

ANALISE DE PROPOSTA DE TELHADO VERDE EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR PARA MELHORIA DO CONFORTO TÉRMICO E REDUÇÃO DO ESCOAMENTO PLUVIAL EM PERI MIRIM-MA

DOI: <https://doi.org/10.16891/2317-434X.v11.e3.a2023.pp2937-2945> Recebido em: 27.06.2023 | Aceito em: 12.07.2023

Alessandro Resende Machado^a, Derek França Ribeiro^a, Otávio Henrique Carvalho Costa^a

Universidade Ceuma^a

**E-mail: alessandrorm@hotmail.com*

RESUMO

Ao longo dos anos a sociedade tem crescido e construído seus lares em espaços que anteriormente eram ocupados pela fauna e flora. Grande parte dos centros urbanos estão rodeados por telhados cobertos de telhas cerâmicas, que é um método construtivo antigo e que traz algumas problemáticas, como o aumento da temperatura e contribui para enchentes causadas pela superfície impermeável gerando alta vazão de escoamento da água pluvial. Com isso, surge a alternativa do telhado verde, um método construtivo que visa amenizar os problemas existentes no telhado cerâmico. Esta pesquisa tem como objetivo analisar o desempenho do telhado verde em comparação com o convencional cerâmico na melhoria das condições térmicas e redução do escoamento superficial pluviométrico em uma residência unifamiliar no município de Peri Mirim - MA. Para isso, a verificação das condições térmicas foi feita através do programa Energyplus para determinar a condutância e inércia térmica do telhado verde e do telhado convencional, associando ao local de estudo. Em seguida, foi verificado o quanto cada um consegue reter de água pluvial, para isso, foi realizado um cálculo de vazão de cada tipo de telhado analisado, levando em conta o coeficiente de Runoff que considera a permeabilidade das superfícies. No fim da pesquisa, os objetivos foram alcançados, o telhado verde conseguiu reduzir em mais de 70% a vazão da água pluvial e houve uma redução de 7°C no pico máximo de temperatura, entretanto, o telhado verde não conseguiu ficar no padrão normativo de temperatura ideal para ambientes fechados.

Palavras-chave: Telhado verde; Temperatura; Águas pluviais; Telhado convencional.

ABSTRACT

Over the years society has grown and built its homes in spaces that were previously occupied by fauna and flora. Most of the urban centers are surrounded by roofs covered with ceramic tiles, which is an old construction method and that brings some problems, such as the increase in temperature and contributes to floods caused by the impermeable surface, generating a high flow of rainwater. With this, the alternative of the green roof appears, a constructive method that aims to alleviate the existing problems in the ceramic roof. This research aims to analyze the performance of the green roof compared to the conventional ceramic roof in improving thermal conditions and reducing rainfall runoff in a single-family residence in the municipality of Peri Mirim-MA. For this, the verification of the thermal conditions was done through the Energyplus program to determine the thermal conductance and inertia of the green roof and the conventional roof, associating it with the study site. Then, it was verified how much each one can retain rainwater, for this, a flow calculation was performed for each type of roof analyzed, taking into account the Runoff coefficient that considers the permeability of the surfaces. At the end of the research, the objectives were achieved, the green roof was able to reduce the flow of rainwater by more than 70% and there was a 7°C reduction in the maximum temperature peak, however, the green roof was not able to stay within the normative temperature standard ideal for indoor environments.

Keywords: Green roof; Temperature; Rainwater; Conventional roof.

INTRODUÇÃO

Os humanos, desde o início dos tempos, sempre procuravam algo para servir como abrigo, das intempéries e prover alguma proteção, na pré-história era em cavernas, depois foram evoluindo e começaram a construir as primeiras moradias com galhos e folhas. Desse modo, ao longo dos anos os humanos foram capazes de grandes avanços e aprimorar as técnicas aplicadas na construção civil. Nos dias atuais já há milhares de métodos construtivos, um para cada tipo de necessidade.

Um dos tipos de telhados mais usados atualmente é o de telha cerâmica que possui uma técnica de fácil execução e baixo custo. Porém, apesar de ser consolidado no mercado, não consegue obter um desempenho adequado no conforto térmico aos seus usuários e por ser um material cerâmico é frágil e pesado, necessita de manutenções frequentes. Outra desvantagem é o fato de que esta indústria é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa, produzindo anualmente de toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Isso se deve principalmente à tecnologia e energia empregadas na queima de fornos e à energia utilizada nas operações de secagem e moldagem (ZIEGEL, 2021).

