



ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS E VANTAGENS ENTRE TELHADOS VERDES E SISTEMAS CONVENCIONAIS DE COBERTURAS

Flávio Leôncio Guedes¹
f_l_guedes@hotmail.com

Rildo Duarte de Azevedo Filho²
rildo.filho@estacio.br

Flávia Gonçalves Domingues Ferreira²
flavia.domingues@estacio.br

Flávia Garrett Azevedo²
flavia.garrett@estacio.br

RESUMO

O processo de urbanização concentrado e desordenado, em grandes centros urbanos, trouxeram mudanças devido às intensas intervenções no meio ambiente. As substituições de superfícies naturais por edificações e pavimentações têm aumentado expressivamente o processo de impermeabilização do solo e a reflexão de calor atmosfera. Uma das soluções para compensar a redução da vegetação ocasionada pelo crescimento urbano seria utilização da técnica de telhados verdes, no qual consiste na aplicação e uso de solo e vegetação instalada na cobertura de edificações. O objetivo deste trabalho foi de apresentar uma análise comparativa de custos entre a técnica de telhados verdes e os sistemas de coberturas convencionais, e os benefícios e vantagens analisados através de um protótipo. Foi confeccionado um protótipo no qual permitiu analisar benefícios e vantagens e em seguida foi utilizado o método comparativo para avaliar custo e sobrecarga de quatro sistemas de coberturas, sendo dois telhados verdes e dois convencionais. A análise comparativa permitiu concluir que o sistema de cobertura de fibrocimento tem o menor preço entre todos os sistemas verificados de R\$200,7/m². Conclui-se que os sistemas de coberturas verdes apresentam mais vantagens que os sistemas convencionais, porém a escolha do melhor sistema a ser adotado no quesito custo x benefício vai depender da estrutura da edificação e do capital do empreendimento, devido ao custo da obra e peso de sobrecarga.

Palavras-chaves: Construção Sustentável; Coberturas Verdes; Construção Civil.

¹ Graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio do Recife

² Professores do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio do Recife.



ABSTRACT

The concentrated and disorderly urbanization process in large urban centers has brought about changes due to intense interventions on the environment. The replacement of natural surfaces by buildings and pavements has significantly increased the process of soil sealing and the reflection of heat in the atmosphere. One of the solutions to compensate for the reduction of vegetation caused by urban growth would be to use the green roofing technique, which consists of the application and use of soil and vegetation installed on the roof of buildings. The objective of this work was to present a comparative cost analysis between the green roof technique and the conventional roofing systems, and the benefits and advantages analyzed through a prototype. A prototype was made in which it was possible to analyze benefits and advantages and then the comparative method was used to evaluate cost and overload of four roofing systems, two green and two conventional roofs. Comparative analysis concluded that the fiber cement roofing system has the lowest price among all verified systems of R \$ 200.7 / m². It is concluded that green roofing systems have more advantages than conventional systems, but the choice of the best system to be adopted in the cost-benefit aspect will depend on the building structure and the capital of the project, due to the cost of the work and weight overload.

Keywords: Sustainable Construction; Green Covers; Construction.

1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização concentrado e desordenado, em grandes centros e perímetros urbanos, trouxeram mudanças devido às intensas intervenções no meio ambiente impulsionadas pelo crescimento populacional (RAMPAZZO; SANT'ANNA NETO, 2012).

As substituições de superfícies naturais por edificações e pavimentações têm aumentado expressivamente o processo de impermeabilização do solo e a reflexão de calor atmosférico. Como consequência, observa-se o acréscimo da temperatura média da Terra desde os finais do século 19 (CHEN *et al.*, 2006).

Cidades mal projetadas sofrem problemas como o fenômeno chamado ilha de calor, que ocorre em locais com pouca concentração de áreas verdes e excesso de construções onde a temperatura é mais elevada que nas áreas adjacentes menos urbanizadas (SOUZA, 2004). As áreas urbanas são formadas por diversos componentes que irradiam a energia eletromagnética de maneiras diversas, apresentando elevada amplitude espectral e altas frequências espaciais dificilmente separáveis. A diversidade espectral é decorrente da paisagem urbana formada por materiais, como concreto e asfalto nas edificações e vias (IWAI, 2003).

As construções civis ocupam áreas que eram inicialmente tomadas por vegetação, deixando de cooperar na diminuição da emissão de carbono e da consequente redução do efeito estufa. A inércia térmica acumulada, especialmente das coberturas das edificações, é responsável pelo desconforto térmico, o que comumente leva o emprego de sistemas de climatização de ambientes, aumentando os impactos (GOUVEIA, 2008).



O aumento da impermeabilização do solo aliado à falta de infraestrutura amplifica a intensidade do escoamento superficial gerado pela precipitação. O resultado global reflete-se no aumento das vazões veiculadas nos cursos de água e na antecipação da ocorrência dos picos de cheia. Neste contexto, surgem casos críticos de alagamentos nos grandes centros urbanos (FILHO *et al.*, 2016).

O ciclo hidrológico é outro evento que vem sendo prejudicado devido ao crescimento desordenado das cidades, que resultam no aumento do escoamento superficial de águas pluviais, impactos ao meio ambiente e na população, sobretudo nas áreas mais carentes por não possuírem infraestrutura em suas moradias (TUCCI, 2003).

