



# XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

## TELHADO VERDE, ENERGIA EMBUTIDA E EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>: ANÁLISE COMPARATIVA A COBERTURAS CONVENCIONAIS

**TAVARES, Sergio Fernando (1); LOPES, Thaís Vieira (2); SAVI, Adriane Cordoni (3); OLIVEIRA, Eloise (4)**

(1)UFPR, , e-mail: sergioft22@yahoo.com.br (2) UTFR, e-mail: thaisvielo@gmail.com, (3) UFPR, e-mail: adriane.savi@gmail.com, (4) UFPR, email:eloisedeoliveira@gmail.com

### RESUMO

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 este artigo 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 3 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 telhados verdes tiveram índices de energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub> menores do que as coberturas convencionais com laje pré-moldada, sendo, portanto uma alternativa eficiente às coberturas em laje, do ponto de vista do menor impacto ambiental.

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

### ABSTRACT

*Urban population growth in recent decades has brought a big impact to the urban areas, as 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. Composition tables and quantification of these 3 roofing materials systems were analyzed to then calculate the values of embodied energy (MJ) and CO<sub>2</sub> emissions. However, it can compare among the systems, which would have the lowest impact in terms of embodied energy and CO<sub>2</sub>. The conclusion was that the three green roof systems have indices of EE and CO<sub>2</sub> 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. CO<sub>2</sub> emission. Sustainability. Architecture.

## **1 INTRODUÇÃO**

O equilíbrio das cidades vem sendo alterado sucessivamente devido à ocupação urbana desordenada e crescente. A evolução tecnológica permitiu que o homem produzisse condições de habitabilidade artificialmente, o que tem nos afastado das técnicas de construção mais primitivas ou orgânicas de construir, produzindo uma degradação de espaço e meio ambiente, à medida que se esgotam materiais e recursos naturais.

Segundo Roaf et al. (2006), o mundo precisa de profissionais multidisciplinares, que possam projetar edifícios mais passivos, que usem menos energia, e que esta energia seja proveniente de fontes renováveis. É preciso, segundo a autora, que exista o desenvolvimento de uma consciência, além de uma formação profissional, de maneira que possam projetar e construir com interdisciplinaridade, possibilitando adequar as necessidades de construção juntamente com propostas mais sustentáveis.

Mesmo tendo origem secular, no Brasil, os telhados verdes foram pouco difundidos, 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. Assim sendo, este trabalho visa comparar o potencial de energia embutida (EE) e de emissão de CO<sub>2</sub>, enquanto atributos de sustentabilidade, entre sete sistemas de coberturas, evidenciando a viabilidade não só deste ponto de vista, mas também do ponto de vista social, tecnológico e econômico.

Baseada na demanda já descrita surge o problema desta pesquisa: um sistema de telhado verde extensivo tem menos energia embutida e emite menos CO<sub>2</sub> se comparado a um sistema de cobertura em telha cerâmica ou de laje de concreto pré-moldado?

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa entre sistemas de telhados tradicionais comuns no Brasil e sistemas de telhado verde, no tocante a emissão de CO<sub>2</sub> e energia embutida.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A redução de carga de energia embutida em um telhado verde está relacionada à menor quantidade de material utilizado, e à tipologia de materiais utilizados na elaboração de um sistema de telhado verde. Dessa forma, entende-se que uma estrutura de telhado 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 telha cerâmica ou laje impermeabilizada. Considerando-se os impactos gerados pela exploração e uso excessivo de recursos naturais, e também que os seis setores industriais responsáveis por grande parte do consumo energético do Brasil são diretamente ligados à construção civil, e são responsáveis, conjuntamente, pelo uso de 75% de energia de fontes não renováveis (TAVARES, 2006), este trabalho se justifica como uma tentativa de mensurar e comparar diretamente qual tecnologia de cobertura pode ter menor impacto ambiental.

### **2.1 Telhados verdes**

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. Os 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)

### **2.1.1 Classificação das telhados verdes**

A classificação dos telhados verdes, de acordo com sua finalidade e características, é dividida entre telhados intensivos e extensivos. 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. Para este trabalho optamos utilizar a tipologia de telhados extensivos, por terem menor peso e exigirem menos manutenção, além de representarem a maior quantidade de telhados verdes aplicados atualmente ( SAVI, 2012).

#### **2.1.1.1 Telhados verdes extensivos**

São coberturas mais simples, mais 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. São ideais para vegetação de pequeno porte, pois a espessura do sistema fica entre 8 e 12cm geralmente.

