

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TELHADO CONVENCIONAL E TELHADO VERDE COM USO DO MÉTODO MULTICRITERIAL

FRANCO, Giovana Tafuri¹; TREINOTI, Thais Adriane de Souza²;
Prof. Me. Heitor Berger Campos³
Universidade São Francisco
giovana.franco@mail.usf.br; thais.treinoti@mail.usf.edu.br

¹Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

²Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

³Professor Orientador Heitor Berger Campos, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

RESUMO. O objetivo deste documento é apresentar um estudo de análise comparativa entre o telhado verde e o telhado convencional, utilizando o método multicriterial. O telhado verde vem sendo utilizado desde a antiguidade, tendo como preocupação questões ambientais que colocam em risco colapsos ecológicos. O sistema de telhados verdes possui três tipos diferentes de implantação sendo, telhados extensivos, intensivos e semi-intensivos, cada um dispõe de características distintas, mas que alcançam o objetivo a ser esperado de acordo com a necessidade de cada construção. O sistema construtivo consiste na seguinte sequência básica de etapas para a execução sendo: laje, camada impermeabilizante, isolante térmico, camada drenante, camada filtrante, solo e vegetação. E a aplicação de cada etapa é importante para chegar ao resultado esperado e sendo assim alcançar os benefícios do seu método construtivo. Os benefícios são inúmeros e abrangem alguns diferenciais como, escoamento de águas, conforto térmico e acústico, eficiência energética e econômica, redução das ilhas de calor, visual esteticamente agradável, qualidade do ar e existe também alguns assuntos que não são benéficos a esta construção como o alto custo de investimento em matéria prima e mão de obra especializada, pois se caso for executado de forma errada pode provocar umidade, infiltração de água e prejuízo aos moradores. O objetivo deste estudo é realizar uma comparação do telhado verde e do telhado convencional que utiliza as telhas de fibrocimento. Para este propósito, utiliza-se a análise multicriterial que elabora uma análise afim de poder comparar todas as alternativas e aspectos levantados e assim concluir a escolha da solução que melhor satisfaz as necessidades. Dentre os métodos existentes, aplica-se o método CP (Programação por Compromisso) e CGT (Teoria dos Jogos Cooperativos), que tem por finalidade buscar uma tomada de decisão que no final seja mais eficiente e benéfico para a da implantação do sistema construtivo entre o telhado verde e o telhado convencional.

Palavras-chave: vegetação, conforto, método multicriterial, sustentabilidade, telhado verde.

Introdução

Decorrente do crescimento gradativo das grandes cidades e do processo de urbanização nas mesmas, o meio ambiente acaba por sofrer impactos causados por este desenvolvimento dos municípios perante a construção civil. Estes impactos envolvem desde o consumo de recursos naturais para a produção de matéria prima para o canteiro de obras, passando por

mudanças no solo, corte de árvores com impactos na vegetação, como a retirada de gramados a qual leva a prejuízos de absorção da água das chuvas, podendo gerar alagamentos. Além disso, há a questão da incidência dos raios solares no asfalto, onde esta faz com que a temperatura aumente, causando um desconforto térmico nos locais.

Diante disso, revela-se necessário maiores estudos, pesquisas e incentivos a obras com olhares mais ecológicos e sustentáveis, para que ocorra uma maior adaptação de grandes edificações neste contexto. Como uma forma de melhoria ambiental, as coberturas verdes vêm ganhando espaço no âmbito das construções, mesmo que de forma discreta. Por isso, é importante que aja incentivo a métodos como este de implementação de telhado verde em áreas urbanas, visando ações práticas sustentáveis.

● Contexto histórico

Ao analisar o histórico de coberturas na antiguidade é possível observar que a cobertura nas construções está presente desde o início da civilização nas edificações. Os sistemas de cobertura possuem a função de proteger uma edificação contra a ação das intempéries, tais como chuva, vento, raios solares, neve e também impedir a penetração de poeiras e ruídos no seu interior (Molitero, 1981 apud SILVA, 2005, p. 01).

Desde as primeiras civilizações, estas situadas na região da antiga Suméria, na Mesopotâmia, o telhado tratava-se de uma primeira e mais simples noção de abrigo. Podemos dizer que até mesmo as próprias cavernas, habitação mais rudimentar e básica conhecida até o momento, já traziam esta ideia.

Assim, ao chegarmos nos dias atuais, o processo de evolução destas técnicas construtivas voltadas para coberturas continua a crescer cada vez mais. Hoje ainda é possível termos técnicas pensando melhor no meio ambiente e na natureza, para que estas sejam mais sustentáveis e ecológicas, principalmente devido ao crescimento populacional recorrente e ao conseqüente processo de urbanização nos municípios de todo o país. Com isso, começam a aparecer as coberturas verdes e assim, fazer o uso das mesmas.

E desde então, as edificações com coberturas verdes vem tomando lugar das coberturas convencionais nas cidades mais urbanizadas, minimizando assim impactos ao meio ambiente, mesmo que de forma localizada.

● Definição do Telhado Convencional

Sabendo que a cobertura em uma edificação tem a função de garantir proteção contra a chuva, ventos e insolação, entre as telhas mais usuais, estão as de fibrocimento, principalmente na cobertura de edificações comerciais, industriais, rurais e moradias populares.

Devido ao seu baixo custo, sua utilização torna-se frequente na construção civil, por isso é uma das tipologias existentes dentre os chamados telhados convencionais. Estas telhas apresentam como diferencial a possibilidade de vencer grandes vãos sem o uso de apoios intermediários, sendo leves e resistentes.

Tratando-se de uma mistura de cimento, amianto e água, a produção em escala industrial de telhas de fibrocimento firmou-se no mercado em substituição das telhas feitas de ardósia.

● Definição e histórico do Telhado Verde

Os telhados verdes, também conhecido como telhado ecológico, telhado vivo ou jardins suspensos é um sistema de cobertura e lembrem-nos Korzenieski, 2016 apud Vieira et al (2018, p. 03) “que telhado verde é uma técnica arquitetural que consiste em aplicar solo e vegetação sobre estruturas de cobertura impermeáveis, em diversos tipos de edificações”.



De acordo com Rangel et al (2015, p. 399) "fatos históricos narram que os primeiros jardins suspensos foram os zigurates, da antiga Mesopotâmia, entre 600 a.C. e 450 a.C."

Neste sentido QUINTELA (2012), ainda afirma que "durante os anos 80, ocorreu um rápido desenvolvimento das coberturas verdes no mercado alemão. Uma média de crescimento de 15 a 20% ao ano. [...] Durante os anos 90, muitos fabricantes europeus de telhado verde começaram a se aventurar em larga escala para os mercados Norte Americanos. No entanto, os sistemas eram difíceis de vender, pois o público não dispunha de informações sobre a performance técnica do sistema, nem acesso a exemplos, especialmente em um ambiente cultural e político em que muitos indivíduos não tinham interesse em investir em tecnologias verdes".

Na Europa há países, como a Alemanha, que possuem leis que obrigam uma boa parte das novas construções serem constituídas de telhados verdes, trazendo assim benefícios relacionados ao escoamento de águas pluviais e qualidade do ar, por exemplo. Recentemente uma cidade da Alemanha que se chama Copenhague ganhou destaques nas suas implementações de telhados verdes, segundo informações a "meta de Copenhague, cidade mundialmente conhecida como referência em mobilidade urbana é cobrir de vegetação os terraços das cidades com o objetivo de ser carbono zero no ano 2025. (FEIJÓ, 2016).

Como é possível observar, as construções de telhados verdes vem sendo utilizadas desde a antiguidade, tendo como preocupação questões ambientais e objetivando a melhoria das condições atmosféricas e microclimáticas locais, principalmente em regiões com maior urbanização.

- **Aspectos técnicos**

O sistema construtivo dos telhados verdes, de forma genérica, consiste na aplicação de manta, substrato e vegetação sobre edificações/moradias com coberturas planas e/ou inclinadas. Existem três formas diferentes de telhado verde, a depender do tipo de laje onde deverá ser instalado e os objetivos que se esperam ser alcançados. Dessa forma, têm-se os telhados extensivos, intensivos e semi-intensivos (IGRA, 2017 apud VIEIRA, SANTOS, SILVA, DANTAS, ALBUQUERQUE, 2018, p. 7).