Para amenizar os impactos da indústria da construção que ao longo dos anos foi se distanciando da construção ecologicamente correta, faz-se necessário retornar os princípios da sustentabilidade. O mundo precisa de profissionais que associem arquitetura, ecologia e engenharia e projetem edifícios que usem o mínimo de energia e que a energia que utilizem proceda de fontes renováveis (ROAF, 2006).

Segundo Lima (2011), uma das soluções para compensar a redução da vegetação ocasionada pelo crescimento urbano seria utilização da técnica de telhados verdes consiste na aplicação e uso de solo e vegetação instalada na cobertura de edificações.

Os telhados verdes ou coberturas verdes, dentre outras denominações encontradas na literatura, são uma técnica da arquitetura que tem o objetivo de aplicar solo e vegetação sobre cobertura impermeável em uma edificação (COSTA *et al.*, 2012).

As coberturas verdes favorecem o desempenho térmico interno e externo das edificações, proporcionando também um conforto no entorno dessas localidades, pois essas áreas tendem a ficarem mais úmidas devido à presença de vegetação no local, melhorando assim o clima local e a qualidade do ar (ARAÚJO, 2007).

Além do benefício do conforto ambiental citado anteriormente, existem outros, como diminuição da velocidade de escoamento da água pluvial no telhado, aumento da retenção da água da chuva, redução da poluição, redução da emissão de carbono, atenuante da poluição do ar, diminuição da temperatura do micro e macro ambiente externo, e contribuição para a maior durabilidade das edificações, pois diminui a amplitude térmica (CASTRO; GOLDENFUM, 2008).

Diante destes fatos e do pressuposto que a produção de pesquisa científica nesse campo contribuirá para a disseminação de conhecimento técnico desta temática na esfera da construção civil, e que, a necessidade de combater impactos dos centros urbanos, podem ser alcançadas pela implantação de telhados verdes, estudos como esse fortalece o crescimento baseado nos princípios norteadores do desenvolvimento sustentável. O objetivo do trabalho é apresentar uma análise comparativa de custos entre a técnica construtiva de telhados verdes e os sistemas de coberturas convencionais, e os benefícios e vantagens analisados através de um protótipo. E os objetivos específicos são: apresentar técnica construtiva de telhado verde intensivo, extensivo e semi-intensivo; comparar o custo de telhados verdes, com sistemas que utilizam técnicas tradicionais de cobertura; comparar o peso das coberturas tradicionais, com as coberturas de telhado verde abordadas e apresentar as vantagens e benefícios do sistema de telhados verdes através de protótipo.



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Desenvolvimento Sustentável (DS)*

A Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), conhecida como Comissão de Brundtland, desenvolveu um relatório que ficou denominado como “Nosso Futuro Comum”. Tal relatório definiu que: “o desenvolvimento sustentável é aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1991, p.46).

Outra definição para o DS foi descrita por Satterthwaite (2004, p.129) como:

“a resposta às necessidades humanas nas cidades com o mínimo ou nenhuma transferência dos custos da produção, consumo ou lixo para outras pessoas ou ecossistemas, hoje e no futuro”.

Ferreira (1998, p.154) afirma que

o padrão de produção e consumo que caracteriza o atual estilo de desenvolvimento tende a consolidar-se no espaço das cidades e estas se tornam cada vez mais o foco principal na definição de estratégias e políticas de desenvolvimento.

Desta forma, é importante à busca de alternativas sustentáveis alinhadas à qualidade de vida para a dinâmica urbana, materializando um indicativo para o processo de planejamento estratégico urbano.

2.2 *Telhado Verde*

A técnica de telhados verdes (Figura 1) consiste na utilização de solo e vegetação em coberturas de edificações, podendo ser composto por uma variedade de tipos plantas de acordo com o projeto proposto (HENEINE, 2008).

Figura 1 – Telhado Verde.



Fonte: <http://obviousmag.org> (2016)

Os telhados verdes têm origem na antiga Mesopotâmia no período compreendido entre 600 a.C e 450 a.C. pelo rei Nabucodonosor, conhecidos como jardins suspensos (Figura 2), sendo o mais famoso o situado na Babilônia denominado Etemenanki (ESPÍNDOLA, 2010).

Figura 3 – Jardins Suspensos da Babilônia.



Fonte: Xapuri Socioambiental (2016).

Na década 90, quando questões ecologicamente corretas se postaram abertas no cenário mundial, a tecnologia “Telhado Vivo” passou a ser considerado como uma proposta sustentável no setor da construção civil (ROSA D’AVILA *et al.*, 2010) de forma que hoje são analisados como uma importante ferramenta de planejamento aplicadas em centros urbanos, face às modificações climáticas e melhoraria a qualidade de vida da população das cidades (ROSSETI *et al.*, 2013).

O telhado verde, em sua composição mais simples e comumente utilizada, mais consiste nas seguintes camadas: impermeabilização, camada de drenagem, camada de filtragem, substrato e vegetação (TASSI, 2014), e ainda, outras variações mais complexas, no qual se utiliza mais camadas como substrato rígido ou manta anti-raiz (FERRAZ; LEITE, 2011).

Entre os principais benefícios do telhado verde, está seu potencial de reter água, alterar a umidade relativa do ar, abrandar amplitudes térmicas, amortizar ruídos, melhorar a qualidade do ar e resguardar a estrutura do telhado (DARAIA, 2017).

