

TELHADO VERDE: ANÁLISE DO IMPACTO DA SOBRECARGA GERADA SOBRE O CUSTO DA ESTRUTURA DE UMA OBRA

Bruno Antônio de Paiva¹

Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA.
brunoantoniodepaiva@hotmail.com

Geovane Rodrigues Ferreira²

Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA.
geovanesmail@gmail.com

Rhogério Correia de Souza Araújo³

Mestre em Ciências Ambientais em Meio Ambiente e Tecnologia pela UniEVANGÉLICA.
rhogerio@brturbo.com.br

RESUMO

O telhado verde é uma das soluções construtivas sustentáveis mais discutidas da atualidade e apresenta muitas vantagens em relação ao telhado convencional, porém ainda é pouco empregado no Brasil, todavia começa a ser utilizado e visualizado como ação tática por vários gestores ambientais. Visto isso, este trabalho tem a proposta de apresentar as principais características desse tipo de cobertura e analisar o impacto da sobrecarga gerada na estrutura da edificação. Para isso realizou-se um estudo de caso efetuando o dimensionamento estrutural de uma edificação para três tipos de cobertura: telhado convencional, com estrutura de madeira e telha Portuguesa, telhado verde contínuo com camada drenante de argila expandida e telhado verde contínuo com camada drenante de brita. Os resultados obtidos indicam que uma construção com telhado verde contínuo com camada drenante de argila expandida tem um custo bem similar a uma de telhado convencional, comprovando assim a viabilidade econômica deste tipo de cobertura.

Palavras-chave: Telhado Verde; Sustentabilidade; Viabilidade Econômica; Construção Civil.

ABSTRACT

The green roof is one of the most discussed sustainable construction solutions today and presents many advantages over the conventional roof, but is still little used in Brazil, however it begins to be used and visualized as tactical action by several environmental managers. Given this, this work has the proposal to present the main characteristics of this type of roofing and to analyze the impact of the overcharge generated in the structure of the building. For this, a case study was carried out by structural dimensioning of a building for three types of roof: conventional roof, with Portuguese tile and wood structure, continuous green roof with expanded clay draining layer and continuous green roof with gravel draining layer. The results indicate that a continuous green roof construction with a draining layer of expanded clay costs very like a conventional roof, thus proving the economic viability of this type of roofing.

Key Words: Civil Construction; Sustainability; Green Roof; Economic Viability.

1 INTRODUÇÃO

O termo telhado verde, apesar de ser comumente utilizado para designar, especificamente, telhados cobertos de vegetação, é um sistema muito mais amplo, englobando também coberturas com painéis solares, brancas com alta emissividade e refletividade e até mesmo telhados com telhas *shingle* de grande duração. Assim, rigorosamente, o termo ideal seria “telhado verde com vegetação”, porém, devido

sua ampla difusão e utilização, neste trabalho será usado simplesmente telhado verde para se referir às coberturas com vegetação, como a visualizada na figura 1 (UGREEN, 2018).

Figura 1: Exemplo de telhado verde com vegetação.



Fonte: TUACASA (2018).

Dessa forma, telhado verde trata-se de um sistema de cobertura revestido por vegetação e composto por diversas camadas que garantem seu bom funcionamento. Existe uma gama de soluções disponíveis, das mais funcionais às mais sofisticadas, com os mais variados custos e tipos vegetação, que pode variar de um singelo gramado no teto de uma casa a um enorme jardim que comporta árvores e permite a locomoção de pessoas num terraço de um edifício.

Há relatos da utilização de coberturas verdes em civilizações bem antigas, porém, a tecnologia começou a popularizar-se por volta dos anos 50 em países germânicos, através de estudos e pesquisas que demonstravam seu potencial para colaborar com o reaproveitamento de água e economia de energia. Com a tradução das pesquisas, o telhado verde foi se popularizando também em toda a Europa e América do Norte, tornando-se um dos sistemas construtivos sustentáveis mais discutidos na atualidade (HENEINE, 2008).