Com isso, tem-se como alternativa ao convencional telhado com telhas cerâmicas, o telhado verde, um método ecológico e que promete muitas melhorias ao meio ambiente. Os telhados verdes são projetados e implementados como ecossistemas artificiais que melhoram a sustentabilidade urbana, desempenhando inúmeras funções e fornecendo uma vasta gama de serviços e benefícios interagindo em várias escalas (VIJAYARAGHAVAN, 2016). Este telhado é um método construtivo em que se usa vegetação em sua cobertura simulando um ambiente mais naturalizado. Essa proposta, que vem ganhando cada vez mais destaque, busca tornar as construções ecologicamente mais corretas fazendo o uso de plantações e com foco em permeabilização da água pluvial, conforto térmico, acústico e com uma estética diferenciada e agradável (VERA et al., 2018).

Para essa técnica ser utilizada, é necessário levar em conta alguns entendimentos, como o de drenagem e impermeabilidade, pois o telhado verde precisa cumprir o objetivo de um telhado comum, que é proteger a residência das intempéries, por isso, o telhado verde é dividido em várias camadas que trabalham juntas para, então, cumprir esse e outros objetivos. Assim, o telhado verde é composto por diferentes camadas que permitam que a vegetação cresça e impeça que a edificação sofra infiltrações (LEITE, 2019; MELO, 2021).

Desse modo, há diversas vantagens ao escolher o telhado verde como sua cobertura de acordo com possibilita maior conforto térmico e acústico ao ambiente, reduzindo os efeitos da ilha de calor (MAZZEO et al. 2023; QUARANTA et al., 2021), retêm as águas pluviais urbanas, mitigando alagamentos (BISWAL et al. 2022), nesse local haverá uma menor poluição do ar, pois as plantas estarão realizando fotossíntese e liberando gás oxigênio no ambiente (ARBID et al, 2021), reduzem o consumo de energia para aquecimento e arrefecimento dos edifícios (CASCONI; GAGLIANO, 2023; BEVILACQUA, 2021) e aumentam a biodiversidade das espécies urbanas (WANG et al. 2022).

Porém, assim como todas as outras técnicas construtivas, o telhado verde possui também algumas desvantagens, que de acordo como mesmo autor, são: custo de obra especializada, pois não há muitos profissionais que saibam executar um serviço nessa construção, tornando-se caro, tanto para construção quanto para manutenção, além disso, um outro fator que age negativamente é o alto número de manutenções nos primeiros meses após a obra ser finalizada, pois as plantas passam por um tempo de adaptação e é necessário cumprir todos os prazos, caso contrário o investimento pode sofrer um acréscimo (ANVERSA, 2020).

Apesar disso, este método tem um grande potencial para ser aplicada em residências de cidades como em Peri Mirim – MA, situada no nordeste brasileiro, em uma região que possui temperaturas elevadas. Além disso, poderia auxiliar em melhorias na drenagem urbana, uma vez que, há uma defasagem de investimento no setor, impactando negativamente a população em períodos chuvosos.

Nesse sentido, apesar do grande potencial do telhado verde, os habitantes do referido município fazem o uso das técnicas convencionais da construção civil que potencializam o desconforto térmico no verão e com problemas de enchentes e casas alagadas no inverno. Com isso, a substituição do telhado convencional pelo telhado verde se torna uma proposta para atenuar os problemas da alta temperatura ambiente e da drenagem pluvial.

Diante do exposto, o telhado verde objetiva a plantação de árvores de pequeno a grande porte nas coberturas da edificação (KRUGER, 2020), assim, transformando o local em áreas verdes promovendo melhorias climáticas, paisagismos, entre outros aspectos.

A pesquisa foi desenvolvida com objetivo de analisar o desempenho do telhado verde em comparação com o convencional cerâmico na melhoria das condições térmicas e redução do escoamento superficial pluviométrico em uma residência unifamiliar no

município de Peri Mirim - MA.

