



TELHADOS VERDES: ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTO E PESO COM SISTEMAS TRADICIONAIS DE COBERTURA

Adriane Cordoni Savi (1); Sergio Fernando Tavares (2)

(1) Arquiteta pela Universidade Federal do Paraná, Especialista em Construções Sustentáveis, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil Universidade Federal do Paraná, adriane@tellus.arq.br

(2) Doutor em Engenharia civil, Arquiteto e Urbanista, Professor Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil Universidade Federal do Paraná, sergioftavares@gmail.com

RESUMO

Com a crescente ocupação urbana, e a redução de áreas vegetadas nas cidades, faz-se necessário a inserção de novas tecnologias que amenizem os impactos ambientais causados pela construção e manutenção das edificações. O uso de telhados verdes nos centros urbanos pode ser um grande aliado no combate ao efeito estufa, às ilhas de calor e aumento na qualidade do ar e da água. No Brasil faz-se necessário estimular o uso dessa tecnologia, para que a mesma se torne usual. Desta forma, busca-se apresentar uma técnica construtiva de telhado verde extensivo, que possua menor impacto ambiental, através do uso de materiais renováveis, e substituição da laje de concreto armado. E comparar esse sistema construtivo de telhado verde com sistemas de cobertura tradicionalmente aplicado no Brasil, com a intenção de verificar a viabilidade econômica das coberturas verdes no Brasil. Para a comparação dos sistemas, foram detalhados sete tipos de coberturas: três correspondendo a sistemas usuais de cobertura, e quatro sistemas diferentes de telhado verde. Para correta comparação do custo e peso dos telhados, foi elaborado a composição de custos de cada um deles sobre uma mesma residência, chegando assim no custo equiparado por metro quadrado de cada um dos sistemas. Com essa análise pode-se perceber que é possível ter sistemas de telhado verde com custo e peso inferior aos sistemas tradicionais de cobertura. O telhado verde com estrutura de madeira, chapa compensada e telhado verde moldado in loco apresentou o melhor custo entre todos os sistemas analisados, obtendo custo de 37% menor que o sistema de laje de concreto armado coberto com telha cerâmica, e peso três vezes menor. Conclui-se que a aplicação de telhados verdes, além de todos os benefícios ambientais e de conforto para edificação, possui custo e peso inferior aos sistemas mais aplicados nas edificações no Brasil. Essa redução de custo pode ser ainda menor se considerado a análise do ciclo de vida e vida útil da cobertura.

Palavras-chave: Telhado verde. Cobertura verde. Sustentabilidade. Arquitetura.

ABSTRACT

Along with the growth of urban occupation and the green areas reduction around the cities comes the need to develop new technologies to reduce the environmental impacts caused by buildings construction and maintenance. The use of green roofs can be an allied of mega regions fighting greenhouse effect, urban heat islands and helping to improve air and water quality. In Brazil it is necessary to stimulate the use of this technology, to become more usual. Considering this scenario, this study presents an extended green roof constructive technique with low environmental impact through the use of renewable materials, replacing the concrete slab. This study compares this green roof technique to others roof systems traditionally applied in Brazil analyzing the economic viability of green roofs in Brazil. To compare the systems, seven roof constructive systems were detailed: three systems corresponding to the usual roof systems, and four different green roof systems. For a correct comparison of cost and weight of the roofing systems, the costs composition of each roof system was elaborated, obtaining equivalent cost per square meter of each of the systems. After this analysis it can be stated that it is possible to have a green roof system with lower cost and weight to traditional roofs. The green roof with wood structure, plywood and green roof shaped molded in loco presented the lowest cost among all the systems analyzed, obtaining a cost 37% lower than the slab of concrete system covered with ceramic tile, and a final weight three times smaller. It was concluded that the application of green roofs, besides all the environmental benefits and building comfort, has a lower cost and

weight compared to the most used roof systems in Brazilian buildings. The reduction of cost may be even lower if considered the analysis of the life cycle and useful life of the roof.

Keywords: Green roof. Sustainability. Architecture

1. INTRODUÇÃO

A população urbana mundial cresce cerca de 60 milhões de pessoas a cada ano, e as zonas urbanas tem crescido com maior intensidade nos país de classe média e baixa.

As cidades estão cada vez mais inchadas, e as áreas verdes das cidades vão sendo comprimidas pela “necessidade” de urbanização das mesmas. Os sistemas naturais que agem como equilíbrio do espaço urbano estão dando espaço a ocupação desorganizada.

“Desde os primórdios da humanidade o homem buscou proteger-se das intempéries e do ambiente hostil utilizando-se dos meios que estavam disponíveis nesse mesmo ambiente. A inexistência de tecnologias sofisticadas fez com que procurasse, em suas construções, aspectos que reduzissem o calor, o frio, a umidade, a secura etc. Na verdade, à medida de sua evolução e maior sofisticação, passou a introduzir materiais mais elaborados (...). A necessidade de ostentar o “progresso”, o poder econômico, a abundância de tecnologia, fez com que, sobretudo nos tempos contemporâneos, em muito se desconsiderasse a questão ambiental da arquitetura.” (CONDE, 2003 apud CORBELLA et al. 2003)

A indústria da construção é vital para fornecer a tecnologia necessária para satisfazer as necessidades de desenvolvimento humano. A indústria da construção civil comercializa vários produtos para melhorar a qualidade de vida. Entretanto é importante reconhecer que as práticas da construção civil são um dos principais contribuintes para os problemas ambientais, principalmente devido à utilização de materiais não renováveis (HEWAGE, 2011).