A cobertura verde apresenta várias vantagens em relação ao telhado comum, sendo as mais expressivas as relacionadas ao conforto térmico e a retenção

de água. O telhado verde absorve e retém o escoamento de águas pluviais, é um isolante térmico e acústico e ajuda regular a temperatura do ambiente, conservando o calor em dias frios e amenizando-o em dias quentes, liberando energia térmica por evapotranspiração (o que também aumenta ajuda a aumentar a umidade no local). Deste modo, se usado em larga escala, poderia reduzir os efeitos de ilhas de calor, que castigam grandes centros urbanos e auxiliar na drenagem de águas pluviais diminuindo as enxurradas. Há ainda diversos outros benefícios estéticos e ambientais, como suavizar as paisagens dos grandes centros urbanos com o aumento da área verde, gerando recreação passiva na população, melhorar a qualidade do ar pelo sequestro de dióxido de carbono e liberação de oxigênio, reforço do ecossistema devido ao retorno de espécies que mantêm o equilíbrio biológico local, etc. (WILLES, 2014; SILVA, 2011).

Apesar de tantos benefícios, o telhado verde ainda é um sistema de cobertura muito pouco usado no Brasil. As principais causas disso são, provavelmente, o alto custo inicial do sistema em relação aos convencionais e a falta de informação sobre essa tecnologia, tanto por parte de profissionais da construção como por parte dos clientes, que não veem o telhado verde como uma opção, como uma solução construtiva viável. Dessa forma verifica-se a importância deste trabalho ao apresentar as principais características desse sistema e buscar contribuir no estudo de seu impacto no custo de uma obra, por meio de um estudo de caso, no qual é determinada a sobrecarga e dimensionados os elementos estruturais para uma cobertura convencional e dois tipos de telhados verdes contínuos, um com camada drenante de argila e o outro, de brita. O objetivo desse estudo é comparar o custo de cada proposta, analisar a viabilidade econômica do telhado verde para esta situação e determinar qual seria o melhor material para a camada drenante, entre brita e argila expandida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Classificação

Segundo Neto (2012), os telhados verdes podem ser classificados de duas formas: considerando a inclinação da cobertura ou considerando características

como a espessura da camada de substrato, o tipo de vegetação adotado e a necessidade de manutenção. De acordo com sua inclinação, podem ser planos, de inclinação moderada e de inclinação Acentuada (quadro 1), enquanto conforme as características de seus componentes classificam-se em extensivo, semi-extensivo e intensivo.

Quadro 1: Classificação de Telhado Verde Quanto a Inclinação.

Classificação	Inclinação
Plano	Até 5%
Inclinação Moderada	De 5% até 35%
Inclinação Acentuada	De 35% até 84%

Fonte: Adaptado de Neto (2012).

Os telhados verdes extensivos são soluções mais leves e simples, que comportam plantas rasteiras (geralmente gramíneas) e de pequeno porte, as quais necessitam de uma camada de substrato pequena e menor cuidado com irrigação, poda, adubação e manutenção em geral. É o tipo de cobertura verde de menor custo (PESSÃNHA, 2017; SILVA, 2011).

Já os telhados verdes intensivos são soluções mais pesadas e complexas, que permitem uma maior variedade de plantas, suportando, até mesmo, árvores de médio a grande porte. Demandam uma quantidade bem maior de substrato além de cuidado e manutenção semelhantes aos requeridos por um jardim. É a solução de maior custo.

Os semi-extensivos, por sua vez, constituem uma categoria intermediária entre as coberturas intensivas e extensivas, de forma permitir uma liberdade na escolha de plantas um pouco maior que as coberturas extensivas com custo, complexidade, peso e manutenção bem menores que as intensivas. As principais características de cada um desses tipos de cobertura podem ser observadas no quadro 2.

Quadro 2: Classificação de Telhado Verde quanto à Intensidade.