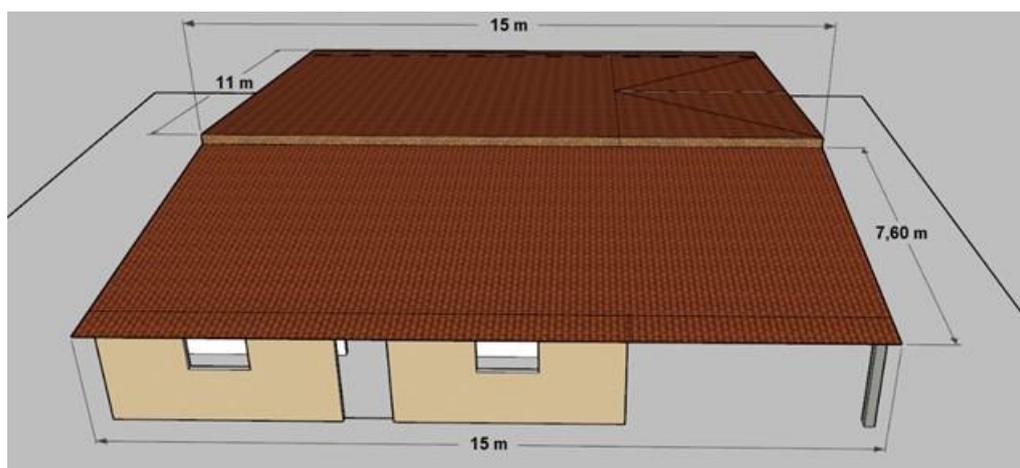
2 Metodologia/Material e Métodos

Este projeto de pesquisa consiste em analisar propostas de melhorias em uma residência em Peri Mirim – MA, a qual tem-se o intuito de verificar a adequabilidade na substituição de um telhado convencional de telha cerâmica por um telhado verde. A pesquisa foi realizada com o foco sobre duas verificações, a temperatura ambiente da casa e a água pluvial que é despejada pelo telhado, buscando-se fazer uma comparação dos dados de uma residência que possui um telhado convencional em relação a essa mesma casa com um hipotético telhado

verde e, então, saber qual dos dois métodos seria o mais indicado para o uso.

A casa em questão possui cerca de 255 m² e conta com uma sala, três quartos, dois banheiros, uma cozinha, uma área de vivência, uma copa, uma garagem e uma lavanderia. A casa possui forro de PVC em todos os cômodos citados, com exceção da lavanderia e da garagem. Seu telhado é todo em telhas cerâmicas e possui ainda uma estrutura de madeira. O telhado verde será proposto para toda essa área, a qual é mostrada na Imagem 1, a vista em 3D.

Imagem 1 – Vista em 3D da residência de estudo em Peri Mirim



O telhado verde conta com três tipos, que são o extensivo, o intensivo e o semi-extensivo. A partir disso, o sistema extensivo foi o escolhido para ser adotado para objeto de análise e comparação, pois ele é o mais simples dos três tipos, aceita vegetação rasteira e de pequeno porte, logo, não precisando ficar regando e podando, além de ser o sistema que menos necessita de manutenção.

Temperatura Ambiente

Em relação a temperatura, será feito com base na temperatura padrão de Peri Mirim, que gira em torno dos 32°C (ACCUWAETHER, 2022). Será utilizado o programa computacional Energyplus para realizar uma simulação e levantar os dados de carga térmica que os dois tipos de telhados produzem nessa residência. Após isso, será feita uma comparação dos dados para se saber qual método construtivo é melhor em relação a esse ponto.

O programa Energyplus trabalhará em conjunto

com um outro programa, que é o SketchUp, este servirá para modelar a residência com os dois tipos de telhados, entregando os dois projetos em 3D para uma melhor visualização e detalhamento, enquanto o Energyplus se concentrará em calcular todas especificações de cada método construtivo, entregando os valores da temperatura a cada uma hora durante todo um dia em formas numéricas e gráficas, assim, possibilitando de realizar a comparação dos dados e saber o modelo mais eficiente.

Vazão da Água Pluvial

Para a determinação da quantidade de água escoada pelo telhado convencional e pelo telhado verde, será realizado um cálculo de vazão de escoamento superficial, que faz parte de uma das etapas do ciclo hidrológico, basicamente, é o trajeto feito pela parcela da água que após a sua precipitação escorre superficialmente (CARVALHO; SILVA, 2006; SANTOS, 2013).

Para o estudo em questão, a vazão de escoamento superficial foi determinada pela equação 1, que serve para encontrar a vazão de escoamento superficial e sendo complementado pela equação 2, em que será obtido a intensidade pluviométrica e a equação 3, que servirá para obter a área do telhado.

A vazão de escoamento superficial é mostrada na equação 1, segundo Santos (2013).

$$Q = C * I * A \quad (1)$$

Em que, Q= vazão do projeto (m³/s); C= coeficiente de Runoff; I= intensidade pluviométrica (m/s); A= área de contribuição (m²).