O sistema de telhados extensivos pode ser implantado em quase todos os tipos de coberturas e é composto de jardins com plantas de pequeno porte, conseqüentemente é um método mais leve e possui um custo mais baixo e viável, além disso possui um índice baixo de manutenção.

Por outro lado, temos o sistema de telhados intensivos é composto por plantas de médio e grande porte, necessitando de um estudo prévio das características físicas, por possuir uma estrutura mais complexa, tendo assim um custo mais elevado. É necessária uma atenção em sua irrigação diária, por possuir uma diversidade maior de vegetação.

No meio termo, possui o sistema de telhados semi-intensivos que é o intermediário dos dois sistemas anteriores, no qual comporta vegetação de porte médio e necessita periodicamente de manutenção e irrigação.

Durante a execução da construção do telhado verde é necessário ser utilizado ao menos a composição de camadas básico, sendo que para cada localização de área desejada pode-se incluir mais camadas variando de acordo com o estudo técnico do profissional que está implantando o telhado verde. Para tanto procurou-se apresentar cada qual, com uma função específica. São elas:

- **Camada de impermeabilização:** A impermeabilização das lajes das coberturas tem como finalidade proteger a estrutura de concreto de infiltrações, necessitando também de cuidados especiais para não deteriorar a laje.

- Camada de drenagem: Tem como intuito drenar toda a água da chuva, permitindo a circulação da água e evitar o encharcamento do solo, além de funcionar como um filtro evitando a passagem do solo.
- Camada de filtragem: É um elemento simples e fundamental impedindo que as finas partículas que o substrato possui, danifique o sistema do telhado verde.
- Substrato: Considerado como uma das camadas mais importantes do telhado verde, ele possui como finalidade atender as necessidades do desenvolvimento e crescimento dos plantios, como absorver a umidade e oferecer nutrientes.
- Vegetação: Possuem uma grande variedade de plantas, que variam de pequeno a grande porte que podem ser usadas nos telhados verdes. É recomendado um estudo por trás da escolha do plantio a ser escolhido para o local, é necessário desenvolver uma análise do clima, o tipo de manutenção que será adotada e a que mais se adeque a estética do telhado e ambiente.

Com o aumento da população, as construções aumentam constantemente nas grandes cidades. Com esse crescimento, conseqüentemente, o processo de urbanização afeta diretamente o solo, a paisagem e o meio ambiente. Diante deste cenário, a tecnologia das construções voltadas para coberturas verdes e sustentáveis visam diminuir esse problema. Além disso, é bom ressaltar que o método de construção que iremos abordar de coberturas verdes também possui semelhanças com as coberturas convencionais, mas o método construtivo e de manutenção de ambas são únicas e que cada método possui um desempenho técnico diferente.

O intuito deste trabalho é a análise comparativa de vantagens e desvantagens do sistema de telhados verdes e telhados convencionais (telha fibrocimento). O método a ser utilizado para esse tipo de comparação será o método multicriterial, no qual iremos adotar a técnica CP (Programação por compromisso - Menor distância do melhor) e CGT (Teoria dos jogos comparativos - Maior distância do pior) que irão comparar alguns itens através de pontuações e na análise final irá demonstrar qual é o tipo de telhado mais vantajoso, onde será possível demonstrar qual dos métodos construtivos pode trazer benefícios específicos, ao meio ambiente e a sociedade.

Material e Métodos

A metodologia abordada neste trabalho foi com base nos métodos Multicriteriais, sendo estudado tanto o Método CP (Programação por Compromisso) quanto o CGT (Teoria dos Jogos Cooperativos). Isto devido a necessidade de comparar as duas alternativas do projeto levantadas, como a cobertura verde e a cobertura convencional e assim, fazer a escolha da melhor opção por meio de critérios, atribuição de pesos a estes e fórmulas calculadas em planilhas. Deve-se considerar diversos aspectos na tomada de decisão, além de questões básicas como custo-benefício, por exemplo, e assim realizar a análise multicriterial.

Diante disso, ao explicar o conceito do método CP, estamos nos referindo a menor distância que se aproxima do melhor resultado. De acordo com Zeleny (1982 apud Zuffo et al., 2002, p. 84) este método é baseado no conceito de distância métrica (Teorema de Pitágoras), entre dois pontos cujas coordenadas são conhecidas.

Além disso, o método de Programa por Compromisso faz uma média ponderada das distâncias, sendo que a soma dos pesos dos critérios (α) torna à unidade, uma vez que é necessária uma padronização destes pesos antes da aplicação do método. Desta forma, tem-se uma ideia de quão relevante este critério é, através de determinada porcentagem.

Já com relação ao método CGT, a Teoria dos Jogos Cooperativos é voltada para a solução ideal a qual maximiza a distância de algum ponto “status quo”, considerando uma hipotética situação de nível mínimo, em que a medida de distância utilizada é a geométrica

(Gershon e Duckstein, 1983). O resultado de cada acordo resulta na formulação de uma matriz de avaliação (Payoff).

De acordo com Gershon e Duckstein (1988 apud Zuffo et al., 2002, p. 85) é ainda apontado que os objetivos e critérios estão trabalhando em cooperação para atingirem uma solução satisfatória.

Através dos conceitos dos dois métodos expostos, a partir do tema deste presente trabalho, são apresentadas as duas alternativas possíveis, que serão comparadas por meio da análise multicriterial. O quadro 1 mostra estas alternativas, enquanto o quadro 2 mostra os critérios considerados relevantes para a tomada de decisão e escolha da melhor alternativa, bem como a descrição de cada um destes.

Quadro 1 - Alternativas propostas.

Alternativa	Descrição
A	Telhado Verde
B	Telhado Convencional

Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Quadro 2 - Descrição dos critérios considerados na tomada de decisão.

Critérios		Descrição
Conforto	Conforto térmico	Análise do comportamento da temperatura em construções com o telhado verde e com o telhado convencional. Quanto mais agradável a mesma, maior a nota alternativa dentro desta função de valor.
	Conforto acústico	Análise do comportamento do som em construções com o telhado verde e com o telhado convencional. Quanto menor o barulho e ruídos causados na construção, maior a nota alternativa dentro desta função de valor.
	Conforto luminoso	Quanto melhor a iluminação causada por determinado tipo de telha, maior a nota alternativa dentro desta função de valor.
Operacional	Dificuldades de instalação e manutenção	Análise do nível de dificuldade de operação e manutenção de cada alternativa, considerando as ações que devem ser realizadas e a frequência. Quanto menor for a dificuldade, melhor é a nota da alternativa dentro da função de valor.
	Durabilidade	Quanto maior a durabilidade do telhado, maior será a nota atribuída nesta função de valor.
Econômico-Financeiro	Custo de implantação dos dois tipos de telhados	Análise do custo de implantação das coberturas para construção de cada alternativa. Quanto menor o custo possível e viável, melhor é a nota da alternativa dentro da função de valor.
	Custo de manutenção dos dois tipos de telhados	Análise do custo de manutenção das coberturas para construção de cada alternativa. Quanto menor o custo possível e viável, melhor é a nota da alternativa dentro da função de valor.
	Custo de mão de obra	Análise do custo de mão de obra para a implantação das coberturas de cada alternativa, considerando fatores como necessidade de maquinário e equipe específica. Quanto menor o custo possível e viável, melhor é a nota da alternativa dentro da função de valor.
Sociais	Risco ao desabamento e prejuízo as pessoas ao redor	Análise do risco de ocorrer prejuízos caso o tipo de cobertura não seja implantado corretamente e leve até ao desabamento. Quanto menor o risco, melhor é a nota da alternativa dentro da função de valor.