Os telhados extensivos tem durabilidade estimada em 30 anos, e aceitam inclinações entre 0° e 30° (KÖEHLER, 2001 apud NASCIMENTO, 2008)

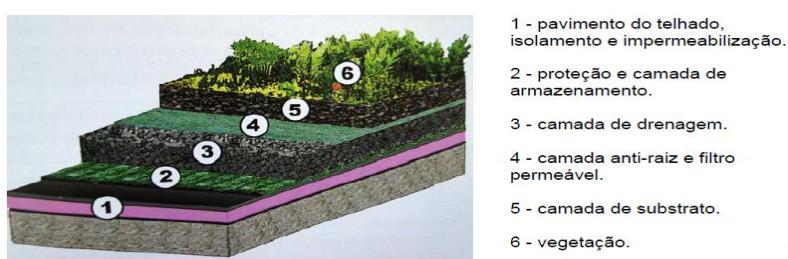
#### **2.1.1.2 Telhados verdes intensivos**

Tem porte maior e permitem maior variedade de plantas, porém, requerem sistemas de irrigação e manutenção mais complexos. Tem uma espessura de substrato variando entre 15cm e 200 cm, com custos de instalação e manutenção maiores do que os sistemas extensivos, exigindo reforço estrutural para suportar uma carga que pode chegar a 1.200Kg/m<sup>2</sup>, em função da espessura de substrato e volume de água acumulado (BALDESSAR, 2012).

### **2.1.2 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 1 -Camadas de um telhado verde.**



Fonte: Baldessar (2012)

## **2.2 Redução do consumo e energia embutida**

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.

Reducir a energia embutida em materiais de construção é um assunto em foco no momento. O cálculo de energia embutida é utilizado para medir o impacto ambiental das construções, e é considerado um indicador de sustentabilidade de edificações.

Considera-se como energia embutida, 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. A energia embutida pode chegar a 40% de toda a energia consumida durante a vida da edificação (TAVARES, 2006). Nesta pesquisa os valores de transporte foram considerados apenas para o cálculo de EE do material até a sua fabricação, desconsiderando o transporte até a obra.

## **2.3 Emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil**

Em um documento produzido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que apresenta estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, existe uma descrição detalhada das emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil (BRASIL, 2013). Entre os anos de 2000 e 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 associados à agropecuária e a energia, através do consumo de combustíveis de origem fóssil para fonte de energia, que somadas aos processos industriais (totalmente ligados à construção civil) chegam a 75% das emissões (BRASIL, 2013).

## **3 METODOLOGIA DE PESQUISA**

Com base na pesquisa publicada por Savi (2012), levantou-se a composição de materiais e quantitativos, conforme demonstrado na tabela 2, dos sete sistemas de cobertura propostos pela autora (tabela 1), de forma a se calcular a quantidade de energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub> de cada sistema proposto. 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.

**Tabela 1 -Sistemas de telhado analisados**

<b>Sistema</b>	<b>Descrição</b>
Sistema 1	Laje pré-moldada com telhado 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: Lopes, 2014

### 3.1 Protocolo de coleta de dados

### 3.2 Composição dos sistemas de cobertura

A etapa da coleta de dados foi estruturada a partir 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 energia embutida (ee) em MJ Total e EE MJ/m<sup>2</sup>. Para composição dos sistemas de coberturas foram utilizados dados da TCPO (Tabelas de composição de Preços para Orçamentos) (TCPO, 2013), 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 valores para cálculo de EE e emissão de CO<sub>2</sub> foram obtidos em Tavares (2006), Myrans (2009) e Hammond (2008) conforme tabela 2. Os materiais não descritos, como os sistemas de telhado verde, foram coletados junto a fabricantes e fornecedores dos produtos, através de contato por email e telefônicos.

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, sendo efetuados os mesmos cálculos para cada um dos sete sistemas de cobertura analisados. A tabela 3 exemplifica o levantamento de dados no sistema 3.

**Tabela 2 - Valores de EE (MJ/Kg) e CO<sub>2</sub>(Kg) dos principais materiais utilizados**

	Aço	Areia	Cal	Cerâmica - Telhas	Cerâmica - Blocos	Cimento	Compensado	Poliétileno - HDPE	Impermeabilização	Madeira seca ar livre	Pedra britada	Polipropileno	Poliéster	Substrato	Tinta PVA Látex	Vermiculita expandida	Verniz
Energia Embutida (MJ/Kg)	30 <sup>(1)</sup>	0,05 <sup>(1)</sup>	3 <sup>(1)</sup>	5,4 <sup>(1)</sup>	2,9 <sup>(1)</sup>	4,2	8 <sup>(3)</sup>	79,67 <sup>(3)</sup>	51 <sup>(1)</sup>	0,5 <sup>(1)</sup>	0,15 <sup>(1)</sup>	95 <sup>(2)</sup>	95 <sup>(2)</sup>	3,904 <sup>(2)</sup>	65 <sup>(1)</sup>	7,2 <sup>(3)</sup>	65 <sup>(3)</sup>
Kg CO <sub>2</sub> /Kg	0,075 <sup>(1)</sup>	0,079 <sup>(1)</sup>	0,076 <sup>(1)</sup>	0,078 <sup>(1)</sup>	0,052 <sup>(1)</sup>	0,126 <sup>(1)</sup>	0,856 <sup>(1)</sup>	1,6 <sup>(3)</sup>	4,2 <sup>(3)</sup>	0,45 <sup>(1)</sup>	0,071 <sup>(1)</sup>	0,053 <sup>(1)</sup>	2,52 <sup>(1)</sup>	1,32 <sup>(2)</sup>	0,074 <sup>(1)</sup>	0,52 <sup>(3)</sup>	0,074 <sup>(1)</sup>