A arquitetura ao longo dos anos foi se afastando da construção orgânica e ecológica. Faz-se necessário retornar esses princípios para que possamos ter fundamentalmente uma sociedade sustentável e equilibrada. Roaf (2006) afirma que o mundo precisa de profissionais que integrem arquitetura, ecologia e engenharia. Profissionais que projetem edifícios passivos, ou seja, que usem o mínimo de energia e que a energia que utilizem provenha de fontes renováveis. A autora destaca ainda que esse é o único caminho daqui para frente. Precisa-se de interdisciplinaridade para projetar e construir, e é fundamental desenvolver uma consciência e uma formação dos profissionais para se adequarem as necessidades da construção civil paralelas ao projeto sustentável.

A intenção de apresentar novas tecnologias construtivas, que sejam competitivas no cunho econômico, busca fomentar os profissionais a especificarem e utilizarem técnicas que reduzam o impacto das construções, e que contribuam para a criação de um microclima nos centros urbanos. É necessário estimular o uso de novas tecnologias e buscar soluções que utilizem menos materiais e materiais renováveis em sua composição, além da garantia de funcionamento dos mesmos.

O uso de telhados verdes remonta há vários séculos, entretanto a sua introdução no Brasil ainda é muito recente, e vem ganhando popularidade nos últimos anos. A aplicação de coberturas ajardinadas nas cidades contribui para a criação, não apenas do microclima, mas do conforto térmico das edificações, redução das ilhas de calor, filtragem da água e do ar etc.

Com isso busca-se ampliar o conhecimento sobre a técnica de telhado verde, especificar alguns dos benefícios da aplicação desses, principalmente nos centros urbanos, e analisar a viabilidade econômica desses sistemas, que é visto por muitos leigos e profissionais como um sistema de alto custo e complexo sistema construtivo.

Faz-se necessário desmitificar a visão que de alguns profissionais da área de arquitetura e engenharia quanto aos sistemas de telhado verde. Devido à falta de conhecimento quanto às técnicas, a viabilidade econômica e a instalação desses sistemas, deixa-se de especificar e aplicar essas técnicas relata Nascimento (2008). A autora destaca ainda a crescente utilização de técnicas e soluções inadequadas de telhado verde, que tem acarretado em uma visão errônea do sistema, posicionando-o como um sistema com recorrentes patologias e custo elevado. Desta forma, detalhar sistemas de telhado verde que protejam as lajes, reduza o custo de construção, e evite patologias faz-se cada vez mais necessário.

Desta forma, este trabalho visa analisar a aplicação de sistemas de telhado verde em edificações, e a viabilidade econômica de implementação destes sistemas construtivos, avaliando algumas tipologias de execução e as consequências estruturais em sua utilização, comparando com sistemas tradicionais de cobertura.

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar uma análise comparativa de custo e peso entre técnicas de telhado verde e sistemas tradicionais de cobertura, através da aplicação de um sistema construtivo que substitua o uso de lajes de concreto armado.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em duas etapas principais:

1. Definição da tipologia arquitetônica e detalhamentos das técnicas construtivas para cobertura;
2. Análise comparativa dos dados obtidos.

3.1. Tipologia e detalhamento

Para a elaboração da análise comparativa dos sistemas de cobertura, foram inicialmente definidos os sistemas que seriam adotados.

Definido os sistemas a serem empregados esses foram aplicados em um padrão de residência, compatível com uma residência tradicional, composta por dois quartos, banheiro, sala e cozinha integradas. Com esse referencial elaborou-se o projeto para cada uma das coberturas, levantando todo o quantitativo de material necessário para cada um dos sistemas.

Foram analisados três sistemas distintos de cobertura tradicional: laje com cobertura em telha cerâmica, laje com sombreamento em argila expandida e cobertura em estrutura de madeira com telha cerâmica e acabamento em forro de madeira. Além desses três sistemas foram utilizados outros quatro sistemas de cobertura verde. Os dois primeiros sistemas modulares disponíveis no mercado, e por fim um sistema moldado *in loco*, denominado vernacular, todos sobre base de estrutura em madeira, e por fim um telhado verde sobre laje impermeabilizada.

3.1.1. Laje com cobertura em telha cerâmica

O primeiro sistema analisado é composto de laje pré-moldada com lajota de cerâmica com espessura de 8 cm, sobre a laje pré moldada despeja-se uma camada de concreto de 4 cm e fck de 20Mpa. A área de cobertura é de 57,60m², computando os beirais de 60 cm. Sobre a laje, estrutura de madeira serrada não aparelhada de primeira qualidade, dimensionada para suportar telhas cerâmicas com vão de 7 a 10 metros. Como valor de referência foi utilizado telha cerâmica do tipo romana.

Sobre a laje nas laterais, foram projetados os oitões construídos com: ½ vez de tijolo de dimensão 10x15x20cm, chapiscado e rebocado pelo lado exterior, e tijolo aparente pelo lado interno. Foi ainda considerado para composição de custos o uso de calhas e rufos, chapisco, reboco, emboço e pintura da laje.