Itens	Extensivo	Semi-Extensivo	Intensivo
Manutenção	Baixa	Periodicamente	Alta
Irrigação	Não	Periodicamente	Regularmente

Plantas	Sedum, ervas e gramíneas.	Gramado, ervas e arbustos.	Gramado, arbustos e árvores.
Altura do Substrato	6 – 20 cm	12 – 25 cm	15 – 40 cm
Peso	60 – 150 kg/m ²	120 – 200 kg/m ²	180 – 500 kg/m ²
Custo	Baixo	Médio	Alto
Uso	Jardim, Gramado	Jardim, Parque	Parque, árvores e arbustos.

Fonte: Adaptado de Bioclimatismo (2016).

2.2 Sistemas de coberturas verdes

Com os avanços nos estudos sobre telhados verdes, novas técnicas e tecnologias de execução foram desenvolvidas, dando origem a diversos sistemas. Alguns desses sistemas serão apresentados a seguir (NETO, 2012).

2.2.1 Sistema Contínuo

Sendo o mais conhecido e utilizado, o sistema contínuo ou completo, como designado por alguns autores, é construído sobre uma estrutura de suporte impermeabilizada, que deve ser compatível com a sobrecarga imposta pela cobertura saturada. Essa estrutura pode ser, por exemplo, uma laje de concreto, um tabulado de madeira ou telhas metálicas, devendo ser previsto um sistema de drenagem no projeto. O sistema contínuo é constituído basicamente pelas seguintes camadas (NETO, 2012; SAVI, 2012):

Camada de impermeabilização: é responsável por proteger a estrutura da umidade, garantindo a estanqueidade do sistema. A execução dessa etapa é muito importante e deve ser realizada com cuidado, pois qualquer falha pode causar patologias na estrutura. Os impermeabilizantes mais utilizados são a manta asfáltica e a manta de PVC.

Camada drenante: auxilia no escoamento da água. Normalmente é formada por brita ou argila expandida, mas diversos outros materiais, como agregados de resíduos de construção civil e borracha também podem ser usados. Segundo Rola (2008) *apud* Neto (2012), materiais de origem mineral, de canto arredondado (para não danificar a camada de impermeabilização) e diâmetro maior que 10 mm são mais recomendados. Módulos de placas drenantes podem ser integradas ao

sistema, possibilitando armazenagem da água da chuva, melhor aeração e maior área para crescimento das raízes.

Camada filtrante e anti-raízes: tem as funções de separar o substrato da camada drenante e impedir a passagem das raízes que poderiam prejudicar a camada de impermeabilização e a base da estrutura. A manta geotêxtil é o material mais utilizado para cumprir estas funções. Retendo pequenas partículas sem obstruir a passagem de água, ela detém nutrientes para as plantas ao mesmo tempo, que impede o acúmulo de substrato na camada drenante.

Camada de substrato: trata-se de uma mistura de componentes orgânicos e inorgânicos que atuam mantendo condições favoráveis para o desenvolvimento da vegetação, suprimindo suas necessidades de nutrientes, umidade e aeração, além de lhes dar suporte, ancorando suas raízes de forma a protegê-las contra a ação do vento. Tanto a composição quanto a espessura da camada de substrato escolhida devem estar em concordância as particularidades do tipo de planta e solução adotados. Uma cobertura extensiva, por exemplo, não necessita de uma camada de substrato muito espessa e também não é favorecida por substratos muito ricos em nutrientes, visto que aceleram o crescimento da vegetação.

Camada vegetal: São plantas escolhidas de acordo com o tipo do telhado e a intenção do projetista. É aconselhado observar o clima local, a incidência solar e o regime de chuvas da região, sendo as plantas nativas as mais indicadas. Para telhados extensivos recomenda-se o uso de suculentas e gramíneas.