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. Os valores relativos a transporte dos materiais até o local de execução dos protótipos não foi considerado.

**Tabela 3 -Composição, quantitativo de materiais e energia embutida no sistema 3**

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

Fonte: Lopes, 2014

### 3.3 Método de análise de dados

A análise de dados deu-se através de comparação direta entre os dados obtidos de cada uma das tabelas. 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>, sendo tais resultados demonstrados através de gráficos e tabelas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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.

### 4.1 Sistemas demonstrados

Neste artigo vamos demonstrar três sistemas analisados, cujos resultados foram os mais expressivos, sendo eles o sistema 2 e 3, de cobertura convencionais, e sistema 6 – telhado verde, conforme dados compilados na tabela 4 abaixo.

**Tabela 4–Valores de Energia Embutida e CO<sub>2</sub> nos principais materiais dos Sistemas 2, 3 e 6**

	EE (MJ/Kg)			% EE			Kg CO <sub>2</sub>			% CO2		
	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 6	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 6	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 6	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 6
Aço	3.428,35	--	--	2,53	--	--	256,72	--	--	1,92	--	--
Aço galvanizado	892,68	1.125,22	--	0,66	3,96	--	66,85	84,26	--	0,5	1,99	--
Areia	2.015,16	760,83	102,73	1,49	2,68	0,14	159,50	60,22	8,13	1,19	1,42	0,08
Argila expandida	15.552,00	--	9.396,00	11,48	--	12,83	1.123,20	--	678,60	8,4	--	6,74
Cal	17.670,16	6.881,26	--	13,04	24,24	--	4.476,44	1743,25	--	33,47	41,18	--
Cerâmica - bloco	37.938,63	3.695,43	--	28,00	13,02	--	1.963,07	191,21	--	14,68	4,52	--
Cerâmica - telhas	--	12.411,36	--	--	43,72	--	--	972,03	--	--	22,96	--
Cimento	12.788,99	1.756,14	2.616,18	9,44	6,19	3,57	1.618,12	222,19	331,01	12,1	5,25	3,29
Compensado	--	--	3.864,00	--	--	5,28	--	--	413,64	--	--	4,11
Impermeabilização	42.760,44	--	44.716,80	31,55	--	61,08	3.521,45	--	3682,56	26,33	--	36,55
Madeira	12,10	1.005,08	1.249,66	0,01	3,54	1,71	10,89	904,57	1124,69	0,08	21,37	11,16
Pedra britada	1.283,04	--	16,35	0,95	--	0,02	90,49	--	1,15	0,68	--	0,01
Poliéster	--	--	2.188,80	--	--	2,99	--	--	58,29	--	--	0,58
Substrato	--	--	9.057,28	--	--	12,37	--	--	3776,46	--	--	37,49
Tinta	1.171,32	754,74	--	0,86	2,66	--	86,22	55,56	--	0,64	1,31	--
<b>Total</b>	<b>135.512,87</b>	<b>28.390,06</b>	<b>73.207,80</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>13.372,95</b>	<b>4233,29</b>	<b>10.074,53</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Lopes, 2014

#### 4.1.1 Sistema tipo 2 – laje pré-fabricada com sombreamento

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 4, a impermeabilização foi o material de maior impacto no valor de energia embutida na composição do telhado 2.

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.

#### 4.1.2 Sistema tipo 3 - telhado com estrutura de madeira, cobertura cerâmica e forro de madeira

Considerando um telhado com estrutura em madeira e com telhas cerâmicas, as telhas foram justamente o material de maior representatividade neste sistema, sendo responsáveis por mais de 40% 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.

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 tratada, que tem valores maiores para CO<sub>2</sub> do que a madeira de obra, por passar por um processo de secagem, tratamento e acabamento, o que eleva sua EE e também suas emissões (TAVARES, 2006).