3.1.2. Laje com cobertura em telha cerâmica

O sistema é composto por laje pré-moldada, com lajota de cerâmica e espessura de 8 cm, e uma camada de concreto de 4 cm com fck de 20Mpa, totalizando uma área de 57,60 m², com beirais de 60 cm. Nas laterais, platibanda com altura de 100 cm, construída ½ vez de tijolo de dimensão 10x15x20cm, chapiscado e rebocado em todas as faces aparentes, com rufo em toda a sua extensão.

Para impermeabilização da laje foi considerado o uso de manta asfáltica espessura 3 mm protegida com film e de alumínio gofrado espessura 0,8mm. Sobre a impermeabilização com a função de proteger a laje, utiliza-se uma camada com espessura de 5 cm de argila expandida com diâmetro de 20 a 30 mm (tipo 3222).

3.1.3. Laje com cobertura em telha cerâmica

Foi considerado para análise o sistema de cobertura com telha cerâmica sem laje pré-moldada - sistema mais simples, entretanto com menos eficiência térmica e acústica.

Para a estrutura do telhado foi considerado a utilização de madeira serrada não aparelhada de primeira qualidade, dimensionada para suportar telhas cerâmicas com vão de 7 a 10 metros e para cobertura telhas cerâmicas do tipo romana.

O fechamento lateral dos telhados foi descrito em alvenaria construído com ½ vez de tijolo com as dimensões de 10x15x20cm, chapiscado e rebocado pelo lado exterior, e tijolo aparente pelo lado interior. Para fechamento foi utilizado forro plano em madeira tipo cedrinho, com tabuas de largura de 10 cm e espessura de 1 cm. Foi considerada ainda a aplicação de duas demãos de verniz. Sobre as paredes foi colocado rufo e no muro posterior considerado a aplicação de calha.

3.1.4. Detalhamento sistema de telhado verde com estrutura em madeira

Alguns autores destacam que o principal fator que eleva o custo dos telhados verdes, quando comparado com alguns sistemas tradicionais de cobertura, é o peso do sistema que aumenta a carga sobre as estruturas, em alguns casos sendo necessário reforço da mesma.

Roaf (2006) discorre sobre o uso da madeira nas edificações, e destaca como os principais atributos dessa material a capacidade de redução na quantidade de CO₂ na atmosfera. Desta forma, buscou-se estruturar um sistema que elimine o uso de concreto, com o objetivo de reduzir o peso e o custo do mesmo, e optou-se pelo uso da madeira, devido as propriedades desse material.

O sistema é composto por vigas de madeira (Figura 01), dispostas a cada 50cm. Sobre as vigas de madeira são dispostas chapas compensando estrutural autoclavado (Figura 02), espessura 17mm. Para impermeabilização aplica-se manta asfáltica e uma camada de contrapiso para garantir a proteção mecânica sobre a impermeabilização (Figura 3).

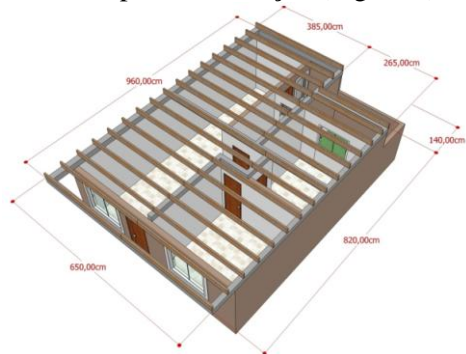


Figura 1. Vigas de Madeira

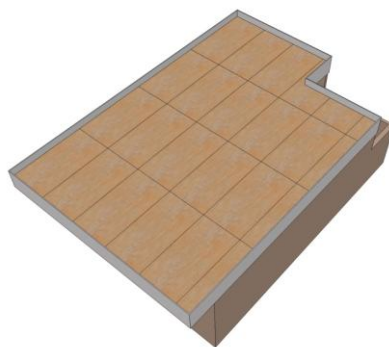


Figura 1. Chapa de Compensado

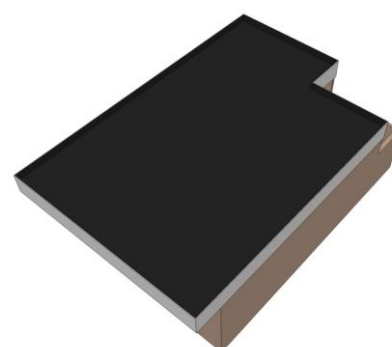


Figura 3. Impermeabilização

Sobre esse sistema estrutural foram aplicados os três tipos distintos de cobertura verde que serão descritas a seguir:

3.1.4.1 Telhado verde – Sistema Hexa

Primeira camada, membrana de polietileno de alta densidade espessura de 200 micras. Sobre a membrana são dispostos os módulos com formato hexagonal, sendo seu aproveitamento 6,16 peças/m². Sobre essa camada é disposta a membrana de retenção de nutrientes composta de poliéster e material reciclado, com espessura de 5mm. Dispõe-se acima da manta o substrato leve, composto de materiais orgânicos e sintéticos oriundos da indústria de reciclagem.

E por fim é realizada a plantação, nesse caso foi utilizado Cacto Margarida (*Lampranthus productus*), vegetação ideal para o uso em telhados verdes extensivos por se tratar de uma suculenta que possui folhas engrossadas para garantir o armazenamento de água.