As coberturas verdes são classificadas em duas formas: Intensivo e extensivo. Alguns autores também destacam o telhado verde semi-intensivo, que utiliza vegetações de médio porte, e que necessita de manutenção mais constante que as dos tipos intensivo ou extensivo (NASCIMENTO, 2008).

2.3 Legislação Sobre Telhados Verdes Aplicadas no Brasil

No Brasil, dentre as ações isoladas nos Estados e municípios brasileiros, destacam-se exemplos em São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Recife e João Pessoa.

Em São Paulo, tanto a capital como os demais municípios têm criado projetos de lei que incentivam a utilização dos telhados verdes. Em 2009, foi apresentado, pela vereadora Sandra Tadeu, um Projeto de Lei - PL na Câmara de Vereadores, com sete artigos que tratava sobre tornar-se obrigatório a implantação, em circunstâncias determinadas, de telhados verdes, visando implantar o uso, compulsoriamente, de coberturas verdes em edificações com mais de três unidades agrupadas verticalmente, construídas após a publicação da Lei. Na ocasião, o referido PL foi aprovado em primeira discussão pelos vereadores (STAHLHÖFER; PEREIRA, 2013).

Na cidade de Niterói, Rio de Janeiro, o PL nº 090/2013 dispõe sobre a instalação de coberturas verdes em projetos de edificações residenciais ou não, que tiverem mais de três pavimentos quando agrupados na vertical, e os respectivos incentivos fiscais e financeiros aos que adotarem a tecnologia (GONÇALO, 2013).

Na região sul do país, Estado de Santa Catarina, foi criada a Lei nº 14.243, de 11 de dezembro de 2007, no qual dispõe sobre a implantação da criação de coberturas verdes em espaços urbanos da cidade. Conforme a Lei fica criada no âmbito de Santa Catarina, o Programa de âmbito Estadual, no qual há incentivo de adoção de telhados verdes em espaços urbanos intensamente povoados objetivando, entre outras coisas, a atuação como isolantes térmicos e a minimização do fenômeno das ilhas de calor (BAROSKY, 2011).

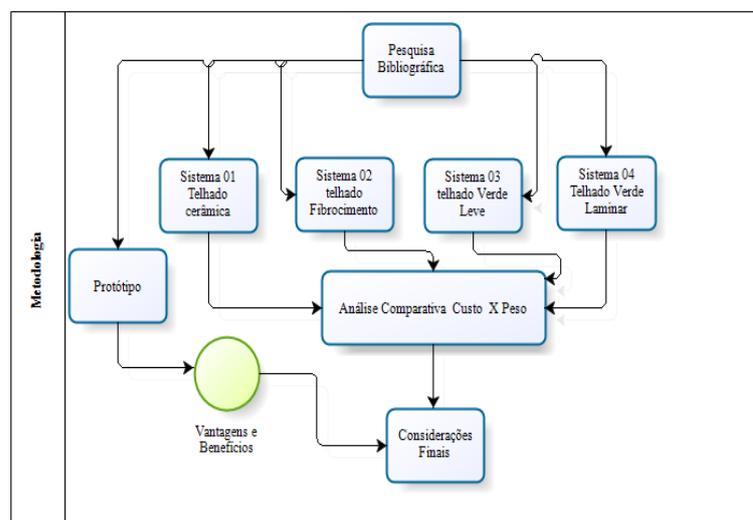
Em Recife, capital do Estado de Pernambuco, os telhados verdes tornaram-se obrigatórios, através da Lei Nº 18.112/2015, no qual prevê que todos os edifícios habitados ou não, com mais de quatro andares, que possuam mais de 400m² de coberta, ficam obrigados a implantação de coberturas verdes.

O Estado da Paraíba, através da Lei nº 10.047, de 09 de julho de 2013, dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação de coberturas verdes em áreas específicas, nos termos do seu Art. 1.º, no qual prevê que os projetos de edifícios, residenciais ou não, com mais de três unidades e que estejam agrupados verticalmente, protocolados nos Municípios do Estado, deverão constar no projeto a implantação de telhado verde.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada seguindo as etapas representadas na Figura 4.

Figura 4 – Etapas da Pesquisa.





Segundo Cervo *et al.* (2007, p.61) a pesquisa bibliográfica “constitui o procedimento básico para os estudos monográficos, pelos quais se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema”. Dessa forma, foi elaborado três projetos com definição de prazos e custos. Nesse contexto, foram avaliadas características sobre os benefícios e vantagens da utilização dos telhados verdes para o conforto térmico, umidade relativa do ambiente, efeitos da radiação solar, isolamento acústico e redução do escoamento de águas pluviais. E em seguida, foi comparado em relação aos sistemas convencionais.

Para evitar problemas de comparação dos custos na construção dos telhados, o estudo foi delimitado a um único projeto de residência unifamiliar com 81,265 m², no qual sejam viáveis os três modelos de telhados, mesmo que as tipologias apresentem características próprias.

