

**Faculdade Evangélica de Goianésia – FACEG**  
**Curso de Engenharia Civil**

**EDUARDA RODRIGUES DA SILVA**  
**SHIRLEY ALVES SILVA**

**ANÁLISE COMPARATIVA NA REDUÇÃO E RETARDO DO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL ENTRE O TELHADO VERDE E O TELHADO CONVENCIONAL**

**Publicação Nº 02**

**Goianésia - GO**  
**2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

DA SILVA, EDUARDA RODRIGUES. SILVA, SHIRLEY ALVES.

Análise comparativa na redução e retardo do escoamento superficial entre o telhado verde e o telhado convencional, 15P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2024).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 1. Sustentabilidade | 2. Cobertura vegetal |
| 3. Permeabilidade   | 4. Impactos          |
| I. ENC/FACEG        | II.                  |

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DA SILVA, E. R. SILVA, S. A. Análise comparativa na redução e retardo do escoamento superficial entre o telhado verde e o telhado convencional. Artigo, Publicação 02 2024/2 Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 15p. 2024.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Eduarda Rodrigues da Silva, Shirley Alves Silva.

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Análise comparativa na redução e retardo do escoamento superficial entre o telhado verde e o telhado convencional.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2024

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Documento assinado digitalmente  
 EDUARDA RODRIGUES DA SILVA  
 Data: 16/12/2024 21:40:35-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eduarda Rodrigues da Silva  
 Endereço: Rua 45, Santa Clara  
 CEP 76380-269 – Goianésia/GO – Brasil

Documento assinado digitalmente  
 SHIRLEY ALVES SILVA  
 Data: 16/12/2024 22:17:36-0300  
 Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Shirley Alves Silva  
 Endereço: Rua 01, Boa Vista  
 CEP 76385-464 – Goianésia/GO – Brasil

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,  
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG**

**Aprovados por:**

Documento assinado digitalmente  
 **ROBSON DE OLIVEIRA FELIX**  
Data: 17/12/2024 08:19:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Robson de Oliveira Félix, Mestre – FACEG  
(ORIENTADOR)**

Documento assinado digitalmente  
 **IGOR CEZAR SILVA BRAGA**  
Data: 17/12/2024 10:45:28-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Igor Cezar Silva Braga, Mestre – FACEG  
(EXAMINADOR INTERNO)**

Documento assinado digitalmente  
 **EDUARDO MARTINS TOLEDO**  
Data: 18/12/2024 15:43:32-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

**Eduardo Martins Toledo, Mestre – FACEG  
(EXAMINADOR INTERNO)**

# ANÁLISE COMPARATIVA NA REDUÇÃO E RETARDO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ENTRE O TELHADO VERDE E O TELHADO CONVENCIONAL

Eduarda Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Shirley Alves Silva<sup>2</sup>, Robson de Oliveira Félix<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eduarda Rodrigues da Silva /FACEG – eduardarodrigues.eng@gmail.com.

<sup>2</sup> Shirley Alves Silva/FACEG - shirley.gsia@gmail.com

<sup>3</sup> Robson de Oliveira Félix /FACEG - robsonfelix.eng2014@hotmail.com

**Resumo:** A construção civil é uma das atividades mais antigas, exemplificada pelas pirâmides do Egito, e é crucial para o desenvolvimento econômico e social. No entanto, essa atividade consome intensamente recursos naturais, o que dificulta o desenvolvimento sustentável. A urbanização desordenada e o aumento das áreas impermeabilizadas contribuem para problemas como alagamentos em grandes cidades brasileiras. Uma alternativa sustentável é a adoção de telhados verdes, que consiste no uso de solo e plantas na cobertura da construção. Essa técnica reduz o escoamento de águas pluviais nas vias e redes públicas, absorvendo e drenando a água da chuva, e pode reduzir significativamente o escoamento superficial. Tendo como objetivo abordar a capacidade do telhado verde de reduzir o escoamento superficial, além do retardamento do escoamento de águas pluviais. Foram desenvolvidos dois protótipos, um com telhado verde e o outro do telhado convencional. O experimento contou com dois testes, um com a média de chuva diária ao longo do ano e outro com a maior precipitação anual, simulando a situação mais crítica no período de um ano da cidade de Goiânia-GO. Os protótipos em questão possuem uma área de 1,5m<sup>2</sup>, dessa forma são necessários para execução desses testes respectivamente 19 e 104 litros de água, que foram distribuídos durante o período de 60 minutos em ambos telhados. Com os resultados obtidos, foi feita uma comparação entre os dois tipos de telhados para demonstrar a eficácia do telhado verde na redução e retardo do escoamento superficial. Ao final do experimento, os resultados obtidos neste trabalho, reforçam a relevância dos telhados verdes como uma solução eficaz para a retenção e o retardo do escoamento superficial das águas pluviais. Conforme os testes realizados, o telhado verde seco que expõe a situação mais comum do dia a dia, demonstrou uma capacidade de retenção de até 56,7% no teste com 19 litros e 11,6% no teste com 104 litros.