3.1.4.2 Telhado verde – Sistema modular Instituto Jardim.

Esse sistema utiliza como base o sistema estrutural descrito no item 3.1.4. Sobre o sistema impermeabilizado é colocada uma manta geotêxtil, um não tecido agulhado de filamentos contínuos 100% poliéster, com a função de proteger a impermeabilização das raízes das vegetações. Sobre a manta é disposto os módulos retangulares com as dimensões 40x50x8cm. Esse módulos possuem duas partes uma para retenção de água e outra para a colocação da vegetação. Sobre os módulos é disposto o substrato fornecido pelo fabricante, e por fim é feito a plantação da suculenta: Cacto Margarida (*Lampranthus productus*).

3.1.4.3 Telhado verde - Sistema Vernacular

Sobre a superfície impermeabilizada dispõe-se a manta geotêxtil (tecido de poliéster não tecido), sobre a manta é feita uma cama de argila expandida com espessura de 3 cm em toda a extensão do telhado, sobre essa camada aplica-se a manta geotêxtil novamente, com a função de reter o substrato e garantir a eficiência da camada drenante (argila expandida). De forma uniforme é espalhado o substrato em toda a superfície com uma espessura média de 5cm. Com o substrato bem irrigado é realizado a plantação do Cacto Margarida

3.1.5. Telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada

O sistema de laje adotado para essa composição de cobertura é a mesma utilizada para o telhado de laje com sombreamento. Laje pré-moldada com lajota cerâmica de 8 cm e capa de concreto de 4 cm de 20Mpa, platibanda de 100 cm, com área de 57,60 m².

Conforme descrito anteriormente para impermeabilização da laje foi considerado o uso de manta asfáltica com 3 mm de espessura e film de alumínio grofado. Sobre esse sistema de laje foi projetado o sistema de telhado verde vernacular.

3.1. Análise de dados

A análise de dados foi feita através de uma comparação direta entre os dados levantados de cada uma dos sistemas. Iniciou-se com a elaboração de uma análise do custo de cada uma das coberturas por m² e proporção, apresentada em forma de tabelas, e gráficos. Através da tabela pode-se verificar a variação de custos entre os sistemas, e a proporção dessa diferença. Ainda para análise foi utilizado um gráfico com os valores tendo a função de mostrar essa comparação direta entre os sistemas. Essa proporção foi feita comparando o telhado com menor custo com os demais.

Foi considerado apenas o custo da cobertura dos sistemas, sem analisar o impacto e o custo do restante da residência.

A comparação de pesos entre os sistemas aconteceu de forma similar a de custos, através da apresentação e comparação de dados de forma direta, enfatizando o peso por m² e a proporção entre os dados dos diferentes sistemas. Essa proporção foi feita comparando o menor peso dos telhados com os demais sistemas.

Para concluir essa análise, foi elaborado um gráfico para comparar os sistemas quanto ao seu peso e custo, com a intenção de verificar se existe uma relação direta entre carga e custo.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, são comparados os custos e pesos obtidos entre os diferentes sistemas de cobertura abordados e abordado essa relação peso x custo.

Os resultados foram obtidos através da comparação direta do custo e do peso de cada um dos sistemas.

Os sistemas serão denominados da seguinte maneira:

- Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica – Sistema 01,
- Laje pré-moldada com sombreamento – Sistema 02,
- Telhado coberto com telha cerâmica e acabamento em forro de madeira – Sistema 03,
- Telhado verde: Sistema Hexa – Sistema 04,
- Sistema Modular – Sistema 05,
- Sistema vernacular – Sistema 06,
- Telhado verde vernacular sobre laje pré-moldada – Sistema 07.

4.1. Análise comparativa de Custos

Para análise de custo foi feita uma comparação direta entre os valores obtidos para cada uma das coberturas destacando a variação de custos entre os sistemas. Os valores foram obtidos através do uso da Tabela serviços de edificações, Resolução Conjunta SEIL/DER 005/2012 julho 2012 (Vigente a partir de 01/09/2012).

Na Figura 04 é apresentada uma comparação direta entre os diferentes tipos de coberturas analisados, podendo, desta forma, verificar a variação de custo, e os sistemas que apresentam menor e maior custo construtivo.