Foram analisados apenas custos iniciais de dois telhados convencionais com telhas de fibrocimento e cerâmica, e um modelo de telhado verde, no qual foi considerando apenas o clima regional para a escolha das espécies vegetais, não levando em consideração o longo prazo, bem como consumo de energia para climatização e os custos com a manutenção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Benefícios do Telhado de Verde – TV: Benefícios

Para Minke (2004), a implantação dos TVs poderia melhorar qualidade de vida das pessoas que vivem em centros urbanos. Dentre os mais diversos benefícios das coberturas verdes, destacam-se:

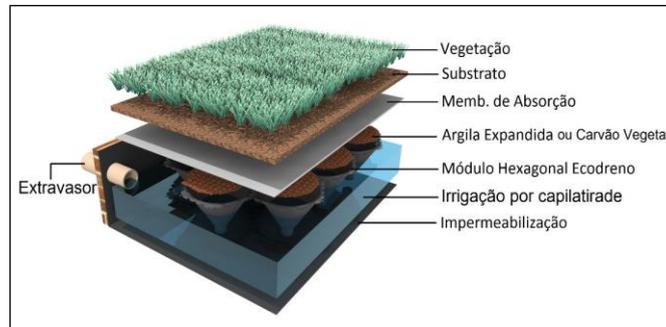
4.1.1 Captação e filtragem de água de chuva

Os telhados verdes contribuiriam com a redução do volume total e da vazão de pico efluente do lote, por causa da retenção de parte da precipitação incidente sobre o telhado (VASCONCELOS; MIGUEZ e VAZQUES, 2016)

Segundo Stovin *et al.* (2011), os telhados verdes têm potencialidade de filtrar a água, podendo assim, ser reutilizada para fins não potáveis. E também, é possível controlar a quantidade de escoamento, ao mesmo tempo com o processo de filtragem.

O sistema laminar alto (Figura 5) é um tipo de que serve como cisterna, e possui um sistema independente de irrigação, já que a água armazenada é utilizada pela planta por capilaridade. Dessa forma, a cobertura verde retém água da chuva, e também funciona como polimento e tratamento de águas residuais (ECOTELHADO, 2018).

Figura 5 - Telha Verde Tipo Laminar.



Fonte: Ecotelhado (2018).

Os elementos construtivos utilizados para compor a estrutura dos telhados verdes são (de baixo para cima): 1) Laje (elemento estrutural cujas cargas permanentes ou acidentais devem ser consideradas); 2) Camada impermeabilizante (protege o elemento estrutural, podendo ser de material betuminoso ou sintético); 3) Isolante térmico (utilizado de acordo com a incidência de energia solar, podendo ser um exemplo de material o poliestireno estrudado); 4) Camada drenante (tem a função fundamental de dar vazão ao excesso de água no solo, podendo ser constituída de argila expandida, brita ou seixos de diâmetros semelhantes); 5) Camada filtrante (evita que tanto a água da chuva como a das regas arraste as partículas de solo do telhado verde, utilizando-se normalmente de uma manta geotêxtil); 6) Solo (de preferência não argiloso e que apresente boa composição mineral de nutrientes); 7) Vegetação (sua escolha depende do clima do local, do substrato e do tipo de manutenção) (ARAÚJO, 2007).

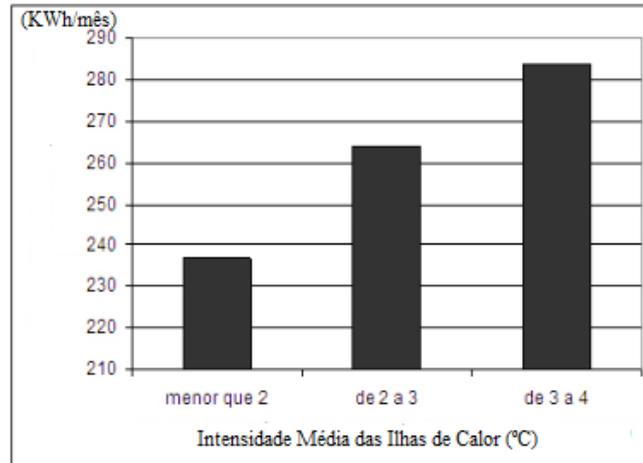
4.1.2 Conforto térmico e acústico para ambientes internos

Para Araújo *et al.* (2013), outro benefício do TV é a atenuação do efeito das ilhas de calor, fenômeno causado pela permuta da vegetação natural por construções, que faz com que grande parte da radiação do sol seja absorvida por esses materiais e tornam-se muito quentes, portanto, contribui para o acontecimento desse fenômeno. Como consequência, a qualidade da vida humana pode ser afetada no decorrer de períodos mais longos. Dessa forma, a troca de superfícies de telhado tradicionais, comumente utilizado na construção civil, por telhados verdes, poderia atenuar esse efeito.

A entrada de calor sensível é mais elevada em ambientes urbanos, enquanto a entrada de calor latente é maior em área com vegetação, influenciando, assim, os objetos do balanço de energia e contribuindo com o ciclo diário da amplitude da ilha de calor (CORRÊIA, 2013).

Segundo Souza (2011), através do cruzamento de informações de valores médios das ilhas de calor e de consumo de energia, evidenciou-se o acréscimo do consumo de energia com elevação das faixas de temperatura (Figura 6).

Figura 6 - Consumo de energia mensal dado em função dos valores médios diários da ilha de calor.



Fonte: Adaptado de Souza (2011).

Em relação ao conforto acústico, o nível de ruído exagerado nas cidades, provocado pelo tráfego e pelas mais diversas fontes, afeta fisicamente e psicológica as pessoas.

Os telhados tradicionais ampliam as ondas sonoras, no entanto o substrato e as plantas absorvem essas ondas, amenizando consideravelmente os ruídos (Machado *et al.*, 2004).