Para se obter o coeficiente de Runoff, é necessário o conhecimento da permeabilidade da superfície de estudo. Desse modo, segundo Tomaz (2009 apud Leed existing buildings, 2009), para locais compostos por telhas cerâmicas deve-se variar entre 0,8 e 0,9. Para o telhado verde, pode-se verificar os valores na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de Runoff

Tipo de superfície	Coeficiente de Runoff
Telhado verde < 10cm	0,5
Telhado verde entre 10cm e 20cm	0,3
Telhado verde entre 20 cm e 50cm	0,2
Telhado verde > 50cm	0,1

Fonte: Tomaz (2009 apud Leed existing buildings, 2009)

A intensidade pluviométrica, segundo Koerich (2022), é determinada pela equação 2.

$$I = \frac{K * TR^a}{(t+b)^c} \quad (2)$$

Em que, I= intensidade pluviométrica (mm/h); TR= período de retorno (anos); t= duração de precipitação (minutos); K, a, b e c = parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

Os parâmetros de ajuste k, a, b e c são tabelados, considerando a região de estudo. Desse modo, pode ser verificado na tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros (K, a, b e c) da equação de intensidade pluviométrica ajustados por regressão linear

Código	Município	Latitude	Longitude	k	a	b	c	r ²
244000	Bequimão	-2,45	-44,8	692,31	0,211	10	0,742	0,99

Fonte: Adaptado de Campos et al. (2015)

Em relação a área de contribuição, foi considerado o formato do telhado, como na residência em estudo possuem formas retangulares e quadrada, a área de contribuição será determinado pela equação 3.

$$A = b * h * F \quad (3)$$

Em que, A= área do telhado (m²); b= largura (m); h= comprimento (m); F= Fator de inclinação (adimensional).

O coeficiente F, que faz referência a inclinação do telhado, dependerá do grau de inclinação do telhado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Telhado Verde

A pesquisa foi realizada com base em dois critérios avaliativos para o telhado verde, o conforto térmico e a redução da vazão de escoamento da água pluvial, em que foi analisado o quão melhor e mais eficiente seria em comparação ao telhado convencional de telha cerâmica.

Uma vez que o telhado vai ser adotado em toda a extensão da casa e ela possui 15 m de largura e 17 m de comprimento, ele possuirá uma área de 255 m² e será plano. Foi escolhido para essa residência o telhado verde

com o sistema extensivo, pois esse sistema é o mais leve dos três disponíveis e é o que menos precisa de manutenção. A partir disso, será adotado vegetação rasteira que é a indicada para esse sistema em questão, assim, não vai ser necessário realizar a poda com frequência. O telhado verde possuirá uma altura de 10 cm a 20 cm contando com todas as suas camadas e vegetação.

É importante salientar que o telhado verde poderia servir para ajudar em outros casos, como em fornecer um maior conforto acústico para a edificação e tornar o ar da região mais limpo, porém, se tratando especificamente da região de Peri Mirim, esses dois casos se tornam irrelevantes por conta que a cidade em si já proporciona essas melhorias, pois o município é rodeado por campos e uma grande flora, assim já fornecendo um ar mais limpo e ele não possui grandes avenidas e nem uma quantidade grande de carros e motos, dessa forma, não oferecendo aos seus habitantes um possível desconforto acústico.