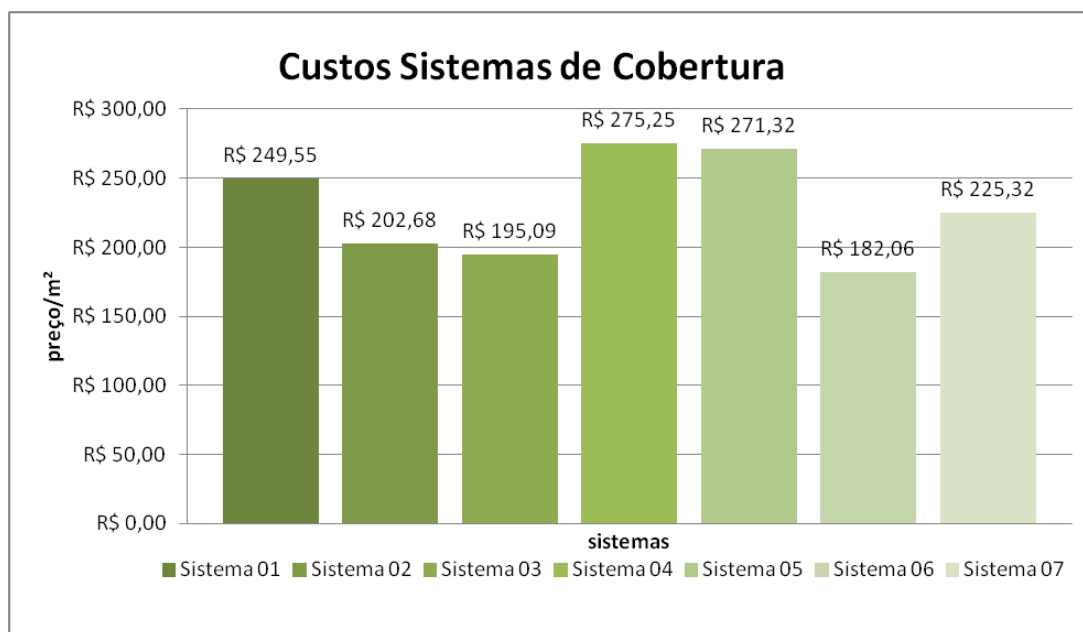


Figura 4. Análise de custo das coberturas

Pode-se verificar conforme Figura 04 que o sistema 06 (telhado verde vernacular) tem o menor preço entre todos os sistemas analisados, tendo um custo de R\$182,06/m². Os sistemas de telhado verde 04 e 05 tiveram custo similar e mais alto que os demais sistemas, R\$275,25 e R\$271,32 respectivamente. Já o sistema de cobertura verde sobre laje pré-moldada soma um valor de R\$225,32. Os sistemas tradicionais de cobertura têm seus valores variando de R\$249,55 a R\$195,09.

Os telhados verdes com uso de sistemas de retenção de água (sistema 04 e 05) apresentam custo superior ao sistema 06 e 07, entretanto faz-se necessário ressaltar que o mecanismo de retenção de água auxilia na manutenção dos telhados, devido à reserva de água desses sistemas, reduzindo ou eliminando a necessidade de rega do sistema, e assim reduzindo custos de manutenção dos mesmos.

O sistema 03 obteve o segundo menor custo entre os sistemas tradicionais de cobertura: R\$195,09/m². Esse valor é resultado da eliminação da aplicação de laje de concreto armado nesse sistema. O Concreto armado eleva expressivamente o custo das construções. O sistema 02 (laje pré-moldada com sombreamento) tem um valor por m² de R\$202,68. O modelo com custo mais elevado entre os sistemas convencionais é o sistema 01 (Laje com telhado cerâmico), somando R\$249,55/m².

A redução do custo do telhado verde comparando com os sistemas tradicionais se deve a redução de massa da estrutura, com a eliminação do uso de lajes de concreto armado para a sustentação do sistema. Desta forma se compararmos o sistema 06 e 07, percebemos que o sistema 07 tem um custo de R\$43,00/m² maior do que o sistema 06 que elimina o uso de laje de concreto armado.

Na Tabela 01 é possível comparar a proporção de alteração de custo entre os sistemas.

Tabela 1. Análise de Custo

SISTEMAS		Custo/m ²	Proporção
Sistema 01	Laje pré-moldada coberta com telha cerâmica	R\$ 249,55	1,37
Sistema 02	Laje pré-moldada sombreada com argila expandida	R\$ 202,68	1,11
Sistema 03	Telhado com estrutura em madeira, telha cerâmica e forro	R\$ 195,09	1,07
Sistema 04	Telhado verde - Sistema hexa	R\$ 275,25	1,51
Sistema 05	Telhado verde - Sistema modular	R\$ 271,32	1,49
Sistema 06	Telhado verde - Sistema vernacular	R\$ 182,06	1,00
Sistema 07	Telhado verde - Sistema vernacular com laje	R\$ 225,32	1,24

Através da análise da Tabela 1, pode-se perceber que existe uma variação de 49% (quarenta e nove por cento) de custo dos sistemas analisados. Sendo, conforme destacado acima, o sistema 06, o que possui menor custo por m².

O Sistema 01, 04 e 05 possuem preços equiparados com uma variação de menos de 10% de custo. Essa variação diluída no custo da obra gira em torno de 2 a 5%. O Sistema 07 apresenta um custo 24% superior ao custo do sistema 06 devido ao uso de laje pré-moldada ao invés de estrutura de madeira.

Através da Figura 4 e da Tabela 1 fica evidente que o uso de laje pré moldado eleva o custo das edificações expressivamente, sem aumenta na mesma proporção o conforto a qualidade e a sustentabilidade da edificação. Conforme destacado anteriormente, a laje de concreto pode significar um aumento de R\$43,00 por m², ou seja um aumento de 24% no custo total da cobertura.

Dos telhados tradicionais apresentados, segundo a bibliografia o sistema que apresenta melhor desempenho térmico é a laje de concreto armado com telha cerâmica, entretanto esse sistema é 37% mais caro que o sistema 06 de telhado verde.

Quando comparamos o sistema 01 e 07, que possuem como base uma laje de pré-moldado, e um deles cobertura em telha cerâmica e outro em telhado verde, temos ainda um custo em torno de R\$25,00 mais alto para o sistema com telha cerâmica.