4.1.3 Absorção de CO₂, produção de oxigênio, e filtragem do ar

O principal gás do efeito estufa é o CO₂, e os maiores responsáveis pela emissão de CO₂, aproximadamente 50% das emissões são oriundas das edificações. Nesse contexto, estima-se que, para estabilizar as alterações climáticas, seria necessário reduzir cerca de 60% das emissões de CO₂ produzidas. Uma forma eficiente de diminuir as emissões é reduzir o uso de energia nas residências (ROAF, 2006).

4.1.4 Proteção contra raios solares

Telhados verdes cooperam com a proteção da radiação solar através das folhas das plantas que refletem a radiação, não deixando que a mesma penetre a superfície da cobertura. Melhorando assim, o desempenho térmico da edificação no qual foi implantado (Machado *et al.*, 2004).

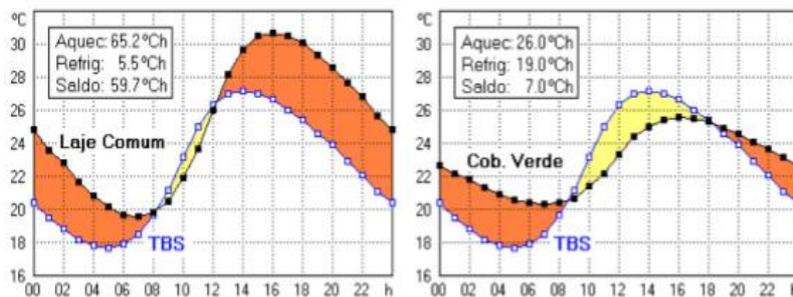
A cobertura está sujeita a mudanças de temperatura muito intensas. Durante o dia temperaturas elevadas, entretanto a noite a edificação tende a perder calor, se resfriando rapidamente. Em dias quentes, coberturas de edificações, podem chegar 65,2°C/horas de calor, acima da temperatura do ar.

A variação das temperaturas internas de um ambiente com telhado coberto por gramíneas, formando uma cobertura verde, e vantagens em relação a um telhado convencional de fibrocimento, os testes torna capaz a observação de qual a melhor

escolha na hora que se deseja construir uma edificação, para evitar um gasto futuro com o intuito de proporcionar uma melhor sensação térmica e bem estar dentro de residências, proporcionando uma conjuntura entre o social, econômico e ambiental, os pilares fundamentais da sustentabilidade (SANTOS *et al.*, 2013).

As coberturas verdes, nos horários mais quentes do dia, contribuem para a refrigeração do ambiente (Figura 7), pois de 9 as 18 horas, a temperatura superficial do TV permanece mais baixa que a temperatura do ar (MORAIS *et al.*, 2004).

Figura 7- Diferenças entre a temperatura das superfícies, em preto e temperaturas do ar, em azul.



Fonte: Morais *et al.* (2004)

4.2 Protótipo telhado verde autossustentável e análise dos benefícios comparados aos telhados convencionais

Foi elaborado estudo no Centro Universitário Estácio do Recife, onde foi construído um protótipo de telhado verde laminar (Figuras 8 e 9), intitulado: Telhado verde sustentável com sistema independente de irrigação, retenção e captação de água de chuva utilizando garrafas PET como base e dreno sendo. O estudo conseguiu comparar os benefícios desse sistema de telhado com outros sistemas tradicionais de coberturas usadas no Brasil.

Figura 8 – Protótipo telhado Verde Autossustentável - Etapas.

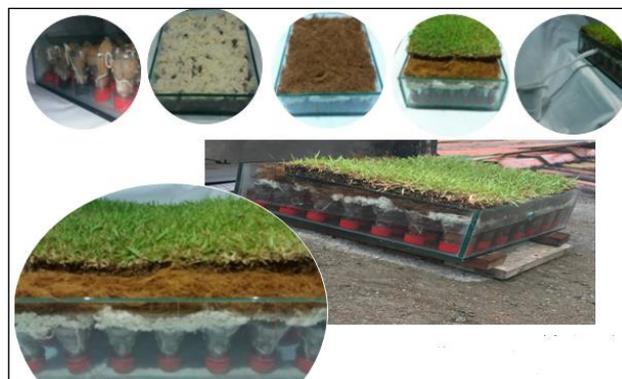


Figura 9 – Evolução do Telhado Verde - Protótipo.



O protótipo de telhado verde laminar teve resultados satisfatórios com a reutilização de PET, como alternativa de base e dreno, uma vez que com a criação de novos bens de consumo através de garrafas PET que iriam para o lixo, ajudam a minimizar a poluição ambiental causada pela geração e disposição inadequada destes resíduos.

A espécie de planta escolhida, *Zoysia Japonica*, conhecida com grama esmeralda, obteve-se efeito positivo. Após seis meses a grama teve um crescimento satisfatório (Figura 10) aproximadamente 10 cm.

Figura 10 – Vegetação após seis meses sem irrigação - Protótipo.



O protótipo de telhado laminar alto funcionou como uma cisterna de água de chuva, garantindo suprimento de até 160 litros por m². Esse sistema ser utilizado sobre terraços ou lajes planas, aumentando os benefícios de retenção de água da chuva e o conforto térmico da construção. E também o sistema não precisa de irrigação, já que a planta absorve a água armazenada por capilaridade das raízes da grama.