2.2.2 Sistemas em Módulos Pré-fabricados

São sistemas patenteados e comercializados por empresas especializadas. Geralmente são compostos por pequenos módulos rígidos que contém substrato e vegetação já crescida, são de fácil manuseio e podem ser montados através de um sistema de encaixes. Esses módulos costumam ser produzidos por materiais reciclados, como fibra de coco, sola de sapato, garrafas PET, etc. Os sistemas modulares pré-fabricados podem ser organizados em sistemas convencionais, alveolares e laminares.

2.2.2.1 Sistemas Modulares Convencionais

São sistemas com arranjos semelhantes aos do sistema contínuo, com a diferença de ter sua estrutura construída dentro de módulos, que são montados sobre a estrutura da cobertura já protegida com impermeabilizante e membrana anti-raízes. Os módulos desse tipo de sistema podem ter dimensões, forma, requisitos e outras particularidades que variam muito de fabricante para fabricante. Para exemplificar, apresentaremos dois sistemas da empresa Ecotelhado: o sistema Hexa e o sistema Hidromodular.

2.2.2.1.1 Sistema Hexa Ecotelhado®

Segundo a Ecotelhado, “o Sistema Hexa é um sistema de telhado verde modular, prático e com uma aparência contínua, sem emendas, assim que estabelecido, é de fácil transporte e facilidade na instalação”. Sendo recomendado para lajes planas, o sistema é composto pelos seguintes elementos:

Quadro 3: Sistema Hexa.

Componente	Descrição/função
Módulo Hexa Ecotelhado®:	É constituído de plástico reciclado e fornecido em placas com reservatórios de formato hexagonal. Ocupa uma área de 0,1624 m ² e tem aproveitamento de 6,16 peças/m ² . Tem as funções de drenagem controlada, reservar água sob as raízes das plantas e evitar o contato direto entre a vegetação e a laje.
Membrana de Absorção Ecotelhado®:	Composta de não tecido reciclado, tem espessura de 5 mm, largura de 200 cm e comprimento diversos. Sua finalidade é a retenção de água e nutrientes.
Argila Expandida	Agregado leve com alta capacidade de retenção de água e nutrientes. Pode ser utilizado em substituição dos substratos convencionais, dispensando a grelha do módulo.
Substrato Leve Ecotelhado®	Substrato de baixo peso específico composto de materiais orgânicos e sintéticos oriundos da indústria de reciclagem. Por ser leve e rico em nutrientes, apresenta boa retenção de água e nutrientes sem sobrecarregar muito a base da cobertura.
Gel para Plantio (Forth Gel)	É um copolímero de poliacrilato de potássio. Tem a função de reter a umidade.
Vegetação	É recomendável o uso de gramíneas e suculentas.

Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

Com altura média de 12 cm e pesando aproximadamente 1,08 KN/m² (108 Kg/m²), a instalação do sistema Hexa segue os passo a passos mostrados nos quadros 4 e 5. Após instalado, o sistema deve ser irrigado diariamente e com abundância pelos próximos 45 dias ou o tempo necessário para a adaptação da vegetação. Deve ser irrigado também em períodos de estiagem e adubado sempre que se verificar necessário.

Quadro 4: Sistema Hexa com Substrato.

Imagem	Descrição
	Colocação do Módulo Hexa sobre a laje, fixando-os entre si através de seus encaixes(macho e fêmea).
	Colocar a grade Hexa nos Módulos Hexa.
	Colocação da Membrana de Absorção.
	Colocação do Substrato Leve e Nutritivo Ecotelhado.
	Colocação da vegetação escolhida

Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

Quadro 5: Sistema Hexa com Argila Expandida.