Para analisar ainda a viabilidade econômica das coberturas verdes, é importante analisar o peso dessas estruturas, que terão influência direta na supra e infraestrutura das edificações, que poderá aumentar ou diminuir o custo global da obra.

4.2. Análise comparativa de cargas

Para comparação entre a carga da cobertura de cada um dos sistemas, foi levantado o peso de cada um dos materiais, conforme NBR 6120 (Carga para Cálculo de estrutura de edificações) e informações dos fornecedores.

Para fins de cálculo, fez-se o cálculo da carga do sistema somando-se o peso específico de cada material, considerando sua capacidade máxima de absorção de água.

Conforme Figura 5 é possível verificar a variação da carga resultante da soma dos componentes de cada uma das coberturas analisadas.

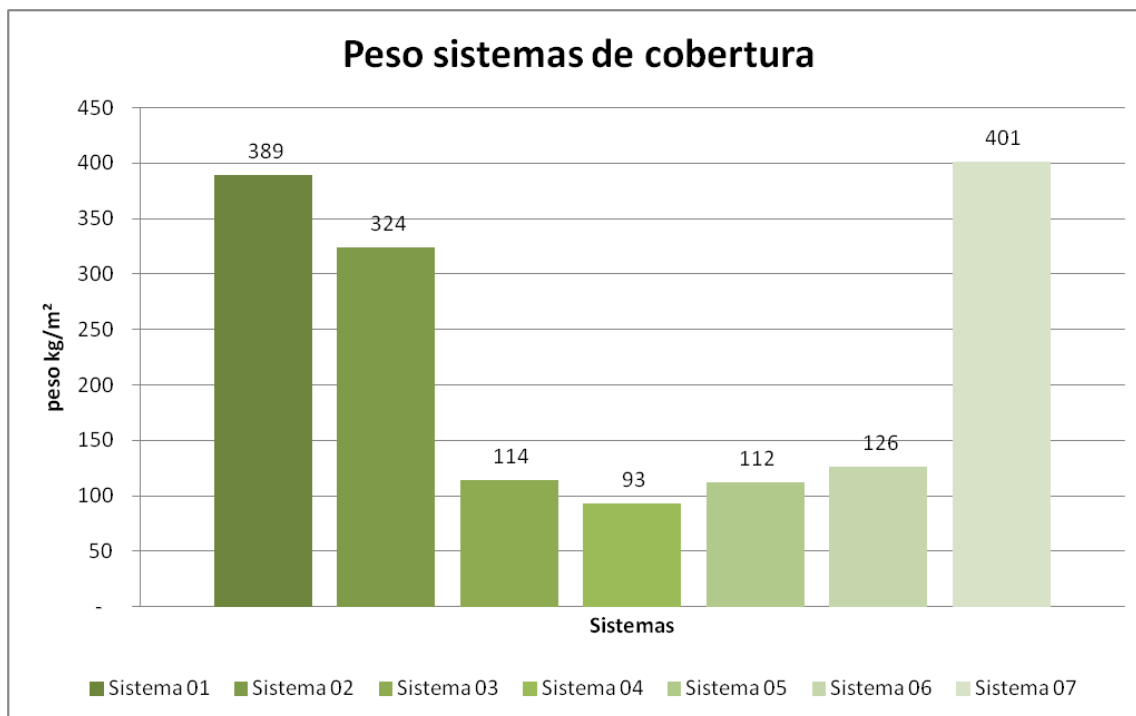


Figura 5. Análise de carga dos sistemas de cobertura

O sistema 04, telhado verde com sistema hexa apresenta o menor peso entre todos os sistemas com peso de 93 kg/m². Entretanto através da Figura 5 pode-se perceber que os sistemas 03, 04, 05 e 06 possuem pesos equiparados e muito baixos quando comparados com os sistemas 01, 02 e 07. Conforme composição

desses sistemas pode-se perceber que essa redução é consequência do uso de sistemas alternativos no local da laje de concreto armado.

Os sistemas 01, 02 e 07, que utilizam laje de concreto armado, somam valores muito mais altos de peso da estrutura, com as cargas variando de 401 kg/m² a 324 kg/m².

Os telhados verdes, com sistema estrutural de madeira (04, 05 e 06), tem seus pesos similares variando de 126kg/m², sistema 06, 112 kg/m² sistema 05 e 93kg/m² sistema 04. Essa variação entre os sistemas se devem pelas camadas de composição de cada um, e pela capacidade de retenção de água. É importante ressaltar que a carga de referência é dos sistemas saturados. Já o sistema 07 possui peso muito superior, pois soma o peso da laje de concreto pré moldada que é elevado, com o peso do substrato e argila saturados.

Na Tabela 2 é possível verificar a proporcionalidade dessa variação de peso entre os diferentes sistemas analisados.