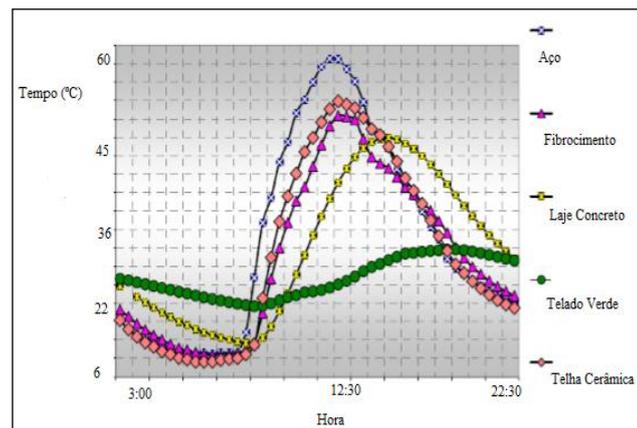
4.2.2 Isolamento Térmico

Os componentes utilizados para a instalação de um telhado verde formam uma espessura que age como isolante térmico. Dessa forma, as propriedades isolantes dão um grau de resistência na questão de transmissão de energia, reduzindo assim, a utilização de

ar condicionado no verão e diminuindo a necessidade de aquecimento no período de inverno (BALDESSAR, 2012).

O protótipo de TV foi verificado em relação à eficiência energética em outros tipos de coberturas no mesmo período do ano. De acordo com a Figura 11 é possível comparar a variação térmica através de estudo comparativo das temperaturas superficiais internas de cinco tipos de coberturas: 1) aço; 2) fibrocimento ondulada; 3) laje pré-moldada; 4) cobertura verde; e 5) telha cerâmica.

Figura 11 – Temperaturas superficiais internas.



Chegando a uma variação de 10°C na hora mais quente do dia, registrada as 14:30h. Para Vechhia (2015), o processo de troca de calor é lento, pois a cobertura verde age como um isolante. A figura ainda nos permite analisar que o atraso térmico pode durar a 4 horas, ou seja, é o tempo que tempo necessário para o calor externo para adentrar no ambiente.

4.2.3 Escoamento superficial

Para Baldesar (2012), os telhados verdes, comparando-se com outros sistemas, podem ajudar a desafogar os sistemas de drenagem dos centros urbanos.

A Tabela 1 mostra o resultado obtido o experimento, e conclui que pode se ter uma redução de 80% da água escoada para as galerias pluviais. O teste foi feito com um telhado laminar extensivo com 5 cm de substrato.

Tabela 1 - Análise comparativa de escoamento entre três sistemas de cobertura.

Período	Totalização da Água Escoada – Mensal em (mm)		
	Laje	Telha Cerâmica	Telhado Verde
Dez 2017	89	68	13
Jan 2018	57	55	8
Fev 2018	92	88	22
Total (mm)	238	211	43



4.3 Telhado de Verde – TV: Custos e vida útil

A variação de custos dos TV é muito grande, em função do sistema adotado, podendo o custo variar em torno 80% do custo de um para outro, dependendo da tipologia (MINKE, 2004). E o custo deve ser inserido no ciclo de vida de todos os materiais utilizados, lajes impermeabilizadas sem ter uma camada protetora terão uma vida útil inferior a uma laje com cobertura verde.

Segundo Hewage (2011), sugere a avaliação do custo de acordo com os diferentes tipos de telhado verde: intensivo, extensivo. Os telhados extensivos são, em média, quatro vezes mais baratos que os telhados intensivos.

Um telhado comum tem vida útil de cerca de 25 anos, já um telhado verde dura, em média 50 anos, ou seja, o dobro deste tempo. Foi analisado por Claus (2012), o custo estimado dos TV em um prazo de 50 anos, verificando o ganho com os benefícios, e o custo com manutenção e construção do mesmo, ele insere ainda o ganho com a não troca do telhado no prazo de médio de 25 anos.

Na Tabela 2 é possível analisar os custos x benefícios da implantação de um telhado verde por ano. Os valores apresentados nos gráficos são em real/m².

Tabela 2 – Comparação de investimentos custo x benefícios (Real/ m²).

Análise custo x benefício	Ano 0	Ano 1	Ano 2-4	Ano 25	Ano 26-50
Manutenção	138,56	4,33	4,33	4,33	4,33
Irrigação	-	0,27	0,27	0,27	0,27
Economia de Energia	-	0,58	0,58	0,58	0,58
Conforto Acústico	-	1,24	1,24	1,24	1,24
Troca de Telhado	-	-	-	780,7	-
Qualidade do Ar	-	1,6	1,6	1,6	1,6
Custo da purificação de água	-	1,30	1,30	1,30	1,30
Custo de transporte de água	-	0,43	0,43	0,43	0,43
Custo Total	138,56	9,75	9,75	790,45	9,75

Fonte: Adaptado de Claus *et al.* (2012).

Através da tabela pode-se concluir que em longo prazo os TVs são preferíveis as coberturas convencionais. Sendo atribuída como fator determinante a durabilidade do mesmo. E os benefícios ambientais e sociais com o passar do tempo só tendem a aumentar.