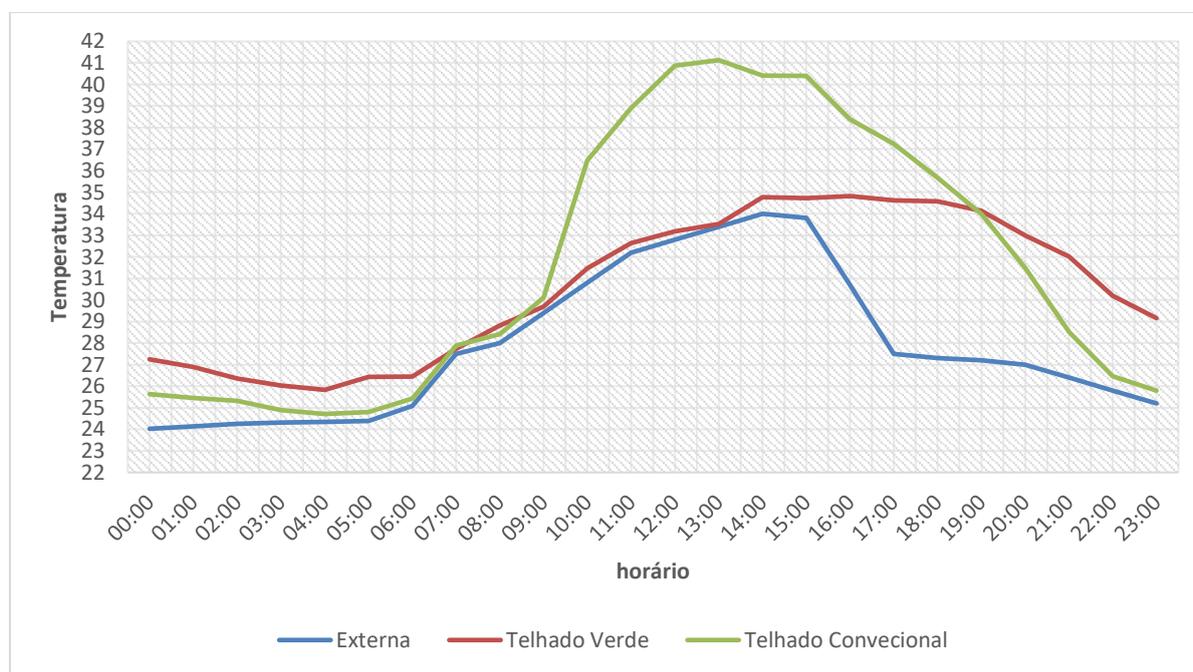
Temperatura Ambiente

A análise de conforto térmico focou em saber qual telhado permite que a edificação sustente uma temperatura próxima da considerada ideal ou que mais se aproxime dela sem necessitar da utilização de aparelhos refrigeradores, como ventilador e ar-condicionado.

Para a realização das simulações foram utilizados os valores de tempo e geografia referentes a cidade de São Luís - MA, pois os valores para a cidade de Peri Mirim - MA não estão disponíveis. A cidade de São Luís foi a escolhida para fornecer os valores pois é a mais próxima de Peri Mirim, dentre as que possuem os dados necessários disponíveis.

No Gráfico 1 é possível visualizar como se comportam a temperatura na residência com o telhado verde e o telhado convencional de telha cerâmica em um dia na cidade de Peri Mirim.

Gráfico 1 – Temperatura diária externa à residência e interna com o telhado verde e convencional



A temperatura externa inicia o dia marcando 24°C e finaliza com 25°C, e seu pico máximo seria por volta das 14h onde marcaria um total de 34°C, temperatura essa que é próxima da média da cidade de Peri Mirim, que é por volta dos 32°C.

O telhado convencional por sua vez, inicia e finaliza o dia com temperaturas próximas da marcada pela

externa, com 25°C em ambos os casos, porém, quando se trata do seu pico máximo a diferença aumenta, onde ele chega a marcar 41°C às 13h.

Em relação ao telhado verde, o seu pico máximo é próximo da temperatura externa, marcando 34°C às 16h. Com isso, nota-se que a diferença de picos máximos entre o telhado verde o telhado convencional é de 7°C, e isso é

possível por conta da condutância térmica, em que o telhado verde possui um valor menor do que o telhado convencional, assim tornando ele um isolante térmico mais eficiente.

É possível perceber outro fator também, o pico do telhado verde é mais espaçado, mantendo temperaturas próximas durante a tarde e início da noite, e isso ocorre por conta da inércia térmica, onde o telhado verde retém a energia solar durante algumas horas e vai liberando-a aos poucos para dentro da edificação, diferentemente do telhado convencional que realiza isso de forma mais rápida e como consequência faz com que o valor da temperatura em seu pico máximo seja tão extremo.

Portanto, foi possível constatar que o telhado verde oferece um conforto térmico melhor, principalmente na parte do dia onde as temperaturas estão mais elevadas, do que o telhado convencional, porém o telhado verde não conseguiu ficar dentro da média de temperatura ideal que a norma ABNT NBR 16401-2 (2008) diz ser de 22,5°C a 25,5°C com umidade relativa do ar em 65% e de 23°C a 26°C com umidade relativa do ar em 35% no verão, e de 21°C a 23,5°C com umidade relativa do ar em 60% e de 21,5°C a 24°C com umidade relativa do ar em 30%, no inverno.

Apesar do telhado verde não conseguir ficar dentro dos padrões normativos, ele está bem mais próximo do que o telhado convencional e isso quer dizer que, se a residência de estudo possuísse esse método construtivo, ela precisaria de menos energia elétrica para ser climatizada, dessa forma, fazendo com que houvesse diminuição na conta de energia elétrica.

Vazão da Água Pluvial

Para uma maior contenção da água pluvial, a pesquisa focou em saber quanto o telhado verde proporciona de redução de despejo da água de chuva em relação ao telhado convencional, pois como a cidade não conta com dispositivos para drenar adequadamente as águas pluviais e uma vazão menor serviria para atenuar os picos de escoamento superficial após as chuvas.

Para a realização do cálculo de vazão para o telhado verde e convencional inicialmente foi necessário definir a precipitação. Para o telhado verde, foi realizado o cálculo da intensidade pluviométrica que é indicado na equação 2. Para as variáveis de ajuste local foi utilizado os dados referentes ao município de Bequimão - MA, por ser o município mais próximo de Peri Mirim - MA, sendo que esta não possui os dados necessários para a realização dos cálculos. Desse modo os valores de K, a, b e c são respectivamente 692,310; 0,221; 10 e 0,742, obtidos da

tabela 2.