Imagem	Descrição
--------	-----------

	<p>Colocação do Módulo Hexa sobre a laje, fixando-os entre si através de seus encaixes(macho e fêmea).</p>
	<p>Preencher o módulo Hexa com argila expandida e uma camada de 1 cm de substrato. As laterais também deverão ser preenchidas com argila expandida.</p>
	<p>Colocação da vegetação escolhida</p>

Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

2.2.2.1.2 Sistema Hidromodular Ecotelhado®

É um sistema considerado semi-hidropônico (pois quando é implantado com grama não precisa de substrato), caracterizado pela presença de seus módulos Galocha e Piso de Nuvem. O sistema armazena água da chuva e permite irrigação por capilaridade para coberturas com pouco caimento (ECOTELHADO).

Quadro 6: Sistema Hidromodular.

Componente	Descrição/Função
Módulo Galocha®	Módulo em placa semi-flexível de plástico reciclado com capacidade de retenção de água de até 55 L/m ² e dimensões 40 x 80 x 5,5 cm. Tem finalidade de armazenar água e impedir que as raízes entrem em contato com a laje.
Módulo Piso Nuvem®	Módulo em placa semi-flexível de plástico reciclado de dimensões 40 x 40 x 7 cm. Tem como funções drenagem controlada e irrigação por capilaridade.
Membrana de Absorção	Composta de não tecido reciclado, tem espessura de 5 mm, largura de 200 cm e comprimento diversos. Sua finalidade é de retenção de água e nutrientes para suprir parcialmente as raízes da vegetação.
Membrana Anti Raízes (quando necessitar)	Membrana PEAD com espessura de 200 micras e comercializadas em rolos de 4 x 100 m.

	Protege a impermeabilização das raízes.
Substrato Leve Ecotelhado®:	Substrato de baixo peso específico composto de materiais orgânicos e sintéticos oriundos da indústria de reciclagem. Por ser leve e rico em nutrientes, apresenta boa retenção de água e nutrientes sem sobrecarregar muito a base da cobertura.
Gel para Plantio (Forth Gel)	É um copolímero de poliacrilato de potássio. Tem a função de reter a umidade.
Vegetação	É recomendável o uso de gramíneas e suculentas.

Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

O sistema tem altura média de 12 cm e peso de aproximadamente 0,75 KN/m² (equivalente a 75 Kg/m²). É indicado para coberturas mais planas e a área onde será implantado deve ter perímetro fechado por uma mureta de no mínimo 12 cm.

Quadro 7: Etapas do Sistema Hidromodular.

Imagem	Descrição
	Colocar o Módulo Galocha sobre a laje impermeabilizada.
	Colocar o Módulo Piso Nuvem (dois Módulos Piso Nuvem para cada Módulo Galocha).
	Colocar a membrana de absorção sobre o Módulo Piso Nuvem, com sobreposição de 5 cm.
	Jogar o gel para plantio a lanço em cima do substrato (aproximadamente 20 gramas por m ²).



Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

Após instalado, o sistema deve ser irrigado diariamente e com abundância pelos próximos 45 dias ou o tempo necessário para a adaptação da vegetação. Deve ser irrigado também em períodos de estiagem e adubado sempre que se verificar necessário.

2.2.2.2 *Sistemas Alveolares*

São sistemas de estrutura similar a do sistema modular convencional, sendo que a principal diferença esta na presença de módulos alveolares, isto é, placas com cavidades que possibilitam uma maior retenção da água, permitindo ao sistema uma maior liberdade na escolha de variedade de plantas. Esse sistema tem como principais desvantagens apresentar uma carga mais elevada, por volta de 70 kg/m², e uma perda de eficiência em superfícies mais inclinadas, sendo recomendadas inclinações máximas na faixa de 10 a 20%. No quadro 8 pode ser observado o modo de instalação das camadas do Sistema Modular Alveolar Leve Ecotelhado®

Quadro 8: Sistema Alveolar.