Critérios		Descrição
	A sustentabilidade e as pessoas	Análise da questão sustentável em cada tipo de cobertura e o que isto interfere na sociedade. Quanto mais sustentável o projeto e a execução da alternativa, maior a nota dentro desta função de valor.
Ambientais	Certificações	Análise de possíveis certificações que determinada alternativa pode receber perante seu tipo de cobertura e benefícios que estas certificações podem agregar. Quanto mais certificações possíveis de adquirir, maior a nota dentro desta função de valor.
	Escoamento pluvial	Análise do comportamento da água de chuva nos telhados e o que pode ser feito com esta água. Maior nota desta função de valor atribuída àquela alternativa que apresentar melhor solução ecológica.
	Riscos de instalação ao meio ambiente	Análise dos riscos que podem ser causados ao meio ambiente com a instalação de determinado tipo de cobertura. Quanto menor o risco, melhor é a nota da alternativa dentro da função. de valor.

Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Perante a estes critérios apresentados do estudo de caso abordado, é importante destacar que os mesmos foram definidos de forma a se atribuir pesos para cada um conforme sua relevância. Além disso, primeiramente, estes critérios foram definidos de um modo que foram condensados entre notas de 0 e 10.

Assim, são apresentadas abaixo as considerações feitas na definição dos limites considerados para os devidos critérios dentro de suas funções de valor dadas por correlação linear, conforme os gráficos mostrados.

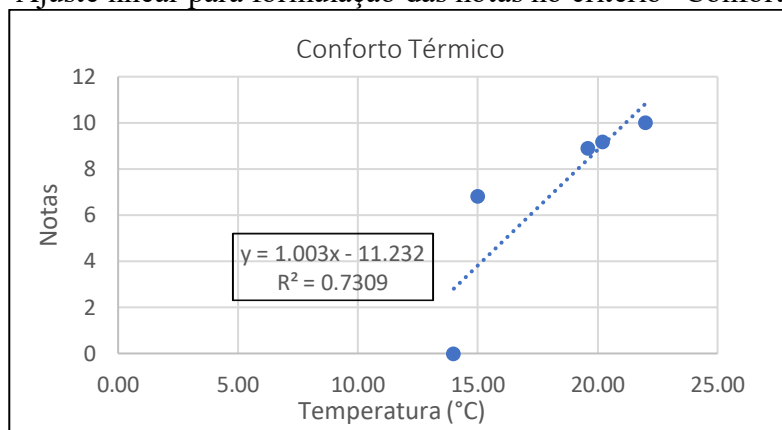
- **Conforto térmico**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), dentre as duas possibilidades de projeto, seria aquele em que obteve temperatura mais alta em dias frios e temperaturas mais amenas em dias quentes. Tomando como base estudos realizados, observamos o caso ideal apontado para os telhados verdes. De acordo com o estudo de Maronez e Carraro (2017), foram coletadas temperaturas em maio, com este mês sendo mais quente e em junho, este com temperaturas mais baixas.

As médias de temperaturas nesses períodos foram de 23,3 °C para o telhado verde, enquanto o telhado convencional ficou com uma média de 23 °C, e, as médias da temperatura ambiente ficaram em torno dos 20 °C. Já para o mês de junho, o qual apresentou temperaturas mais baixas, nota-se que o telhado verde obteve uma média de 20,2 °C, e o telhado convencional de 19,6 °C, enquanto a temperatura ambiente apresentou uma média de 18,2 °C. (MARONEZ, CARRARO, 2017).

Já com relação ao pior caso (Nota 0) para aplicação do método, este representaria, portanto, o tipo de cobertura com a temperatura mais alta em dias quentes e mais baixa em dias frios.

Figura 1 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Conforto térmico”.



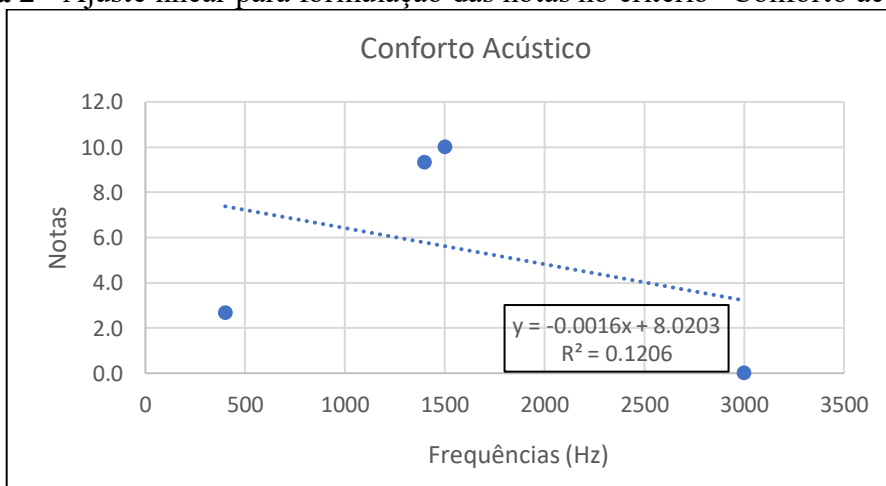
Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

● **Conforto acústico**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10) seria aquela cobertura que apresentasse uma melhor faixa de frequências sonora. Adotou-se de 500 a 1500Hz. O pior caso (Nota 0) seria atribuído àquela alternativa a qual apresentasse frequências bem discrepantes desta faixa.

Como os estudos apontam que os telhados verdes por serem constituídos de várias camadas, estas variando de 15 a 20cm e apresentam melhor redução sonora devido a espessura do substrato, estes apresentaram a nota 10. Além disso, segundo Rowe (2010 apud Portal Acustica, 2019), “a atenuação sonora em ambientes urbanos com a presença de telhados verdes ocorre, sobretudo, na faixa de frequências de 500 a 1000Hz com uma redução máxima de 10 dB (A).” Com isso ainda, são apontados que as coberturas convencionais apresentam em média, frequências variando de 2000 a 4000Hz.

Figura 2 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Conforto acústico”.

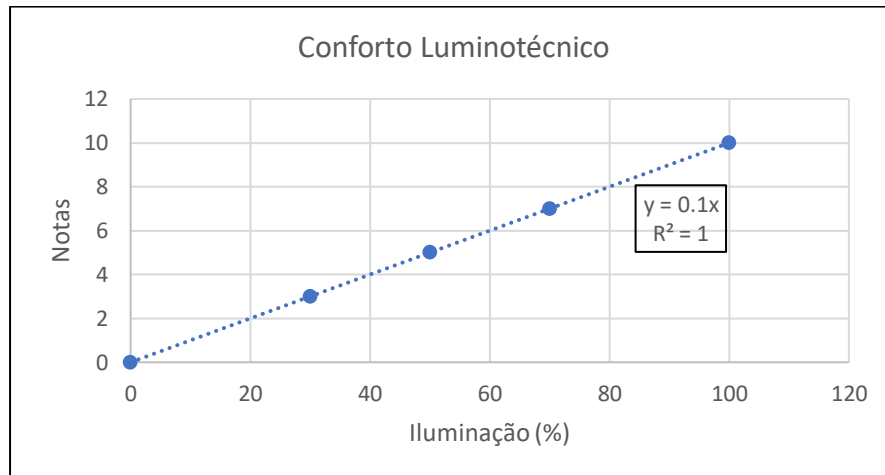


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

● **Conforto luminotécnico**

Considerou-se o caso ideal (Nota 10), como sendo aquela obra com determinada temperatura que apresentar e prover uma melhor iluminação natural, como as coberturas verdes. Já o pior caso (Nota 0), estaria atrelado a cobertura que por um lado embora apresente boa proteção contra intempéries e agentes externos, com relação a iluminação pode ficar a desejar comparada a outro sistema.

Figura 3 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Conforto luminotécnico”.