Em relação ao valor do tempo de retorno (TR) foi utilizado 5 anos, pois é um valor fixado pela ABNT NBR 10844 (1989) para ser usado em casos de coberturas e/ou terraços, essa norma também estipula que para o tempo de precipitação (t) também deve estar fixado em 5 minutos. Assim, o valor da intensidade pluviométrica é de 130,35 mm/h ou, convertido para m/s resulta em $3,62 \times 10^{-5}$ m/s, como mostra a aplicação da equação 2 mostrado abaixo.

$$I = \frac{K \cdot TR^a}{(t+b)^c}$$

$$I = \frac{692,310 \cdot 5^{0,211}}{(5+10)^{0,742}}$$

$$I = 130,35 \text{ mm/h} = 3,62 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

Em seguida, foi feito o cálculo da área de contribuição em que foi utilizado a equação 3, em que para a largura (b) foi utilizado o valor de 15m e para o comprimento (h) foi adotado o valor de 17m, no entanto, como o telhado verde é plano, o coeficiente F que diz respeito a inclinação do telhado foi desconsiderado, dessa forma, a área de contribuição do telhado verde possui um valor de 255m², como indica o cálculo da equação 3 abaixo.

$$A = b \cdot h$$

$$A = 15 \cdot 17$$

$$A = 255 \text{ m}^2$$

E por fim, o coeficiente C de Runoff foi retirado da tabela 1 e ele é igual a 0,30 que diz respeito a telhados verdes entre 10cm e 20cm, pois o telhado verde que está sendo estudado é do tipo extensivo e se encaixa nesse padrão.

Após essa coleta de dados, foi feito o cálculo da vazão escoamento superficial que é representada pela equação 1 como é indicado abaixo e foi achado um valor de $2,77 \times 10^{-3}$ m³/s.

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

$$Q = 0,3 \cdot 3,62 \times 10^{-5} \cdot 255$$

$$Q = 2,77 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Já para o telhado convencional os dados foram obtidos de uma maneira semelhantes, o resultado da

intensidade pluviométrica que é igual a $3,62 \times 10^{-5}$ m/s foi mantido, pois os dois métodos construtivos estão sendo analisados em uma casa que está presente no mesmo local.

Já para a área de contribuição indicada na equação 3, será realizado um cálculo para cada água do telhado e após isso os valores serão somados. Para a água frontal, o valor da largura (b) é 15m e o comprimento (h) é 11m, e para o fator de inclinação (F), obtido em Leiaut (2015), adotando o valor de 1,097, pois a água em questão possui 45° de inclinação, assim, resultando em um valor igual a 181,005m².

Para a água da parte traseira da casa, foi adotado para a largura (b) um valor de 15m e o do comprimento (h) é 7,60m, para o fator de inclinação (F), foi adotado o valor de 1,077, pois a água em questão possui 40° de inclinação, assim, resultando em um valor igual a 122,778m². Então, após a soma dos valores de área das duas águas, foi achado um valor de 303,78 m², como mostrado no cálculo abaixo.

$$A = b * h * F$$

$$A = (b * h * F) + (b * h * F)$$

$$A = (15 * 11 * 1,097) + (15 * 7,60 * 1,077)$$

$$A = 303,78 \text{ m}^2$$

E por fim, o coeficiente Runoff foi e foi definido em 0,85, que é um valor intermediário entre que são referentes ao material de telhas cerâmicas recomendado por Tomaz (2002).

Após isso, a vazão de escoamento superficial indicada pela equação 1, indicado no cálculo abaixo, resultou em um valor de $9,35 \times 10^{-3}$ m³/s.

$$Q = C * I * A$$

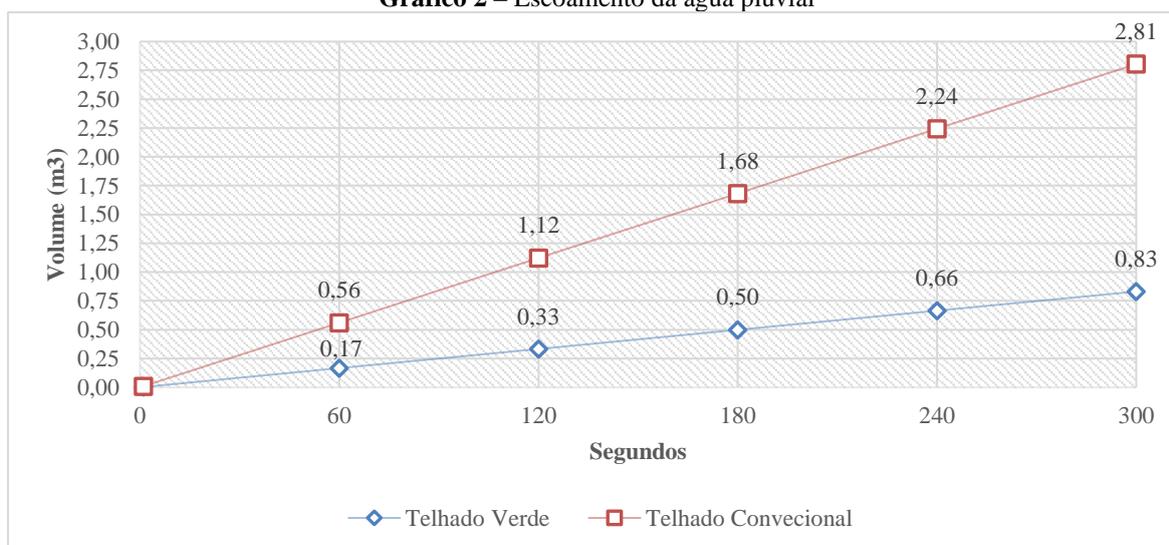
$$Q = 0,85 * 3,62 \times 10^{-5} * 303,78$$