4.4 Análise comparativa de pesos e custos

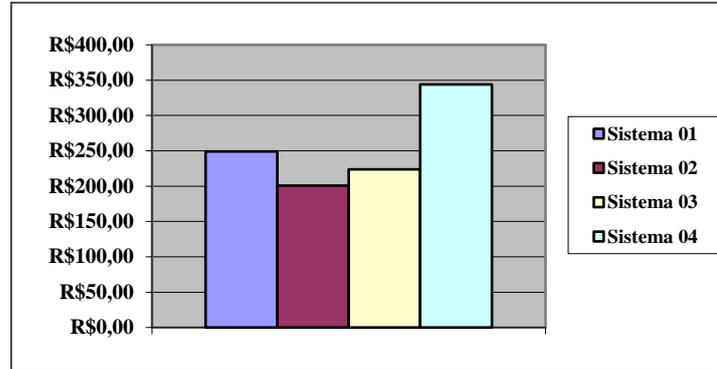
Os resultados foram alcançados através da comparação direta do peso e do custo dos diferentes sistemas de coberturas. Os sistemas serão dispostos da seguinte forma:

- Laje pré-moldada com cobertura em telha cerâmica – Sistema 01;
- Laje pré-moldada com cobertura em telha fibrocimento – Sistema 02;
- Telhado verde: leve – Sistema 03; e
- Telhado verde: Sistema Laminar.

4.4.1 Análise comparativa de custos

Foi feita uma comparação direta entre os valores dos custos obtidos para cada um dos sistemas de coberturas destacando a variação de custos entre os sistemas (Figura 12).

Figura 12 – Custos sistemas de coberturas.

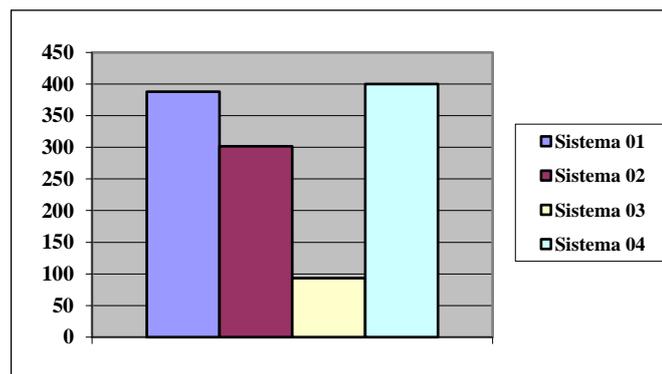


De acordo com o gráfico, pode-se concluir que o sistema de cobertura de fibrocimento tem o menor preço entre todos os sistemas verificados de R\$200,7/m². O sistema de telhado verde leve foi o mais alto, com R\$343,96. O sistema de cobertura com telhado verde laminar obteve o segundo menor custo: R\$223,83/m².

4.4.2 Análise comparativa de cargas

Para comparação entre a carga projetada na cobertura nos sistemas (figura 13), foi levantado o peso dos materiais, conforme NBR 6120 (Carga para Cálculo de estrutura de edificações) e informações dos fornecedores.

Figura 13 – Pesos sistemas de coberturas (Kg).



O telhado verde leve, sistema 03, com sistema hexagonal apresenta o menor peso entre todas as outras coberturas com peso de 93,02 Kg/m², e o de maior peso foi obtido pelo telhado verde laminar, sistema 04, porém é importante salientar que o sistema



laminar de telhado verde armazena água e com isso aumenta o peso da cobertura. Já os resultados para os telhados convencionais tiveram variação de peso bem próximas, ficando entre 301,51 Kg (sistema 02) e 388 Kg (sistema 01).

4.4.3 Análise comparativa entre custos e pesos

A integração comparativa entre peso e custo (figura 3) é importante para entender a influências que os sistemas de cobertura possuem em relação à Infraestrutura da Edificação.

Tabela 3 – Análise comparativa de custo e peso por m².

Sistema de Cobertura	Custo (m ²)	Peso (m ²)
Sistema 01	249,20 (R\$)	388 (Kg)
Sistema 02	200,7 (R\$)	301,51 (Kg)
Sistema 03	343,96 (R\$)	93,02 (Kg)
Sistema 04	223, 98 (R\$)	400,86 (Kg)

Fonte: Autor (2018).

A Tabela 3 aponta que o custo e o peso não possuem variação proporcional, mas permite concluir que o sistema 03, que possui custo mais alto, apresenta menor peso e sistema 04 possui o peso maior, possuindo maior carga expressiva sobre a estrutura, porém obteve o segundo menor custo.

5 CONCLUSÕES

A indústria da construção civil é o setor que mais consome água, energia e que gera mais resíduos no mundo. Dessa forma, novas tecnologias que possam incorporar o uso de técnicas sustentáveis que amenizem o impacto ambiental, social e econômico das construções, são fundamentais.

As coberturas verdes ou telhados verdes, como destacado ao longo do estudo, auxiliam na diminuição dos impactos ambientais de construções existentes e das novas construções, podendo ser uma ótima ferramenta a ser aplicada nas cidades. Além disso, de acordo com esta pesquisa, fica evidente que o telhado verde é uma alternativa a problemática ambiental dos centros urbanos, e que pode influenciar de maneira positiva em questões de climatização e drenagem pluvial e armazenamento de água da chuva.

A confecção do protótipo de telhado verde laminar, de acordo com os resultados apresentados, indicou que é viável a reutilização de Pets, como alternativa de base e dreno em um telhado verde, uma vez que com a criação de novos bens de consumo através de garrafas PET que iriam para o lixo, ajudam a minimizar a poluição ambiental causada pela geração e disposição inadequada destes resíduos. Pois com a reutilização evita-se o consumo de material derivado de petróleo que faz parte do sistema laminar convencional.