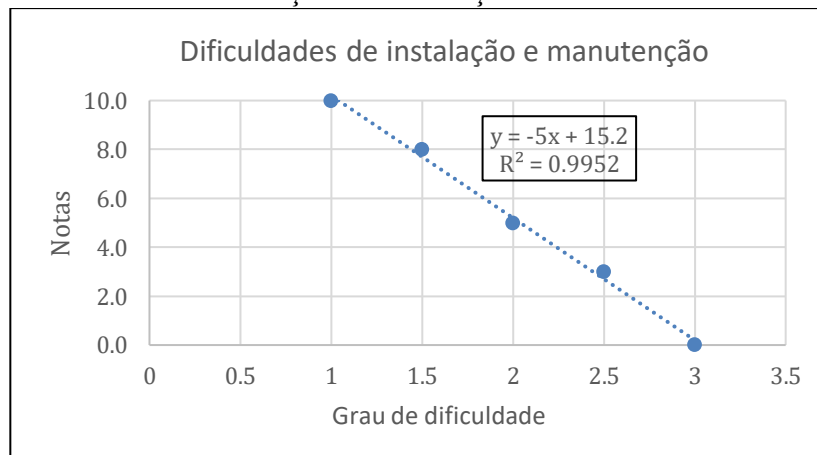


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Dificuldades de instalação e manutenção**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), dentre as duas possibilidades de projeto aquela que demonstrasse menor grau de dificuldade de instalação e manutenção, voltadas para o processo de execução. Já o pior caso (Nota 0), estaria naquela de cobertura que demonstrasse maior dificuldade perante sua execução. Estudos mostram que a telha de fibrocimento apresenta maior facilidade no processo de execução, sendo bem simples. Enquanto isso, as coberturas verdes demandam de equipes e empresas específicas e especializadas na área para seguir com a instalação e futuramente com o procedimento da manutenção. Isto porque é necessário fazer uma adaptação na estrutura física do edifício. Se a cobertura verde for colocada na laje, será preciso impermeabilizá-la, no caso de telhas de cerâmica, será preciso retirá-las e instalar placas de compensado que funcionarão como base para a estrutura vegetal.

Figura 4 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Dificuldades de instalação e manutenção”.

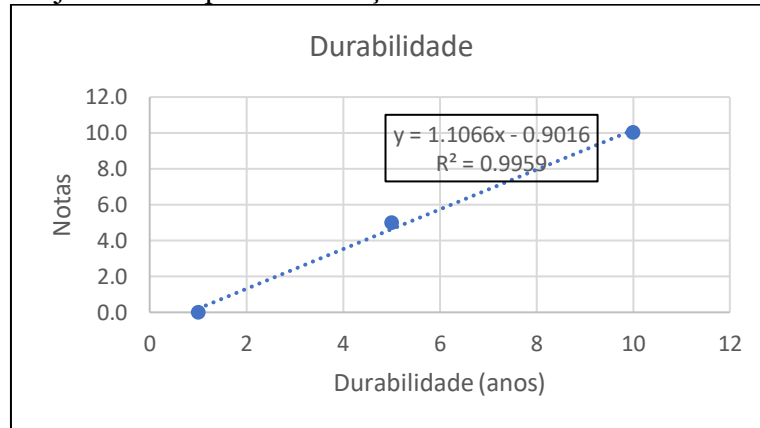


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Durabilidade**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), dentre as duas possibilidades de projeto aquela cobertura com maior tempo de duração. Neste caso, os telhados verdes embora necessitem de cuidados específicos e periódicos, podem durar o dobro, além de proteger a laje concentrando e suportando as diferenças de temperatura e insolação comparados aos telhados convencionais. A Nota 0, pior caso, é atribuída a coberturas as quais não apresentem boa durabilidade. As convencionais apresentam certa durabilidade mesmo que seja menor comparada aos telhados verdes, porém ainda assim é uma boa durabilidade.

Figura 5 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Durabilidade”.



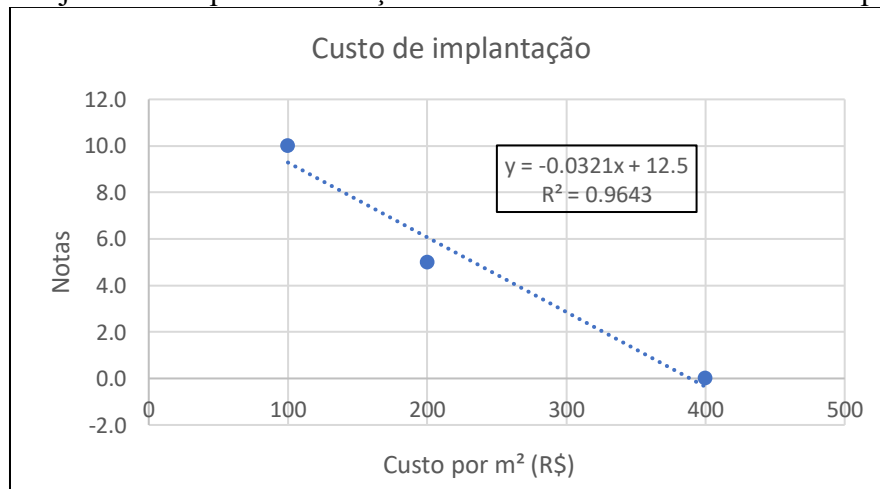
Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Custo de implantação**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), seria aquele em que houvesse o menor custo possível e viável por metro quadrado na construção de uma cobertura. Já o pior caso (Nota 0), estaria relacionado a um padrão inferior, considerando fatores mínimos para se conseguir cobrir uma edificação.

Dentro disso, o telhado verde possui uma variação de preço entre R\$100,00 a 150,00/m² dependendo do tipo e região, e é certamente um custo de implantação inicial maior (geralmente o dobro) do que telhados convencionais ou lajes impermeabilizadas.

Figura 6 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Custo de implantação”.

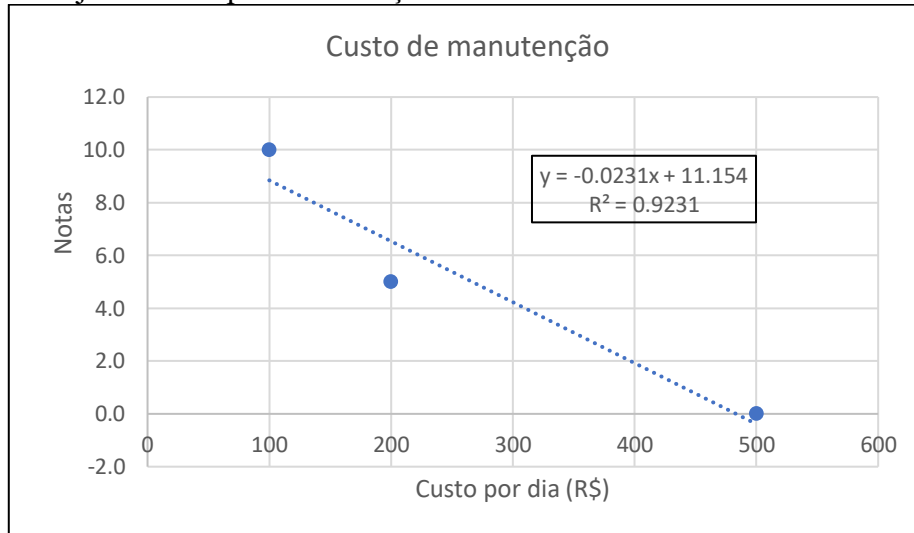


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Custo de manutenção**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), seria a de alternativa com melhor preço no quesito de manutenção. Sabendo que a manutenção em média de telhados convencionais varia entre R\$150,00 e 200,00 por dia, dependendo da necessidade de cuidados e as coberturas verdes demandam de duas a três visitas anuais para manutenção, o custo podendo ser mais caro, porém não necessitando sempre de manutenção, atribui-se a melhor nota aos telhados verdes. Enquanto o pior caso (Nota 0) fica com as coberturas que também saem totalmente desta faixa de valor.

Figura 7 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Custo de manutenção”.