$$Q = 9,35 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Apenas observando os dois dados de vazão de escoamento superficial, já é possível constatar que o valor encontrado pelo telhado convencional é bem superior ao do telhado verde. Tratando-se de comparações numéricas, o telhado verde chega a produzir uma redução de mais de 70%.

Quando esses dados são adicionados em um gráfico, como indicado no Gráfico 2, em que é levado em conta o escoamento produzido por cada telhado a cada 60 segundos de chuva, é notório o quanto o telhado verde pode diminuir a vazão da água da chuva, e isso se dá pelas diversas camadas presentes em sua estrutura, principalmente o solo e as camadas de drenagem e permeabilização.

Gráfico 2 – Escoamento da água pluvial



O Gráfico 2 utilizou a marcação do volume escoado a cada 60 segundos até totalizar 300 segundos, ou 5 minutos, pois a norma ABNT NBR 10844 (1989) fixa o

tempo de precipitação referentes a coberturas e terraços para este tempo.

Além disso, é possível constatar mais algumas

coisas nesse gráfico, como o fato dele ser exponencial e que os todos os valores do telhado verde são cerca de 70% menores que o telhado convencional. No fim da verificação, aos 300 segundos, o telhado convencional escoou cerca de 2,81 m³, enquanto o telhado verde escoou 0,83 m³, uma diferença de 1,98 m³ ou 1980 litros.

CONCLUSÃO/CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo buscou, através do telhado verde, oferecer uma alternativa sustentável que pudesse solucionar algumas problemáticas presentes em uma casa na cidade de Peri Mirim, com o seguinte objetivo, analisar o desempenho do telhado verde em comparação com o convencional cerâmico na melhoria das condições térmicas e redução do escoamento superficial pluviométrico em uma residência unifamiliar no município de Peri Mirim – MA. A partir disso, foi buscado maneiras de realizar as análises necessárias para a obtenção dos resultados para haver a comparação.

Para a questão do conforto térmico, foi utilizado o programa SketchUp para modelar a residência em 3D com o telhado verde e o telhado convencional e em seguida esses dados foram inseridos no programa Energy Plus para fazer os cálculos de carga térmica e nos entregar os valores das temperaturas internas da casa com a utilização de cada telhado.

Considerando o parâmetro de temperatura, o telhado verde conseguiu resultados mais satisfatórios que a temperatura interna da edificação e foi capaz de reduzir significativamente a vazão da água da chuva.

o convencional, com uma diminuição de 7°C no pico máximo, em que o telhado verde marcou 34°C às 16h e o convencional cerâmico registrou 41°C às 13h. Mas mesmo assim, não conseguiu ficar dentro dos padrões normativos ideais para um bom conforto térmico em ambientes fechados, que segundo a norma ABNT NBR 16401-2 (2008) é de 22,5°C a 25,5°C com umidade relativa do ar em 65% e de 23°C a 26°C com umidade relativa do ar em 35%, já para o inverno, é de 21°C a 23,5°C com umidade relativa do ar em 60% e de 21,5°C a 24°C com umidade relativa do ar em 30%. Apesar disso, o telhado verde se mostrou vantajoso, pois mostrou uma melhoria considerável, fazendo com que a residência faça o uso de menos energia elétrica para se refrigerar e chegar nos padrões requeridos, assim, abatendo gastos.

Com relação a retenção de água pluvial, foi utilizado a equação da vazão escoamento superficial, que leva em conta a intensidade pluviométrica da região e as áreas de contribuição e o coeficiente de Runoff de cada telhado analisado. A partir disso, verificou-se que o telhado verde foi capaz de obter um resultado melhor em comparação com o telhado convencional, o telhado verde conseguiu reduzir em mais de 70% a vazão de escoamento da água da chuva.