Tabela 2. Peso sistemas de cobertura

SISTEMAS		Peso/m ²	Proporção
Sistema 01	Laje pré-moldada coberta com telha cerâmica	389	4,18
Sistema 02	Laje pré-moldada sombreada com argila expandida	324	3,48
Sistema 03	Telhado com estrutura em madeira, telha cerâmica e forro	114	1,23
Sistema 04	Telhado verde - Sistema hexa	93	1,00
Sistema 05	Telhado verde - Sistema modular	112	1,21
Sistema 06	Telhado verde - Sistema vernacular	126	1,36
Sistema 07	Telhado verde - Sistema vernacular com laje	401	4,31

O sistema 01 representa um peso 4 vezes superior ao sistema mais leve, sistema de telhado verde hexa (04). Essa grande variação de peso influencia diretamente a carga sobre a infra e supraestrutura. Desta forma essa variação de carga irá influenciar o dimensionamento, e por consequência, o custo de todo o sistema estrutural da edificação. Principalmente para residências térreas, onde grande parte do esforço sobre a estrutura é em decorrência do peso da cobertura.

O telhado verde sustentado sobre laje pré-moldada apresenta o maior peso entre os telhados verdes, desta forma apesar do seu custo construtivo ser inferior a sistema 04 e 05, esses sistemas, quando incorporado em toda a construção, poderá influenciar em um custo mais alto.

A redução tão expressiva do peso telhado verde é consequência do uso de tecnologias construtivas que reduzem a carga, como no caso o uso de chapa de compensando estruturado e estrutura de madeira maciça como tecnologia alternativa aos sistemas de laje.

O sistema 04 foi analisado como cobertura com custo mais elevado, conforme Figura 4, mas na Tabela 2 aparece com o sistema mais leve. Essa análise custo x peso é importante para finalizar essa análise, pois um terá influência direta sobre o outro, conforme citado, no contexto geral da obra.

4.3. Análise comparativa de custo e peso

A integração dos dados de custo e peso é necessária para entender a influência que os sistemas têm na infra e supraestrutura da edificação. Pois conforme destacado anteriormente, essa pesquisa buscou detalhar e comparar os sistemas de cobertura, não levando em consideração a influência do peso no custo da estrutura da edificação (Figura 6).

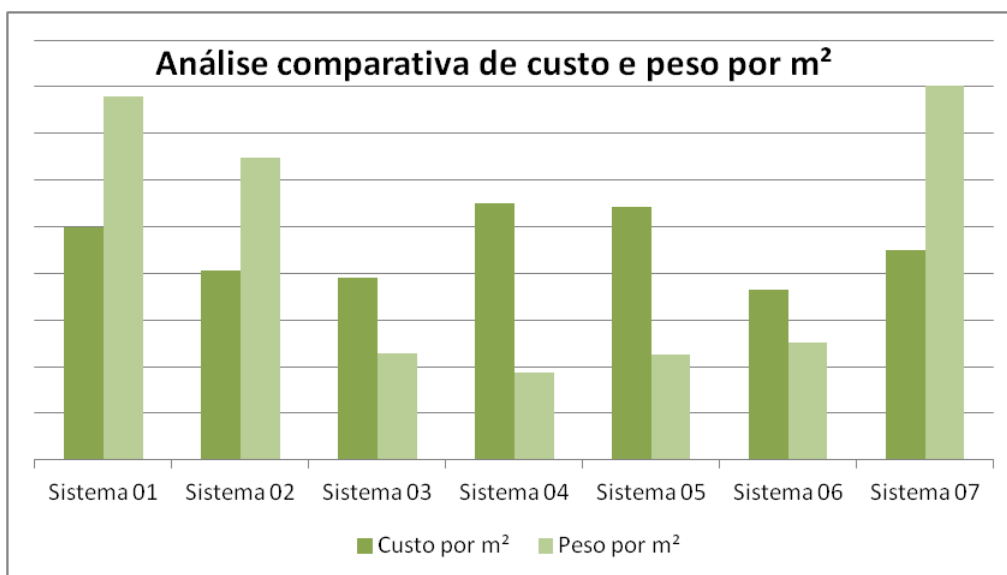


Figura 6. Gráfico comparativo entre custo e peso por m²

A Figura 06 demonstra que o custo e o peso não possuem variação proporcional, mas permite concluir que os sistemas 01 e 07, que possuem custo alto, com a carga expressiva sobre a estrutura, somariam os maiores custos entre os sistemas apresentados. Já o sistema 06, que possui o menor custo, apresenta também uma das menores cargas entre os sistemas, reduzindo assim o custo estrutural da edificação.

Vale destacar ainda que os sistemas 04 e 05 possuem os custos mais elevados entre os sistemas analisados, mas somam os pesos mais baixos. Se comparado esses sistemas com o de laje de concreto armado com telha cerâmica (sistema 01), eles possuem custo equiparados, entretanto a variação de peso é muito expressiva, conforme citado anteriormente, o sistema 01 apresenta um peso quase 4 vezes maior que o sistema 04. Pode-se desta forma concluir que, no contexto geral da obra o sistema de telhado verde 04 e 05 resultarão em um custo menor que o sistema de laje com telha cerâmica.

5. CONCLUSÕES

A construção civil precisa de novas tecnologias para que possa incorporar com mais frequência o uso de técnicas sustentáveis que diminuam o impacto ambiental, social e econômico das construções. O telhado verde, como destacado ao longo da revisão bibliográfica, auxilia na redução dos impactos das novas construções e das construções existentes, podendo ser uma ótima ferramenta a ser aplicada nos centros urbanos já consolidados.

Muitos autores apontam o telhado verde com custo superior aos telhados convencionais, justificando seu alto custo pelos materiais aplicados e pela sobrecarga na estrutura, essa também é relatada como uma das causas de patologias em função em decorrência do uso de telhado verde.

