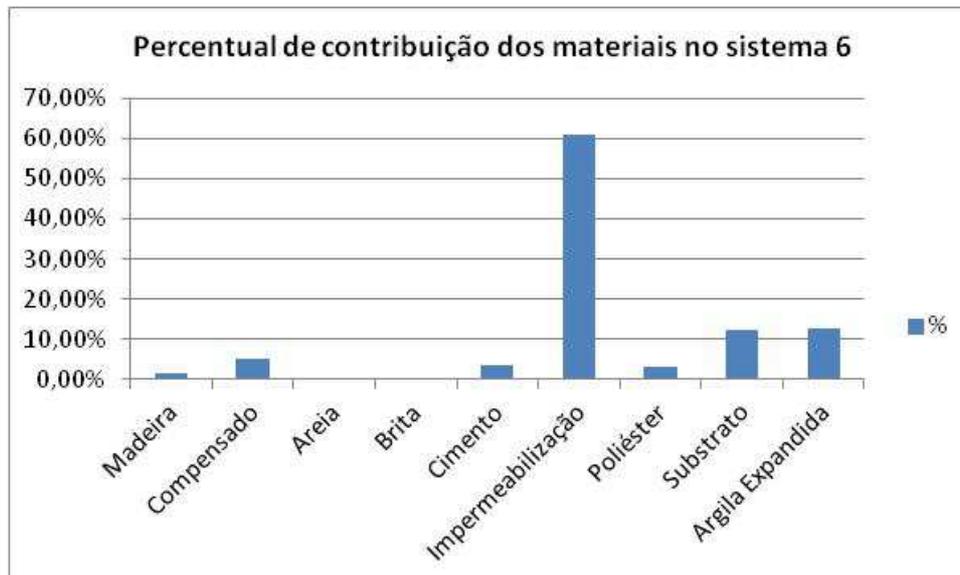
**APÊNDICE H – Energia embutida nos materiais do sistema 1.**

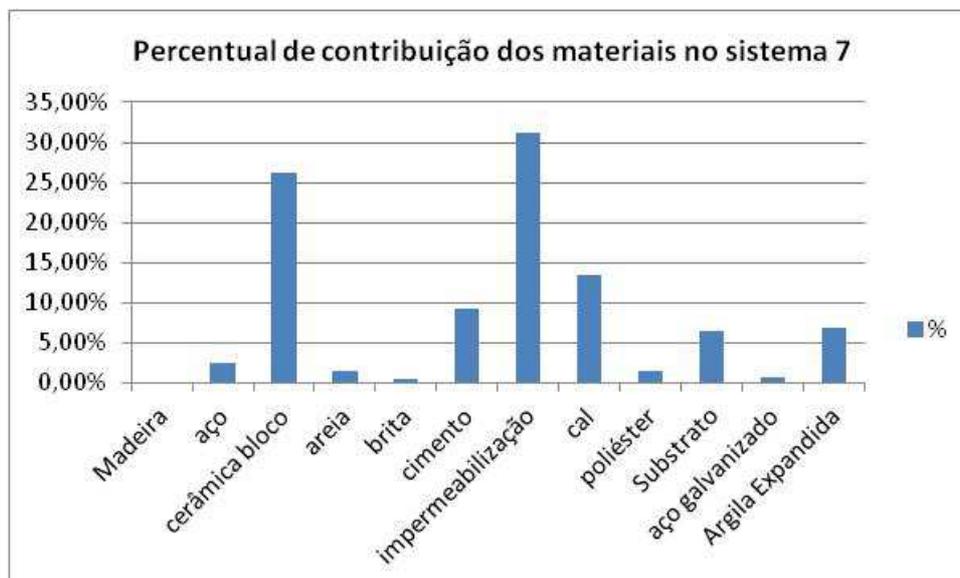
**APÊNDICE I - Energia embutida nos materiais do sistema 2.**

**APÊNDICE J - Energia embutida nos materiais do sistema 3.**

**APÊNDICE L - Energia embutida nos materiais do sistema 4.**

**APÊNDICE M - Energia embutida nos materiais do sistema 5.**

**APÊNDICE N - Energia embutida nos materiais do sistema 6.**

**APÊNDICE O - Energia embutida nos materiais do sistema 7.**

**APÊNDICE P – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 1.**

<b>CO<sub>2</sub> (Kg) nos principais materiais do Sistema 1</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>%CO<sub>2</sub></b>
1	areia	133,20	1,50%
2	pedra britada	40,22	0,45%
3	cimento	1.095,50	12,30%
4	aço	256,72	2,88%
5	cerâmica (blocos)	1.963,07	22,05%
6	Telha cerâmica	974,40	10,94%
7	madeira	747,02	8,39%
8	cal	3.569,23	40,08%
9	aço galvanizado	64,20	0,72%
10	tinta	60,91	0,68%
		8.904,45	100%