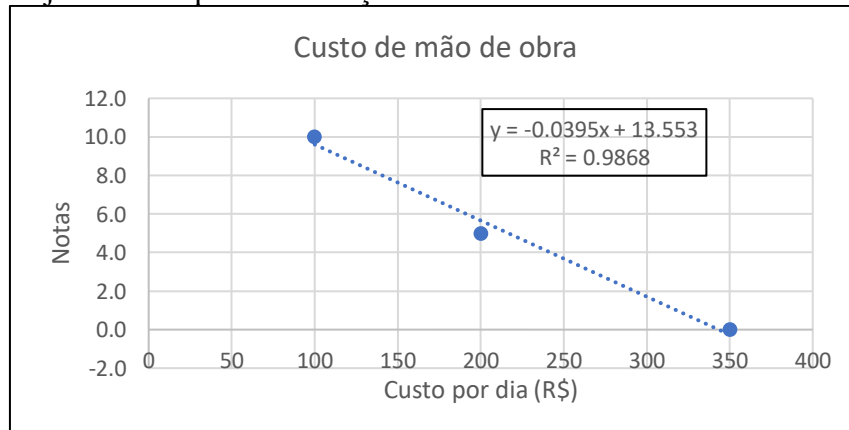


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Custo de mão de obra**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), aquela alternativa com um valor menor de custo por metro quadrado. Já o pior caso, ficou para o custo maior. Neste ponto, as coberturas verdes por demandarem uma mão de obra mais especializada, o custo fica em torno de R\$200,00 a 250,00 por metro quadrado, por isso fica com a pior nota (Nota 0) comparada aos telhados convencionais, uma vez que a mão de obra destes varia de R\$60,00 a 200,00 por metro quadrado.

Figura 8 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Custo de mão de obra”.

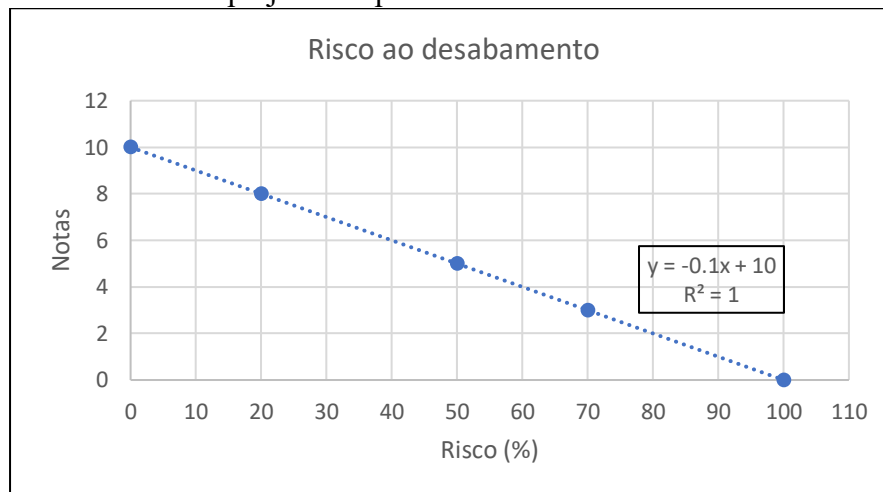


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Risco ao desabamento e prejuízo as pessoas ao redor**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), seria atribuído a cobertura que transpassasse maior segurança e menor risco e possibilidade de desabamento, prejudicando famílias e construções ao redor. Assim, os dois tipos de telhas apresentam riscos, porém os sustentáveis e verdes apresentam menos, uma vez que sua composição é extremamente natural e proveniente de terra, possibilitando métodos de captação de água, entre outros que diminuam riscos de desabamento e qualquer outro tipo de problema. O pior caso fica com os telhados os quais não apresentam nenhum tipo de proteção e traz totais riscos a vida das pessoas que estão abaixo dele (Nota 0).

Figura 9 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Risco ao desabamento e prejuízo as pessoas ao redor”.

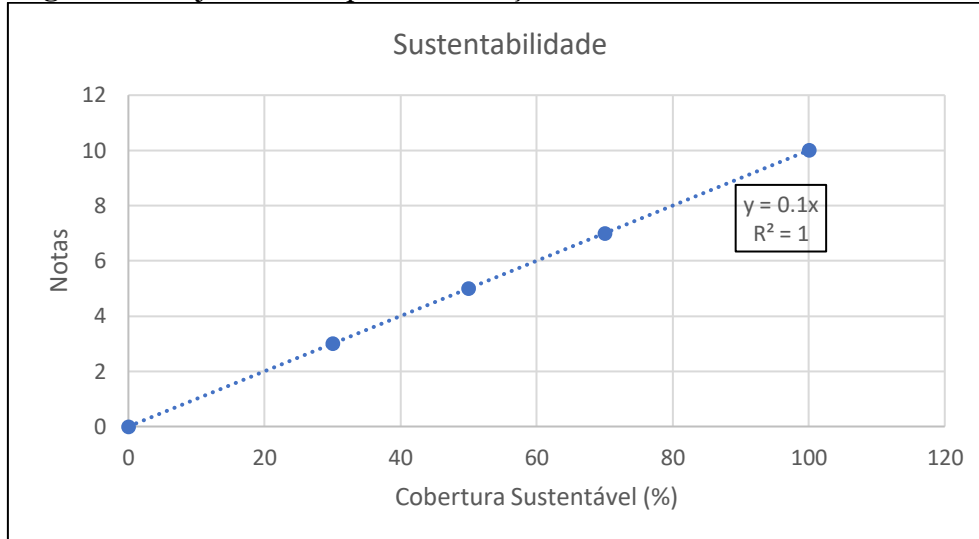


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Sustentabilidade**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), dentre as duas possibilidades de projeto, seria o que apresentasse maiores soluções sustentáveis e ecológicas, possibilitando agregar imagens e mensagens positivas na sociedade e incentivando a população aos cuidados com o meio ambiente. Desta forma, por apresentar inúmeras vantagens ecológicas, a melhor nota é para a alternativa dos telhados verdes. Enquanto o pior caso (Nota 0) fica para àquelas coberturas que não se preocupam nem com o mínimo de solução ecológica.

Figura 10 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Sustentabilidade”.

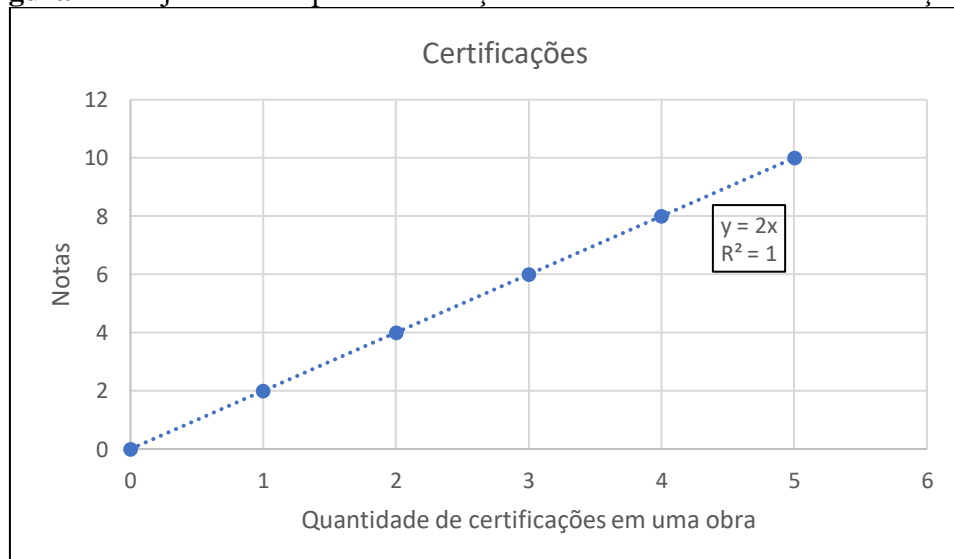


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Certificações**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), representaria dentre as possibilidades, aquela obra e projeto que possibilitasse e alcançasse o objetivo de a construção ter e receber selos e certificações devido a tratar-se de uma construção sustentável. Com isso, a alternativa A mostra melhor e mais ideal solução, devido a ter a possibilidade de conseguir selos como o LEED e ainda receber vantagens como no pagamento de impostos urbanos, enquanto uma alternativa ficaria com a pior nota (Nota 0), por não possuir nada deste benefício.