O protótipo de telhado verde obteve resultados satisfatórios para a espécie de grama Zoysia Japônica, conhecida com grama esmeralda, sem necessitar de irrigação, a planta absorve a água por capilaridade, devido ao resultado positivo do sistema de



armazenamento de água também, 160 litros/m². Já em relação conforto térmico, o protótipo foi comparado com outros sistemas de cobertura, chegando a uma variação de 10° C na hora mais quente do dia, indicando que nesse sistema o processo de troca de calor é lento, pois a cobertura verde age como um isolante.

O experimento também indicou que, comparando-se com outros sistemas, os TVs podem ajudar a desafogar os sistemas de drenagem dos centros urbanos, pois pode se ter uma redução de 80% da água escoada para as galerias pluviais.

A análise de custo e benefício pode-se concluir que em longo prazo os TVs são preferíveis aos telhados convencionais. Sendo atribuída como fator determinante a durabilidade do mesmo. Visto que, um telhado comum tem vida útil de cerca de 25 anos, já um telhado verde dura, em média 50 anos, ou seja, o dobro deste tempo.

Esse estudo apresentou alternativas novas para a construção de TVs, e se fez a análise comparativa tanto em custo quanto em carga (peso) com sistemas tradicionais de aplicados usualmente no Brasil, com essa análise foi possível confirmar a hipótese de que através de novas tecnologias é possível ter sistemas de telhados verdes com sobrecarga inferior e custo equiparado aos telhados convencionais.

O sistema de telhado verde leve apresentou o menor peso entre todos os sistemas analisados, porém o maior valor, devido aos materiais empregados. 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.

Conclui-se assim os sistemas de coberturas verdes apresentam mais vantagens que os sistemas convencionais, porém o melhor sistema a ser adotado no quesito custo x benefício vai depender da estrutura da edificação e do capital do empreendimento, devido ao custo da obra e peso de sobrecarga. Mas vale destacar que existem diversas alternativas de coberturas verdes que possuem custo e peso inferior a sistemas tradicionais de cobertura.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, K. G.; ALVES, R. V. Telhado verde: uma análise comparativa do conforto térmico e vantagens em relação aos telhados convencionais. **Revista CIENTEC**, v. 9, n. 3, p. 200-206, 2017.

AUGUSTO, W. F. C.; SANTOS, M. R.; SAMPAIO, A. V. C. F. Ecotelhado. O uso do teto verde na arquitetura. **Assentamentos Humanos** (Marília), v. 13, p. 127-137, 2011.

ARAÚJO, A. P. C. S.; PUZZI, L. C. M.; BALDIN, M. G.; SQUIZZATO, R.; SOTTI, G.; COSTANZI, R. N. Aproveitamento de Água Pluvial em Sistema Modular de Telhado Verde com Aplicação em Sistemas de Drenagem Urbana. **In: 4th Internacional Workshop Advances in Cleaner Production**. São Paulo, 2013.

BAROSKY, T. K. **Plasticidade ornamental e propagação de herbáceas para utilização em telhado verde**. 149f. Dissertação (mestrado). Faculdade de medicina e veterinária. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

BEZERRA, M. I. L.; SANTOS, J. S.; AGUIAR, A. P. Ilhas de Calor: Importância da Vegetação na Amenização Climática em João Pessoa/PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 5, p. 1499-1516, 2013.



COSTA, D. F.; SILVA, H. R.; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 974-985, 2010.

DARAIA, P. S. **Telhados verdes: estudo quantitativo de eficácia técnica e econômica**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 74p. 2017.

ECOTELHADO. **Telhados Verdes: Sistema Laminar Alto**. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/ecotelhado-telhado-verde/sistema-laminar-alto>>. Acesso em: 10 set. 2018

FILHO, A. *et al.* Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 28 (2): 257-272, mai/ago/2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320160206>>. Acesso em: 8 out. 2018.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HEWAGE, K.; BIANCHINI, F. 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: 18 de agosto de 2018.

RIGHI, D. P. *et al.* Cobertura Verde: Um Uso Sustentável Na Construção Civil. **Mix Sustentável**, [S.l.], v. 2, n. 2, p. 29-36, set. 2016.

SANTOS, P. T. S.; SANTOS, S. M. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; MOURA, G. S. S.; ANTONINO, A. C. D.; Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, jan./mar. 2013.

SANTANA, N. C. Investigação de Ilhas de Calor em Brasília: Análise Multitemporal com Enfoque na Cobertura do Solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 1044, 2014.

SOUZA, L. C. L. Relações entre ilhas de calor, geometria urbana e consumo de energia elétrica. **Clima Urbano e Planejamento das Cidades**, v. 3, n. 2, 2011.

STAHLHÖFER, I. S.; PEREIRA, M. F. B. Políticas públicas de implementação de coberturas verdes: o Projeto de Lei nº 115/2009 da Câmara de Vereadores de São Paulo. **Revista Eletrônica do Curso de Direito**. UFSM, v. 08, p. 386-398, 2013.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. Disponível em <<http://fumeec.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788576050476>>. Acesso em: 08 de outubro de 2018.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 139-154, 2014.

STOVIN, V; VESUVIANO, G; KASMIN, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. **Journal of Hydrology**, v. 414-415, p. 148-161, 2012.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 21, n. 4, p. 655-662, 2016.



VECCHIA, F. **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: 02 ago. 2018.