Imagem	Descrição
	<p>Colocar o Módulo Alveolar sobre a laje impermeabilizada.</p>
	<p>Colocar a Membrana de Absorção sobre o Módulo Alveolar.</p>

	<p>Colocar o Substrato sobre a Membrana de absorção.</p>
	<p>Colocar a leiva de grama.</p>

Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

2.2.2.3 Sistemas Laminares

Com um peso médio de 120 kg/m², o sistema laminar é o mais pesado dos sistemas modulares mais conhecidos, o que se deve principalmente à grande quantidade de água que pode acumular. Essa característica possibilita ao sistema a escolha de uma maior variedade de plantas a serem cultivadas e reduz drasticamente a necessidade de irrigar a cobertura, sendo que a irrigação será feita por capilarização. Porém, além do alto peso, tem a desvantagem da inviabilidade de ser construído em uma cobertura inclinada, pois sua inclinação é diretamente proporcional a quantidade de água que armazena. No quadro 9 pode ser observado o modo de instalação das camadas do Sistema Laminar Alto Ecotelhado®.

Quadro 9: Sistema Laminar.

Imagem	Descrição
	<p>Colocar o Módulo Hexagonal Ecodreno sobre a superfície impermeabilizada.</p>

	Preencher os drenos com a camada drenante.
	Cobrir a camada drenante com uma membrana anti-raízes.
	Colocar camada vegetal por cima da estrutura.

Fonte: Adaptado de Ecotelhado (2018).

3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como propósito principal analisar o impacto que a sobrecarga gerada pela cobertura verde provoca na estrutura de uma edificação, buscando verificar sua viabilidade econômica. Para isso baseou-se no estudo de caso de um projeto de uma residência unifamiliar de padrão baixo, com área construída 165 m² (projeção retangular de 19,6 x 8,45 m²), propondo três soluções diferentes para a cobertura:

Proposta 1: Telhado convencional de duas águas com 35% de inclinação, 50 cm de beiral e área total de 210 m². É composto por telhas portuguesas e estrutura de madeira de Maçaranduba, formada por duas vigas, três tesouras, terças, caibros e vigas.

Proposta 2: Telhado verde plano e extensivo, com inclinação de 5%. Foi adotado o sistema contínuo (completo), apresentando as seguintes camadas:

- Impermeabilização – manta asfáltica.
- Camada drenante – argila expandida, espessura de 7 cm.
- Camada filtrante e anti-raízes – manta geotêxtil Bidin.
- Substrato – terra vegetal, espessura de 6 cm.
- Vegetação – grama esmeralda.

Proposta 3: Telhado verde plano e extensivo, com inclinação de 5%. Foi adotado o sistema contínuo (completo), apresentando as seguintes camadas:

- Impermeabilização – manta asfáltica.
- Camada drenante – brita 02, espessura de 7 cm.
- Camada filtrante e anti-raízes – manta geotêxtil Bidin.
- Substrato – terra vegetal, espessura de 6 cm.
- Vegetação – grama esmeralda.

Para determinar a sobrecarga atuante na estrutura, para cada proposta, estimou-se o peso de seus componentes considerando o sistema saturado, sendo os resultados apresentados na tabela 1. Procedeu-se então com a definição inicial dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) considerando as recomendações de vãos máximos e econômicos e dimensões mínimas (quadro 10) e adotou-se sapatas para fundação. Por fim, lançou-se a estrutura no *Software* Eberick, processando-a para análises e dimensionamento dos elementos, buscando soluções para os erros encontrados. Para solucionar os problemas encontrados foram considerados, na respectiva ordem, os seguintes critérios: aumentar as dimensões dos elementos, adotar materiais mais resistentes e mudar a configuração inicial.

Tabela 1: Sobrecarga da Cobertura.

Proposta	Sobrecarga (KN)
1	217
2	292
3	387

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 10: Definição Inicial.