Figura 11 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Certificações”.



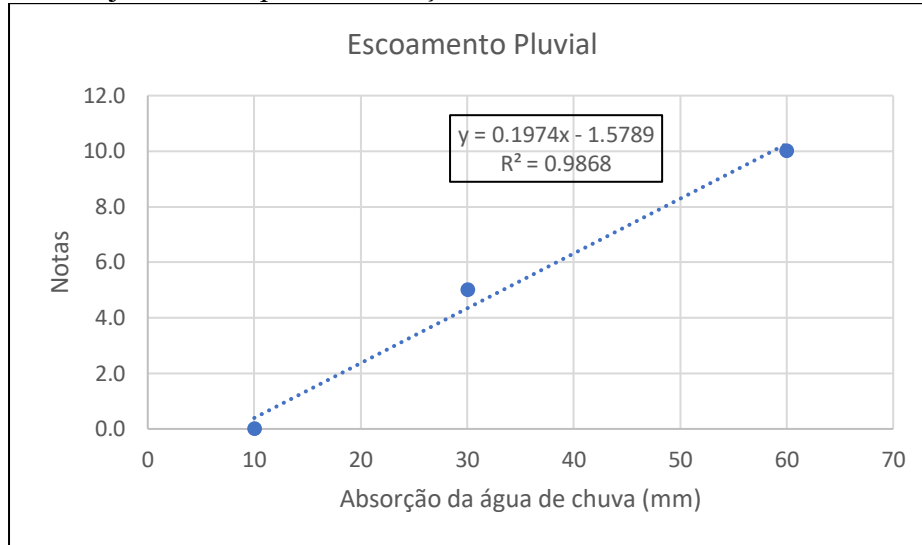
Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Escoamento Pluvial**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), representaria dentre as possibilidades, aquela cobertura e alternativa com melhor solução ecológica perante às águas de chuva. Estudos apontam que há um menor escoamento das águas nos telhados verdes comparados aos

convencionais, chegando até a 50% menos de água escoada. Diante disso, o pior caso (Nota 0) é atribuído ao telhado o qual não absorva praticamente nada da quantidade de água.

Figura 12 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Escoamento Pluvial”.

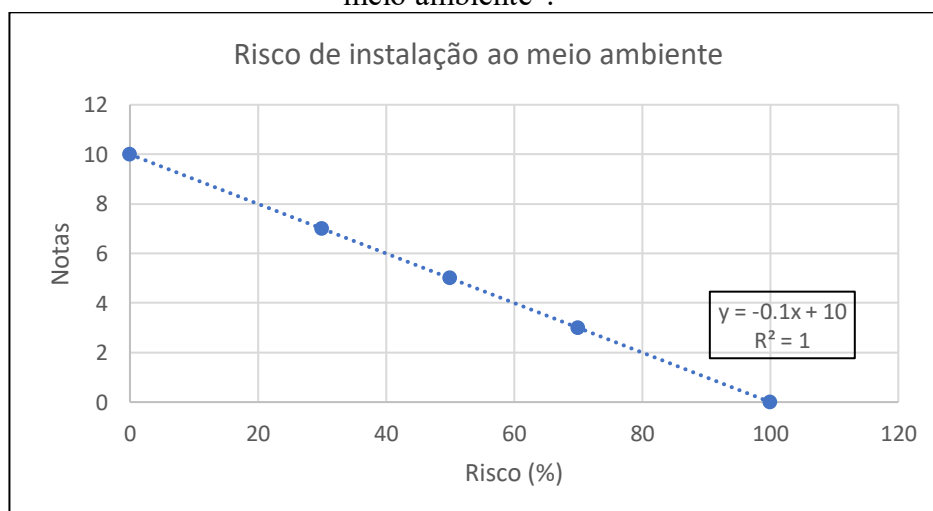


Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

- **Riscos de instalação ao meio ambiente**

Considerou-se que o caso ideal (Nota 10), representaria dentre as possibilidades, aquela voltada para uma preocupação maior com o meio ambiente no momento de instalação. Demandando maiores elementos naturais e ecológicos em sua composição, o telhado verde, mesmo que necessite de uma mão de obra mais especializada e com isso, um custo maior, apresenta menor risco ao meio ambiente no momento de execução e instalação da cobertura, ficando como caso ideal. Já o pior caso (Nota 0), fica com a cobertura que não se preocuparia no momento da instalação com o meio ambiente.

Figura 13 - Ajuste linear para formulação das notas no critério “Riscos de instalação ao meio ambiente”.



Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Apresentados os critérios e seus respectivos gráficos, trazemos um resumo dos limites:

Conforto térmico:

- Nota 0: Temperatura de 14°C ou menos.
- Nota 8,9: Temperatura de 19,6°C (Alternativa B).
- Nota 9,2: Temperatura de 20,2°C (Alternativa A).
- Nota 10: Temperatura de 22°C.

Conforto acústico:

- Nota 0: Frequência de 3000 Hz ou mais. (Alternativa B).
- Nota 10: Frequência de 1500 Hz (Alternativa A).

Conforto luminotécnico:

- Nota 0: Iluminação péssima.
- Nota 3: Iluminação ruim
- Nota 5: Iluminação regular (Alternativa B)
- Nota 7: Iluminação boa (Alternativa A).
- Nota 10: Iluminação ótima.

Dificuldades de instalação e manutenção:

- Nota 0: Difícil
- Nota 5: Moderadamente difícil (Alternativa A).
- Nota 10: Fácil (Alternativa B).

Durabilidade:

- Nota 0: 1 ano
- Nota 5: 5 anos (Alternativa B).
- Nota 10: 10 anos (Alternativa A).

Custo de implantação:

- Nota 0: R\$350,00/m²
- Nota 5: R\$200,00/m² (Alternativa A).
- Nota 10: R\$100,00/m² (Alternativa B).

Custo de manutenção:

- Nota 0: R\$500,00/dia
- Nota 5: R\$200,00/dia (Alternativa A).
- Nota 10: R\$100,00/dia (Alternativa B).

Custo de mão de obra:

- Nota 0: R\$350,00/dia
- Nota 5: R\$200,00/dia (Alternativa A).
- Nota 10: R\$100,00/dia (Alternativa B).

Risco ao desabamento:

- Nota 0: 100%
- Nota 8: 20% (Alternativa A).
- Nota 9: 10% (Alternativa B).
- Nota 10: 0

Sustentabilidade:

- Nota 0: 0
- Nota 3: 30% (Alternativa B).
- Nota 7: 70% (Alternativa A).
- Nota 10: 100%

Certificações:

- Nota 0: 0 (Alternativa B).
- Nota 5: 3 (Alternativa A).
- Nota 10: 5 certificações

Escoamento Pluvial:

- Nota 0: sem absorção
- Nota 5: absorção de 30mm (Alternativa B).
- Nota 10: absorção de 60mm (Alternativa A).

Risco ao meio ambiente:

- Nota 0: 100%
- Nota 5: 50% (Alternativa B).
- Nota 10: 0 (Alternativa A).

Análise do estudo de caso:

Com os critérios definidos, estudados e atribuídos notas a cada um destes, é possível iniciar o processo para a análise multicriterial, a qual utilizará de meios como planilhas formuladas na ferramenta excel.

Para desenvolvimento das planilhas, foi necessário atribuir pesos aos critérios. Para isto, foi realizada uma pesquisa em forma de questionário com uma abordagem para várias pessoas para que fosse obtida uma média geral da percepção individual destas pessoas as quais têm diversos níveis socioeconômicos e de conhecimento. Desta forma, tais percepções influenciam neste tipo de escolha.

A pesquisa buscou coletar diferentes opiniões sobre o grau de importância de cada critério perante a construção de uma cobertura de um edifício. Cada pergunta apontou notas entre 1 e 5, em que a nota mais baixa representou uma relevância menor, enquanto a nota mais alta representou maior relevância. Com os resultados da pesquisa, pôde-se atribuir maior peso (valor 5) aos critérios que obtiveram maior porcentagem opinativa sobre sua relevância e desta maneira, elaborou-se uma matriz de pesos e suas funções de valor, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Pesos e funções de valor de cada critério para cada alternativa considerada.