**APÊNDICE Q – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 2.**

<b>CO<sub>2</sub> (Kg) nos principais materiais do Sistema 2</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO<sub>2</sub></b>	<b>% CO<sub>2</sub></b>
1	areia	159,50	1,19%
2	pedra britada	90,49	0,68%
3	cimento	1.618,12	12,10%
4	aço	256,72	1,92%
5	cerâmica (blocos)	1.963,07	14,68%
6	madeira	10,89	0,08%
7	cal	4.476,44	33,47%
8	aço galvanizado	66,85	0,50%
9	tinta	86,22	0,64%
10	Argila expandida	1.123,20	8,40%
11	Impermeabilização	3.521,45	26,33%
		13.372,95	100%

**APÊNDICE R – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 3.**

<b>CO2 (Kg) nos principais materiais do Sistema 3</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO2</b>	<b>% CO2</b>
1	areia	60,22	1,42%
2	cimento	222,19	5,25%
3	aço galvanizado	84,26	1,99%
4	cerâmica (blocos)	191,21	4,52%
5	cerâmica telhas	972,03	22,96%
6	cal	1.743,25	41,18%
7	madeira	904,57	21,37%
8	tinta	55,56	1,31%
		4.233,30	100%

**APÊNDICE S – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 4.**

<b>CO2 (Kg) nos principais materiais do Sistema 4</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO2</b>	<b>%CO2</b>
1	Madeira	1.388,54	13,58%
2	Compensado	413,64	4,05%
3	Areia	7,80	0,08%
4	Brita	1,15	0,01%
5	Cimento	316,95	3,10%
6	Impermeabilização	3.521,45	34,44%
7	Polietileno HDPE	330,67	3,23%
8	Poliéster	102,01	1,00%
9	Argila Expandida	365,04	3,57%
10	Substrato	3.776,46	36,94%
		10.223,71	100%

**APÊNDICE T – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 5.**

<b>CO2 (Kg) nos principais materiais do Sistema 5</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO2</b>	<b>%CO2</b>
1	Madeira	1.395,44	13,60%
2	Compensado	413,64	4,03%
3	Areia	8,13	0,08%
4	Brita	1,15	0,01%
5	Cimento	331,01	3,23%
6	Impermeabilização	3.682,56	35,89%
7	Poliétileno HDPE	258,05	2,51%
8	Poliéster	29,15	0,28%
9	Argila Expandida	365,04	3,56%
10	Substrato	3.776,46	36,81%
		10.260,63	100%

**APÊNDICE U** – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 6.

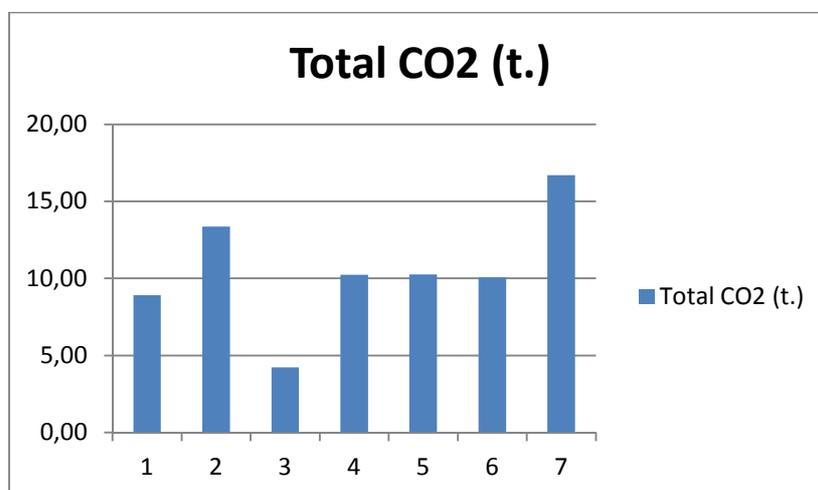
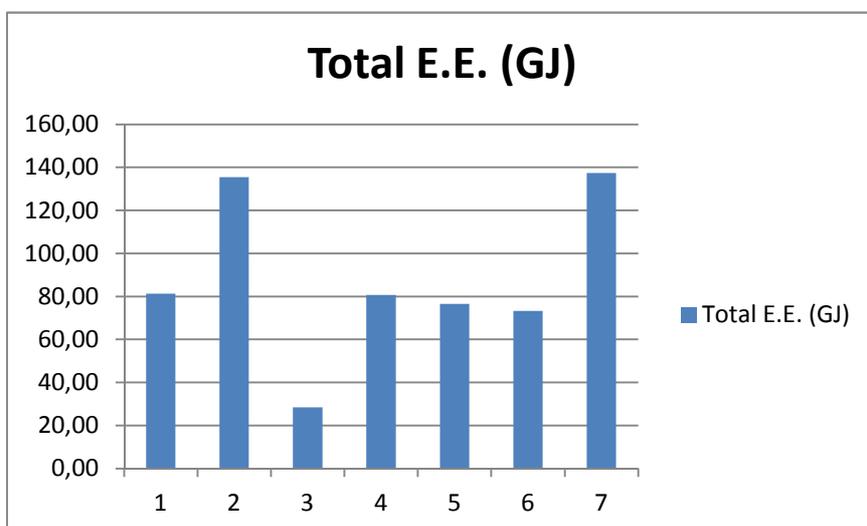
<b>CO2 (Kg) nos principais materiais do Sistema 6</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO2</b>	<b>%CO2</b>
1	Madeira	1.124,69	11,16%
2	Compensado	413,64	4,11%
3	Areia	8,13	0,08%
4	Brita	1,15	0,01%
5	Cimento	331,01	3,29%
6	Impermeabilizaçã	3.682,56	36,55%
7	Poliéster	58,29	0,58%
8	Substrato	3.776,46	37,49%
9	Argila Expandida	678,60	6,74%
		10.074,54	100%