#### 4.1.3 Sistema tipo 6 – telhado verde vernacular

O sistema 6 é um sistema de cobertura verde, instalado sobre uma estrutura de madeira coberta com chapas de compensado estruturado. Essa base em compensado recebe impermeabilização, como nos sistemas com laje, a impermeabilização é a componente de maior valor de energia embutida, apresentando mais de 60% da energia de toda a cobertura. O substrato também aparece como maior emissor de CO<sub>2</sub>, correspondendo a mais de um terço das emissões na cobertura 6.

## 4.2 Comparações dos sistemas

Conforme ilustrado tabela 5, 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. Embora a energia embutida na produção do cimento seja alta (4,2mj/kg), nos sistemas analisados seu valor foi pouco expressivo em razão da quantidade utilizada.

**Tabela 5 - Valores de EE (MJ/Kg) e CO<sub>2</sub>(Kg) dos sete sistemas analisados**

Sistemas	EE Total (MJ)	kg CO <sub>2</sub> Total
1	81.323,85	8.904,45
2	135.512,87	13.372,95
3	28.390,06	4.233,30
4	80.764,05	10.233,71
5	76.569,41	10.260,63
6	73.207,80	10.074,54
7	137.378,35	16.698,50

Fonte: Lopes, 2014

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.

Verificando os sistemas 4, 5, 6 de tecnologia de telhado 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, ou seja,manta butílica, adesivo autovulcanizante, emulsão hidroasfáltica e fita de caldeação. 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, e por ser um sistema 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 (polietileno de alta densidade), 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 7 demonstrou ter o maior valor de EE e CO<sub>2</sub>, justamente por ser uma combinação de laje cerâmica com telhado verde, o que agrupa os altos valores de impermeabilização, cerâmica e substrato, portanto teve um resultado esperado. 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. Nos telhados verdes, o substrato aparece como sendo o valor mais expressivo em emissão de CO<sub>2</sub>. 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 em fornos de altas temperaturas (aproximadamente 1.150° C). 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 (Bremner e Ries, 2007 apud MYRANS, 2009).

**Tabela 6-Materiais com maior emissão de CO<sub>2</sub> nos sete sistemas**

Sistemas	Material com maior participação de CO <sub>2</sub>	Percentual no sistema
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: Lopes, 2014

Verificamos que 3 materiais são os maiores responsáveis pelas emissões de CO<sub>2</sub> 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 é utilizada.

Segundo Tavares (2006) os altos valores de emissão de CO<sub>2</sub> relativos à cal, devem-se a grande quantidade de combustível fóssil no processo de produção e também da calcinação do calcário, reação que também faz parte para a produção do clínquer, que compõe o cimento. No Brasil o clínquer representa cerca de 73% da composição do cimento produzido (BRASIL, 2013).

## 5 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. No entanto, o telhado verde do sistema 6 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.

Esta pesquisa comparou alguns sistemas mais comuns de cobertura, com possibilidades de uso de sistemas de telhado verde comerciais ou sistemas moldados *in loco*, 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, principalmente 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. Uma importante pesquisa complementar seria ainda analisar o ciclo de vida da cobertura verde incluindo a fixação de CO<sub>2</sub> através das vegetações utilizadas.

Conclui-se que se considerarmos um sistema de impermeabilização e substrato mais leve, sem o uso de materiais como: xisto, argila e ardósia, as coberturas verdes podem ser uma alternativa viável para implantação em projetos de caráter sustentável. Como a energia de transporte dos materiais até a obra não foi considerada nesta pesquisa, tais valores podem alterar os resultados, devendo ser considerados em trabalhos futuros.

## 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, École de Technologie Supérieure.Canalá.2011. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/3/2/443/>>. Acesso em: 20/01/2014.
- 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/sert/embodied/](http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/)>. Acessoem 12/02/2014.
- LOPES, Thaís Vieira. **Telhado Verde, energia embutida e emissão de CO<sub>2</sub>: uma análise comparativa a sistemas de cobertura convencionais.** Monografia de especilização. Curitiba: UTFR, CECONS, 2014.
- MYRANS, Katharine. **Comparative energy and carbon assessment of three green technologies of a Toronto Roof.** Dissertação de Mestrado. Universityof 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.
- ROAF, S., FUENTES, M., THOMAS, S., **A Casa Ambientalmente Sustentável**. 2º edição, PortoAlegre: 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.
- SEIL,PR. Secretaria de Infraestrutura e Logística do Paraná. Tabela de **composições de serviços de edificações com desoneração**. Disponível em: <<http://www.paranaedificacoes.pr.gov.br/>> Acesso em 02/02/2014.
- TAVARES, Sérgio F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese de doutorado. Florianópolis: UFSC, PPGEc, 2006.
- TCPO, **Tabelas de composição de Preços para Orçamentos**. Editora PINI. São Paulo, 2003. CD-ROM, desenvolvido pela Construnet.