CRITÉRIOS		MATRIZ DE PESOS E FUNÇÕES DE VALOR			
		PESOS (α)		ALTERNATIVAS	
		ABSOLUTO	RELATIVO	A	B
Conforto	Conforto térmico	5,0	0,09	9,2	8,9
	Conforto acústico	4,0	0,07	10,0	0,0
	Conforto luminotécnico	4,0	0,07	7,0	5,0
Operacional	Dificuldade de instalação e manutenção	5,0	0,09	5,0	10,0
	Durabilidade	5,0	0,09	10,0	5,0
Econômico-Financeiro	Custo de implantação	4,0	0,07	5,0	10,0
	Custo de manutenção	5,0	0,09	5,0	10,0
	Custo de mão de obra	4,0	0,07	5,0	10,0
Sociais	Risco de desabamento e prejuízo as pessoas ao redor	5,0	0,09	8,0	9,0
	A sustentabilidade e as pessoas	3,0	0,05	7,0	3,0
Ambientais	Certificações	3,0	0,05	5,0	0,0
	Escoamento pluvial	5,0	0,09	10,0	5,0
	Riscos de instalação ao meio ambiente	5,0	0,09	10,0	5,0

Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Método CP

Sabendo que este método abrange aquela alternativa que busca a menor distância para a melhor situação, foi realizada a matriz *payoff* conforme o quadro 4. Ainda, destaca-se que este presente método faz uma média ponderada das distâncias, onde é realizada a soma dos pesos dos critérios (α), sendo necessária a padronização dos mesmos. Com isso, analisamos a relevância de cada critério e ao aplicar a fórmula e chegar aos resultados, deve-se fazer a interpretação dos mesmos, escolhendo a menor distância do melhor. Para isso, faz a hierarquização das alternativas, na ordem da melhor para a pior.

Quadro 4 - Matriz de payoff do método CP.

CRITÉRIOS		PESOS (α)		MATRIZ PAYOFF - MÉTODO CP			
				ALTERNATIVAS		CP	
		ABSOLUTO	RELATIVO	A	B	f_i^*	f_i, w
Conforto	Conforto térmico	5,0	0,09	0,00	0,09	9,20	8,90
	Conforto acústico	4,0	0,07	0,00	0,07	10,00	0,00
	Conforto luminotécnico	4,0	0,07	0,00	0,07	7,00	5,00
Operacional	Dificuldade de instalação e manutenção	5,0	0,09	0,09	0,00	10,00	5,00
	Durabilidade	5,0	0,09	0,00	0,09	10,00	5,00
Econômico-Financeiro	Custo de implantação	4,0	0,07	0,07	0,00	10,00	5,00
	Custo de manutenção	5,0	0,09	0,09	0,00	10,00	5,00
	Custo de mão de obra	4,0	0,07	0,07	0,00	10,00	5,00
Sociais	Risco de desabamento e prejuízo as pessoas ao redor	5,0	0,09	0,09	0,00	9,00	8,00
	A sustentabilidade e as pessoas	3,0	0,05	0,00	0,05	7,00	3,00
Ambientais	Certificações	3,0	0,05	0,00	0,05	5,00	0,00
	Escoamento pluvial	5,0	0,09	0,00	0,09	10,00	5,00
	Riscos de instalação ao meio ambiente	5,0	0,09	0,00	0,09	10,00	5,00
		CP:	Is (x) =	0,40	0,60		
			ordem:	1	2		

Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Método CGT

Já ao abordar o método CGT, conceituamos o mesmo como sendo a melhor alternativa aquela em que está mais longe da pior situação. A Teoria dos Jogos Cooperativos é voltada para a resolução e a tomada de decisões, assim como a escolha de determinados conflitos e problemas é realizada através de estudos matemáticos. Os envolvidos nesta resolução se comunicam e entram em acordos. Estes acordos rendem também a uma matriz de avaliação *payoff*, como é demonstrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Matriz de payoff do método CGT.

CRITÉRIOS		PESOS (α)		MATRIZ PAYOFF - MÉTODO CGT		
				ALTERNATIVAS		CGT
		ABSOLUTO	RELATIVO	A	B	f_i^*
Conforto	Conforto térmico	5,0	0,09	1,02	1,00	7,90
	Conforto acústico	4,0	0,07	1,18	1,00	-1,00

**MATRIZ PAYOFF - MÉTODO
CGT**

CRITÉRIOS		PESOS (α)		ALTERNATIVAS		CGT
		ABSOLUTO	RELATIVO	A	B	f_i^*
Operacional	Conforto luminotécnico	4,0	0,07	1,08	1,00	4,00
	Dificuldade de instalação e manutenção	5,0	0,09	1,00	1,17	4,00
	Durabilidade	5,0	0,09	1,17	1,00	4,00
Econômico-Financeiro	Custo de implantação	4,0	0,07	1,00	1,13	4,00
	Custo de manutenção	5,0	0,09	1,00	1,17	4,00
	Custo de mão de obra	4,0	0,07	1,00	1,13	4,00
Sociais	Risco de desabamento e prejuízo as pessoas ao redor	5,0	0,09	1,00	1,06	7,00
	A sustentabilidade e as pessoas	3,0	0,05	1,09	1,00	2,00
Ambientais	Certificações	3,0	0,05	1,10	1,00	-1,00
	Escoamento pluvial	5,0	0,09	1,17	1,00	4,00
	Riscos de instalação ao meio ambiente	5,0	0,09	1,17	1,00	4,00
		CGT:	Is (x) =	2,51	1,87	
			ordem:	1	2	

Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Resultados e Discussão

Com o desenvolvimento dos dois métodos, Programa por Compromisso e Teoria dos Jogos Cooperativos, é possível notar e ter o resultado final de qual alternativa é a ganhadora e apresenta a solução mais próxima daquela que seria considerada como ótima. Diante dos cálculos planejados e expostos na metodologia, verifica-se que tanto pelo método CP quanto pelo método CGT, a alternativa A, ou seja, Telhado Verde, é a solução vista como mais próxima da ideal.

Nota-se que pelo método CP, o resultado que melhor agrada é o menor, $Is(x) = 0,40$. Isto representa a teoria do método na prática, uma vez que este abrange a menor distância para a melhor. Já o método CGT conceitua a maior distância para o pior. Logo, deve-se apresentar o maior valor entre as duas alternativas, o que representaria que este está distante do pior caso analisado. Como mostrado, este método apontou um valor de $Is(x) = 2,51$ para a alternativa A, sendo o maior entre ambas.

A Tabela 1 mostra o resumo e resultado final de ambos os métodos juntos. Além disso, ressalta-se que tais métodos fortalecem a tomada de decisão ao utilizar diferentes critérios e suas respectivas relevâncias, sendo que o resultado em questão se justifica matematicamente, considerando todos os dados disponíveis que foram inseridos ao longo do projeto.

Tabela 1 - Método Multicriterial e Classificação.

Método	Is (x)		Ordem	
	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa A	Alternativa B
CP	0,4	0,6	1	2
CGT	2,51	1,87	1	2

Fonte: Elaborado pelas autoras, a partir do estudo de caso entre telhado verde e telhado convencional, 2021.

Além disso, a Tabela 1 demonstra de forma comparativa os resultados obtidos pelos dois métodos e ainda aponta a ordem de cada alternativa. Esta, por sua vez, representa qual alternativa ganhou e qual não alcançou o melhor resultado, sendo apontado de forma numérica, como por exemplo primeiro e segundo lugar.

Conclusões

Este trabalho de graduação buscou apresentar uma cobertura ecológica e sustentável, a qual traz benefícios e vantagens, como os confortos térmico e acústico, a retenção da água de chuva que impede a ocorrência de enchentes, além de apresentar uma boa estética, reduzir as ilhas de calor em centros urbanos e ter uma ótima durabilidade, sem necessidade de muitas manutenções. Em contrapartida, temos as coberturas convencionais, as quais apresentam baixo custo e com isso, sua utilização torna-se frequente na construção civil.