Essa pesquisa apresentou novas alternativas para a construção de telhados verdes, e comparou-as tanto em custo quanto em peso com sistemas tradicionais de cobertura, com essa análise foi possível confirmar a hipótese de que através da incorporação de novas tecnologias é possível ter sistemas de coberturas verdes com peso inferior e custo equiparado aos sistemas tradicionais de cobertura.

O sistema de telhado verde com estrutura de madeira e chapa de compensando e sistema vernacular de telhado verde apresentou o menor custo entre todos os sistemas analisados. Se mostrando uma alternativa viável para aplicação em novas edificações, podendo ainda ser uma alternativa para as habitações de interesse social. Onde se tem um grande aglomerado de residências e geralmente poucas áreas vegetadas.

Os sistemas de telhado verde com uso de módulo apresentaram custo superior ao sistema vernacular, entretanto a aplicação dessa tecnologia reduz a manutenção, principalmente em épocas de seca. Esse custo inicial superior é reduzido quando analisado junto ao ciclo de vida da cobertura, um contraponto importante quando quer se falar de tecnologias que substituam os telhados convencionais com a mesma ou menor manutenção exigida para esses.

A comparação de peso entre os sistemas é necessária para avaliar o impacto das mesmas sobre a estrutura, e foi possível comprovar que a aplicação da técnica construtiva com estrutura em madeira reduz expressivamente a carga sobre as estruturas. Quanto ao telhado verde aplicado sobre laje de concreto, o peso

do sistema ficou superior aos demais sistemas, sendo importante essa análise para a aplicação em edificações existentes. O aparecimento de patologias descritas por alguns autores pode estar relacionado a essa sobrecarga que pode gerar fissuras e permitir infiltrações.

Entretanto, o peso do telhado verde sobre laje ficou equiparado ao peso do sistema de laje com telha cerâmica, mostrando-se como uma alternativa para retrofit das edificações, substituindo os telhados convencionais cerâmicos, por sistemas de telhado verde, sem afetar na estrutura da edificação. Vale destacar ainda que as camadas do telhado verde possuem custo inferior ao telhado cerâmico, sendo desta forma viável economicamente sua substituição.

Esse trabalho analisou apenas uma parcela muito restrita da composição de custos de uma edificação, principalmente quanto à análise de ciclo de vida. Conforme abordado na revisão bibliográfica, o telhado verde auxilia a reduzir impactos ambientais, e proporcionam ainda redução dos gastos energéticos das edificações.

Conclui-se assim que o melhor sistema a ser adotado no quesito custo x benefício é o sistema de telhado verde com estrutura de madeira e telhado verde vernacular, devido ao seu baixo custo e peso. Mas vale destacar que existem diferentes alternativas de coberturas verdes que possuem custo e peso inferior a outros sistemas de cobertura, e que a aplicação desses pode contribuir de forma positiva para a cidade e a saúde humana. Sendo importante estimular o uso dessas tecnologias, para que possamos ter mão de obra especializada e maior concorrência de fornecedores, para isso faz-se necessário o poder público estimular a aplicação dessas tecnologias, de forma a torna-las usual. Principalmente nos programas do governo para habitação, que atualmente não incluem a técnica de telhado verde como uma alternativa de cobertura, como é o caso do Programa Minha Casa Minha Vida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALDESSAR, Silvia M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Dissertação de mestrado. Curitiba: UFPR PPGCC, 2012.
- BLACKHURST, Michael; HENDRICKSON, Chris; H. MATTHEWS, Scott H. Cost-Effectiveness of Green Roofs. **Journal Of Architectural Engineering**. Pg 136 a 143. Dez, 2010.
- CANTOR, Steven L. **Green Roofs in Sustainable Landscape Design**. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.
- CLAUS, Karla; ROUSSEAU, Sandra. **Public versus Private Incentives to Invest in Green Roofs: A Cost Benefit Analysis for Flanders**. Bélgica. 30/2010. Out 2010.
- CORBELLA, Oscar e YANNAS, Simos. **Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos: Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.
- ER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS. **Serviços de Edificações** - Resolução Conjunta SEIL/DER 005/2012. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/custos%20edificacoes/2_SERVICOS_JULHO_2012.pdf> Acesso em 14 de agosto de 2012.
- DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGENS. **Composições de Serviços de Edificações** - Resolução Conjunta SEIL/DER 005/2012. Disponível em:<http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/custos%20edificacoes/3_COMPOSICOES_JULHO_2012.pdf> Acesso em 14 de agosto de 2012.
- HEWAGE, Kasun; BIANCHINI, Fabricio. How “green” are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials. **Building and Environment**, Canadá, V 48 Pg 57 a 65. Ago, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03601323>> Acesso em: 13 de agosto de 2012
- MINKE, G. **Techos verdes** - Planificación, ejecución, consejos prácticos. Uruguay: Editora Fin de Siglo, 2005.
- VECCHIA, Francisco. **Cobertura Verde Leve (CVL): Ensaio Experimental**. Encac, Enlacac. Maceio, out. 2005. Disponível em: <http://www.eesc.usp.br/shs/attachments/121_COBERTURA_VERDE_LEVE_ENSAIO_EXPERIMENTAL.pdf> Acesso em: 31 ago. 2012.