Elemento	Proposta 01		Proposta 02		Proposta 03	
	Quantidade	Dimensão	Quantidade	Dimensão	Quantidade	Dimensão

Pilar	14	14 x 30	14	14 x 30	14	14 x 30
Viga Baldrame	8	14 x 30	8	14 x 30	8	14 x 30
Viga Respaldo	8	14 x 40	8	14 x 40	8	14 x 40
Laje	4	h = 8	6	h = 8	6	h = 8

Fonte: Autoria Própria.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a proposta 1, necessitou-se apenas alterar os parâmetros de materiais e dimensões dos elementos, enquanto que para as propostas 2 e 3 foi necessário realocar dois pilares e uma viga e adicionar outros dois pilares e uma viga. Para todos os casos foram utilizados os aços CA 50 e CA 60 e brita 1 como agregado. Para a proposta 1 foi utilizado concreto com fck de 25 Mpa (C 25) para todos os elementos, enquanto que, para as propostas 2 e 3, adotou-se C 40 para vigas e pilares, C 30 para lajes e C 25 para as sapatas.

Quanto ao dimensionamento dos elementos estruturais, os resultados obtidos podem ser observados nos quadro 11, constatando que as maiores disparidades estão nas espessuras das lajes (h) e quantidade de aço utilizado. Para a proposta 1 foi adotada uma laje com espessura de 8 cm, bem similar à laje dimensionada para a proposta 2, com espessura igual a 10 cm. Contudo, para a proposta 3, foi necessário aumentar essa espessura para 20 cm.

Com o dimensionamento concluído prosseguiu-se com a determinação do volume de concreto e montante de aço, por meio de relatórios gerados pelo próprio *software* e então esses dados foram utilizados para estimar o custo de cada proposta, relacionados na tabela 2.

Quadro 11: Definição Final.

Elemento	Proposta 01		Proposta 02		Proposta 03	
	Quantidade	Dimensão	Quantidade	Dimensão	Quantidade	Dimensão
Pilar	2	14 x 50	2	20 x 50	2	20 x 40
	4	14 x 40	14	14 x 30	2	14 x 40
	8	14 x 30	-	-	12	14 x 30
Viga Baldrame	8	14 x 30	1	14 x 40	1	14 x 40
	-	-	9	14 x 30	9	14 x 30

Viga Respaldo	8	14 x 40	8	14 x 40	1	20 x 50
	-	-	1	14 x 50	2	14 x 50
	-	-	-	-	6	14 x 40
Laje	4	H = 8	6	H = 10	6	H = 40

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 2: Comparativo de Custo.

Orçamento	Aço	Concreto	Cobertura	Total
Proposta 1	9.280,00	5.940,00	18.760,00	33.980,00
Proposta 2	18.970,00	9.560,00	6.460,00	34.990,00
Proposta 3	32.530,00	14.230,00	3.330,00	50.090,00

Fonte: Autoria Própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Constatou-se que a estrutura do telhado verde é bem simples e pode até ser mais barata que um telhado convencional em relação aos materiais empregados propriamente na cobertura. Com a análise dos resultados obtidos pelo estudo de caso apresentado no trabalho, observa-se também que o uso da camada drenante de argila expandida tem vantagens significativas sobre o uso de brita, pois enquanto no primeiro caso o custo total do telhado somado ao custo da estrutura foi bem semelhante ao custo obtido para o telhado convencional, no segundo verificou-se um valor cerca de 43% maior. Assim, pode ser verificado que apesar de a argila expandida ser um material mais caro, seu uso promove economia devido ao fato de ser um agregado leve. É importante considerar também, que além de não ter sido constatada nenhuma desvantagem da argila expandida em relação à brita, a mesma tem ainda as vantagens de ser arredondada e porosa, o que contribui para favorecer o escoamento da água, retém umidade e oferece menor risco de danificar a impermeabilização do sistema.

Contudo, é uma opção bem mais pesada, de forma que a sobrecarga provocada na estrutura da edificação requer elementos estruturais muito mais robustos. Dessa forma, o custo decorrente da implantação de um telhado verde normalmente é mais elevado que o custo de uma solução comum. Isso sem mencionar os maiores custos de manutenção e mão de obra especializada.