Deste modo, o objetivo do trabalho foi realizar uma análise comparativa e crítica a partir dos dois tipos de coberturas, de forma que ao final, fosse possível ter uma solução e escolha de qual telhado seria o mais ideal para utilização. Para esta escolha, foram estudados os métodos multicriteriais, os quais buscam por meio de fórmulas matemáticas, a melhor decisão a ser tomada.

A partir do cálculo planilhado e apresentado neste artigo, foi notado que entre as duas alternativas estudadas, a que melhor demonstrou soluções ideais foi a alternativa que corresponde ao telhado verde. Isto tanto para o método que busca a menor distância para a melhor solução (CP) quanto para o método que é voltado para a maior distância para o pior resultado (CGT). Ainda, é inferido que este tipo de cobertura, portanto, mostrou um melhor desempenho global de acordo com os critérios.

Diante disso, conclui-se que o método multicriterial é interessante do ponto de vista de se ter diversos critérios avaliados e não simplesmente um critério econômico e financeiro como são analisados comumente em trabalhos e estudos comparativos. Com este tipo de análise, é possível observar outras características que normalmente não seriam abordadas. Os critérios aqui estabelecidos, como os que abrangem o conforto, os operacionais, os econômicos, ambientais e sociais possibilitam realizar uma tomada de decisão e escolha mais fundamentada e criteriosa. Assim, é apontado de forma mais coerente e eficiente qual a melhor solução a ser investida a longo prazo.

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço a Deus por me permitir cursar Engenharia Civil e sempre me dar forças para continuar. Aos meus pais, Silvana e Marcos, por me darem todo o apoio, compreensão, confiança e incentivo no meu progresso como pessoa e futura profissional. Às minhas irmãs, Giulia e Juliana por sempre estarem ao meu lado e me darem forças nos momentos que precisei. Ao meu namorado e companheiro de faculdade, Rodrigo, por me acompanhar nessa caminhada, sempre me incentivar e me acalmar em situações difíceis. Agradeço imensamente à minha parceira, Thaís, pela troca sincera que tivemos durante esses



cinco anos e pela dedicação com este trabalho. Obrigada por deixar tudo mais leve. À todo o corpo docente da universidade que contribuiu nesta trajetória, aos meus amigos e também futuros engenheiros que fizeram tudo valer a pena. Em especial, agradeço ao meu orientador, Heitor Berger Campos que nos auxiliou da melhor e mais sábia maneira. Obrigada professor, por ter aceitado nos orientar, por todo o ensinamento, paciência e incansável dedicação.

Giovana Tafuri Franco

Ser engenheira é um sonho que iniciou-se a anos atrás e esse sonho está prestes a se realizar e tenho muito o que agradecer pela trajetória que trilhei ao decorrer destes cinco anos e também as pessoas que foram essenciais para que esse sonho se tornasse realidade. Agradeço, primeiramente, a Deus por ter iluminado e abençoado meu caminho e ter me proporcionado chegar até aqui e de enfrentar as dificuldades e obstáculos que existiram ao decorrer do curso. Agradeço aos meus pais Cássia e Cláudio, por todo o apoio, paciência e confiança, além de nunca medirem esforços para que esse sonho se tornasse realidade. Obrigada por acreditarem em mim e sem vocês nada disso seria possível. Agradeço ao meu namorado, Leonardo, que está comigo desde o início dessa trajetória e que sempre me apoia e incentiva para seguir em frente. Aos meus familiares e amigos, que de alguma forma me apoiaram e ajudaram na participação da realização desse sonho e estarem comigo sempre. Agradeço à minha parceira deste trabalho que está comigo desde o início da graduação, Giovana Tafuri obrigada pela amizade, paciência e companheirismo, sem você a caminhada não seria a mesma. E por fim, gostaria de agradecer a todos os professores e colegas da Universidade São Francisco, em especial ao nosso orientador Heitor Berger Campos por ter aceitado esse desafio e ter contribuído com seu conhecimento, atenção e orientação para a realização deste trabalho.

Thaís Adriane de Souza Treinoti

Referências Bibliográficas

FEIJÓ, Catarina Schmitz. **Copenhague é a segunda cidade no mundo a tornar obrigatórios os telhados verdes.** 10 de dez de 2015. Disponível em: <https://ecotelhado.com/copenhague-e-a-segunda-cidade-no-mundo-a-tornar-obrigatorios-os-telhados-verdes/>. Acesso em: 05 de mai. 2021.

GERSON, M.; DUCKSTEIN, L. **Abordagens multiobjetivo para o planejamento de bacias hidrográficas.** Revista de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos, 109, p. 13-28, 1983.

GESTÃO AMBIENTAL. **Análise de decisão multicritério.** Disponível em: https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH723/TH723_08_Multicriterio.pdf. Acesso em: 24 mar. 2021.

MARONEZ, Keity M.; CARRARO, Marina E. **Análise do telhado verde em relação ao telhado convencional quanto ao conforto térmico e retenção de água pluvial.** Medianeira, 2017. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/14124/1/an%C3%A1lise%20telhadoconforto%20%C3%A1gua.pdf>. Acesso em: 21 de abr. 2021.

PIOVESAN, Tenile R. **Caracterização acústica de dois sistemas modulares de telhados verdes brasileiros.** Santa Maria, 2013. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7843/PIOVESAN%2C%20TENILE%20RIEGER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 de out. 2021.

PORTAL ACUSTICA. **Infraestruturas verdes: qualidade acústica associada a sistemas de parede e telhado verdes.** 2019. Disponível em: <http://portalacustica.info/infraestruturas-verdes-qualidade-acustica-associada-a-sistemas-de-parede-e-telhado-verdes/>. Acesso em: 09 de out. 2021.

QUALIDADEONLINE. **As normas técnicas para as telhas de fibrocimento.** 08 de out. de 2014. Disponível em: <https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/10/08/as-normas-tecnicas-para-as-telhas-de-fibrocimento/>. Acesso em: 02 mai. 2021.

QUINTELLA, Maria Tereza. **A origem dos telhados verdes.** 12 de mar de 2012. Disponível em: <http://telhadoscriativos.blogspot.com/2012/03/origem-dos-telhados-verdes.html?m=1>. Acesso em: 05 de mai. de 2021.

ROSA, Altair. **Rede de governança ambiental na cidade de Curitiba e o papel das tecnologias de informação e comunicação.** Curitiba, 2007. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-65743/rede-de-governanca-ambiental-na-cidade-de-curitiba-e-o-papel-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao>. Acesso em: 18 de mai. 2021.

SILVA, Luciano Segundo. **Evolução dos sistemas de coberturas utilizados no Brasil.** 28 de junho de 2005. Disponível em: <https://silو.tips/download/evoluao-dos-sistemas-de-coberturas-utilizados-no-brasil>. Acesso em: 28 de abr. de 2021.

SILVA, Luis E.; REIS, Sara B. **Telhado verde: uma análise comparativa de custos e vantagens em relação ao telhado convencional.** Goianésia, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96343>. Acesso em: 08 de jun. 2021.

UGREEN. **Telhado Verde: Uma Estratégia Com Vantagens Diversas.** 2019. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/telhado-verde/>. Acesso em: 14 de out. 2021.

VIEIRA, Guilherme L. **Análise da temperatura e do escoamento de água pluvial em protótipo de telhado verde em relação aos telhados convencionais.** Medianeira, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12563/1/escoamentotemperaturaaguatelhado.pdf>. Acesso em: 14 de out. 2021.

VIEIRA, Zacarias Caetano. SANTOS, Sheila Costa dos. SILVA, Givaldo Barbosa da. DANTAS, Karinne Santiago. ALBUQUERQUE, Eugênio Figueiredo de. **Simulação do uso de telhados verdes prontos para atenuação de enchentes urbanas: o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe como estudo de caso.** Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/10yNISdbLEroUv2cYCarHj8r8wYikbxQQ/view?usp=drivesdk>. Acesso em: 16 de abril de 2020.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F H. **Aplicação de Métodos Multicriteriais ao Planejamento de Recursos Hídricos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.