**APÊNDICE V – Emissão de CO<sub>2</sub> nos materiais do sistema 7.**

<b>CO2 (Kg) nos principais materiais do Sistema 7</b>			
	<b>MATERIAIS</b>	<b>Kg CO2</b>	<b>%CO2</b>
1	Madeira	10,89	0,07%
2	aço	256,72	1,54%
3	cerâmica bloco	1.870,54	11,20%
4	areia	153,28	0,92%
5	brita	40,22	0,24%
6	cimento	1.600,62	9,59%
7	impermeabilização	3.521,45	21,09%
8	cal	4.664,59	27,93%
9	poliéster	58,29	0,35%
10	Substrato	3.776,46	22,62%
11	aço galvanizado	66,85	0,40%
12	Argila Expandida	678,60	4,06%
		16698,50	100%

**APÊNDICE X – Comparação de EE e emissão de CO<sub>2</sub> nos sete sistemas de cobertura.**

Sistemas	EE Total (MJ)	kg CO2 Total	Sistemas	Total E.E. (GJ)	Total CO2 (t.)
1	81.323,85	8.904,45	1	81,32	8,90
2	135.512,87	13.372,95	2	135,51	13,37
3	28.390,06	4.233,30	3	28,39	4,23
4	80.764,05	10.233,71	4	80,76	10,23
5	76.569,41	10.260,63	5	76,57	10,26
6	73.207,80	10.074,54	6	73,21	10,07
7	137.378,35	16.698,50	7	137,38	16,70



**ANEXOS**

**Anexo A – Energia embutida em materiais de construção brasileiros  
(TAVARES, 2006)**

<b>Materiais</b>	<b>EE (MJ/kg)</b>	<b>EE (MJ/m<sup>3</sup>)</b>
Aço - laminado CA 50A <sup>1</sup>	30,00	235500,00
Alumínio lingote <sup>1</sup>	98,20	265140,00
Alumínio anodizado	210,00	567000,00
Alumínio reciclado - extrudado	17,30	46710,00
Areia	0,05	80,00
Argamassa - mistura	2,10	3906,00
Borracha natural - latex	69,00	63480,00
Borracha sintética	135,00	160650,00
Brita	0,15	247,50
Cal virgem	3,00	4500,00
Cerâmica - bloco de 8 furos <sup>1</sup>	2,90	4060,00
Cerâmica - branca	25,00	52075,00
Cerâmica - revest. monoqueima <sup>1</sup>	5,10	10456,66
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00
Cerâmica - telha	5,40	10260,00
Cimento Portland <sup>1</sup>	4,20	8190,00
Cobre	75,00	669975,00
Concreto - bloco de vedação	1,00	2300,00
Concreto simples	1,20	2760,00
Fibra de vidro	24,00	768,00
Fibrocimento - telha	6,00	9600,00
Fio termoplástico	83,00	201690,00
Gesso	4,00	5720,00
Granito - aparelhada	2,00	5400,00
Lã mineral	19,00	2090,00
Latão	80,00	682400,00
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00
Madeira - laminada colada	7,5	4875,00
Madeira - MDF	9,00	5850,00
Mármore	1,00	2550,00
Placa de gesso	4,50	4500,00
Poliamida - nylon	125,00	143750,00
Poliestireno expandido	112,00	4480,00
Poliétileno de alta densidade	95,00	90250,00
Polipropileno	83,80	92180,00
Poliuretano	74,00	44400,00
Solo-cimento - bloco	0,60	1020,00
Solvente - tolueno	67,90	74690,00
Telha de vidro	23,13	55512,00
Tinta acrílica	61,00	79300,00
Tinta óleo	98,10	127530,00
Tinta PVA latex	65,00	84500,00
Tubo - PVC	80,00	104000,00
Vermiculita	1,37	167,14
Vidro plano	18,50	46250,00