Portanto, foi constatado que os dois objetivos da pesquisa foram atingidos e o telhado verde é um método construtivo mais eficaz que o telhado convencional para a residência de estudo, pois ele conseguiu amenizar

REFERÊNCIAS

ACCUWEATHER. Dados meteorológicos diários. 2022. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/peri-mirim/2299653/daily-weather-forecast/2299653>>. Acesso em: 26. mai. 2023.

ANVERSA, G. B. Telhado verde: vantagens e desvantagens. Sienge, 2020. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/telhado-verde/>>. Acesso em: 05. mai. 2023.

ARBID, Yara; RICHARD, Claire; SLEIMAN, Mohamad. Towards an experimental approach for measuring the removal of urban air pollutants by green roofs. *Building and Environment*, v. 205, p. 108286, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1889

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

BEVILACQUA, Piero. The effectiveness of green roofs in reducing building energy consumptions across different climates. A summary of literature results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 151, p. 111523, 2021.

BISWAL B. K., BOLAN N., ZHU Y. G., BALASUBRAMANIAN R. Nature-based Systems (NbS) for mitigation of stormwater and air pollution in urban areas: A review. *Resour Conserv Recycl* 2022;186.

CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; ANJOS, J. C. R.; ZAMBONI, D. C. S.; MORAES, J. M. F. Equações de intensidade de chuva para o estado do Maranhão. 2015. Tese (Doutorando no programa de pós-graduação Ciências do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Ciclo Hidrológico. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>>. Acesso em: 28. mai. 2023.

CASCONE, Stefano; GAGLIANO, Antonio. A Novel Laboratory Procedure to Determine Thermal Conductivity of Green Roof Substrates. In: *International Conference on Sustainability in Energy and Buildings*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022. p. 66-75.

KOERICH, J. S. Intensidade de precipitação para o dimensionamento pluvial. *QiSuporte*. 2019. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360041258793-Intensidade-de-precipitação-para-o-dimensionamento-pluvial>>. Acesso em: 31. mai. 2023.

KRUGER, A. Telhado verde e suas vantagens e desvantagens. *Sua Pesquisa.com*. 2020. Disponível em: <https://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/telhado_verde.htm>. Acesso em: 03. mai. 2023.

LEITE, M. B. A. Telhados verdes. *Ambientebrasil*. 2019. Disponível em: <<https://noticias.ambientebrasil.com.br/redacao/2019/06/19/152571-telhados-verdes.html>>. Acesso em: 28. mai. 2023.

MAZZEO D., MATERA N., PERI G., SCACCIAOCE, G. Forecasting green roofs' potential in improving building thermal performance and mitigating urban heat island in the Mediterranean area: An artificial intelligence-based approach. *Applied Thermal Engineering*, v. 222, p. 119879, 2023.

MELO, B. O. Telhados Verdes. *PET Engenharia Civil UEM*. 2021. Disponível em:

<<https://petciviluem.com/2021/11/22/telhados-verdes/comment-page-1/>>. Acesso em: 21. abr. 2023.

VIJAYARAGHAVAN, Krishnaswamy. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 57, p. 740-752, 2016.

SANTOS, M. *Hidrologia: Escoamento Superficial*. 2013. Acesso em: 03. jun. 2023.

VERA S., PINTO C., TABARES-VELASCO P. C., BUSTAMANTE W. A critical review of heat and mass transfer in vegetative roof models used in building energy and urban environment simulation tools. *Appl Energy* 2018;232:752-64.

QUARANTA E., DORATI C., PISTOCCHI A. Water, energy and climate benefits of urban greening throughout Europe under different climatic scenarios. *Sci*. 2021.

TOMAZ, P. Aproveitamento de águas de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. 2009; Disponível em: <<https://silo.tips/download/capitulo-5-coeficiente-de-runoff>>. Acesso em: 03. jun. 2023.

WANG, L., WANG, H., WANG, Y., CHE, Y., G. E., Z., MAO, L. The relationship between green roofs and urban biodiversity: A systematic review. *Biodiversity and Conservation*, v. 31, n. 7, p. 1771-1796, 2022.

ZIEGEL. Roadmap for a Greenhouse Gas Neutral Brick and Roof Tile Industry in Germany. Transition of the German Brick and Roof Tile Industry to Greenhouse Gas Neutrality by 2050. 2021. Disponível em: <<https://ziegel.de/sites/default/files/2021-04/Roadmap%20German%20brick%20and%20roof%20tile%20industry%20climate%20neutral%202050.pdf>>. Acesso em: 27. jun. 2023.