Todavia, alguns autores defendem que mesmo assim os telhados verdes podem ser economicamente viáveis, pois sua própria vida útil mais elevada seria o bastante para compensar tal investimento. A exemplo pode-se citar Boni (2015), que aponta que enquanto o ciclo de vida de um telhado convencional gira em torno de 20 anos sem manutenção, um telhado verde pode durar o dobro. Existem também outras pesquisas que demonstram que o valor do investimento pode ser recuperado pela economia gerada pelo condicionamento térmico proporcionado pela cobertura verde. Além disso, pode ser facilmente integrada a sistemas de captação de águas pluviais, com a vantagem de condicionar uma pré-filtração da água.

Considerando todas as vantagens e desvantagens expostas no trabalho e os resultados obtidos no estudo de caso, pode-se afirmar que o telhado verde com argila expandida (proposta 2) seria a opção mais viável para essa situação, já que teria um custo muito próximo do telhado convencional e uma durabilidade cerca de duas vezes maior, isso já seria suficiente para justificar a escolha dessa solução do ponto de vista econômico. Além disso, gera também economia de energia pelo condicionamento térmico, dispensando, muitas vezes, uso aparelhos de ar condicionado e trata-se de uma opção sustentável que proporciona diversos benefícios ambientais e estéticos, já mencionados no trabalho. Como sugestões para trabalhos futuros sugere-se o aprofundamento dos estudos realizados, não só comparando telhados verdes contínuos e telhados convencionais, mas também alguns dos muitos telhados verdes pre-fabricados disponíveis no mercado brasileiro.

REFERÊNCIAS

- BIOCLIMATISMO. Telhado Verde. 2016. Disponível em: <http://bioclimatismo.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 15 de mai. 2018.
- BONI, Felipe. Telhado verde: Uma opção sustentável? 2015. Disponível em: <http://2030studio.com/telhado-verde-uma-opcao-sustentavel/>. Acesso em: 19 de nov. 2018.
- CORRÊA, Lásaro Roberto. **Monografia** (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Constru%E7%E3o%20CivilL.pdf>. Acesso em: 19 de nov. 2018.
- ECOTELHADO. Soluções em sistemas para arquitetura sustentável e bioconstrução. 2018. Disponível em: <https://ecotelhado.com/>. Acesso em: 19 de nov. 2018.
- HENEINE, Maria Cristina Almeida de Souza. Cobertura verde. 2008. Disponível em: <http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Maria%20Cristina%20Almeida.pdf>. Acesso em: 15 de mai. 2018.

- INGRA. *International Green Roof Association*. Disponível em: <http://www.igra-world.com/index.php>. Acesso em: 15 de mai. 2018.
- NETO, Pedro de Sousa Garrido. Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva: projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil. **Monografia**, 2012. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10004589.pdf>. Acesso em: 19 de nov. 2018.
- PESSANHA, Larissa Braga. Proposta de implantação de um sistema de telhado verde extensivo utilizando a técnica de wetland, na Escola Politécnica – **Monografia**. UFRJ. 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10019366.pdf>. Acesso em: 15 de mai. 2018.
- SAVI, Adriane Cordoni. Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura. 2012. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/788/1/CT_CECOS II 2012 01.pdf. Acesso em: 19 de nov. 2018.
- SILVA, Neusiane da Costa. Telhado Verde: sistema construtivo de maior eficiência e menos impacto ambiental. 2011. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-9AEGBV/telhado_verde__sistema_construtivo_de_maior_efici_ncia_e_menor_impacto__ambiental.pdf. Acessado em: 15 de mai. 2018.
- TUACASA, Telhado verde. 2018. Disponível em: <https://www.tuacasa.com.br/telhado-verde/>. Acessado em: 30 de nov. 2018.
- UGREEN. Telhado verde: o guia completo. 2018. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 19 de nov. 2018.
- WILLES, Jorge Alex. Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema. **Tese**. 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-03122014-171411/pt-br.php>. Acesso em: 19 de nov. 2018.