**Palavras-chaves:** Sustentabilidade; Permeabilidade; Cobertura vegetal; Impactos;

**Abstract:** Civil construction is one of the oldest activities, exemplified by the pyramids of Egypt, and is crucial for economic and social development. However, this activity consumes a lot of natural resources, which hinders sustainable development. Uncontrolled urbanization and the increase in impermeable areas contribute to problems such as flooding in large Brazilian cities. A sustainable alternative is the adoption of green roofs, which consists of using soil and plants on the coverage of the building. This technique reduces the runoff of rainwater on public roads and networks, absorbing and draining rainwater, and can significantly reduce surface runoff. The aim was to address the capacity of green roofs to reduce surface runoff, in addition to delaying rainwater runoff. Two prototypes were developed, one with a green roof and the other with a conventional roof. The experiment included two tests, one with the average daily rainfall throughout the year and the other with the highest annual rainfall, simulating the most critical situation in the city of Goiânia-GO during a one-year period. The prototypes in question have an area of 1.5 m<sup>2</sup>, so 19 and 104 liters of water are required to perform these tests, respectively, and these were distributed over a period of 60 minutes on both roofs. With the results obtained, a comparison was made between the two types of roofs to demonstrate the effectiveness of the green roof in reducing and delaying surface runoff. At the end of the experiment, the results obtained in this work reinforce the relevance of green roofs as an effective solution for retaining and delaying surface runoff of rainwater. According to the tests performed, the dry green roof, which exposes the most common situation in everyday life, demonstrated a retention capacity of up to 56.7% in the test with 19 liters and 11.6% in the test with 104 liters.

**Keywords:** Sustainability; Permeability; Vegetation cover; Impacts.

## INTRODUÇÃO

A construção civil é considerada uma das atividades mais antigas, permeia a cerca de 4000 a 2000 anos a.C., tendo como destaque sua provável maior construção, as pirâmides no Egito [1]. Atualmente, um grande indicativo de desenvolvimento econômico e social está relacionado às atividades da construção civil. No entanto, para a realização dessas atividades, há um intenso consumo de recursos naturais, conforme destacado por Ribeiro e outros autores [2].

A degradação dos recursos naturais compromete o desenvolvimento sustentável. O tripé ambiente-economia-sociedade deve ser considerado de forma

integrada para alcançar o desenvolvimento sustentável. O desafio consiste em promover o crescimento econômico atendendo às expectativas da sociedade, ao mesmo tempo em que se preserva um ambiente saudável para as atuais e futuras gerações [3]. Dentre os principais obstáculos para esse processo, destacam-se a urbanização desordenada e o aumento considerável das áreas impermeabilizadas, contribuindo diretamente com os problemas de alagamento nas grandes cidades brasileiras. A persistência no uso exclusivo de técnicas antigas para solucionar esses problemas, conforme observado pode agravar ainda mais essa situação [4].

No entanto, a utilização exclusiva de coberturas convencionais contribui significativamente para o aumento

do escoamento superficial nas áreas urbanas. O escoamento superficial refere-se ao movimento da água da chuva sobre a superfície do solo, em direção aos sistemas de drenagem, em vez de infiltrar no solo. Esse fenômeno é agravado em áreas urbanizadas devido à impermeabilização do solo por construções e pavimentações, resultando em enchentes, aumento da velocidade e do volume de água que chega aos sistemas de drenagem pluvial [5].

Nesse sentido há a necessidade de adequar as edificações, através de um meio de construção mais sustentável. Assim considera como alternativa viável para mitigar a problemática da diminuição da cobertura vegetal provocada pelo desenvolvimento urbano a adoção da técnica de telhados verdes, que consiste no emprego de solo e plantas na cobertura da construção. Essa técnica traz inúmeros benefícios, como a redução do escoamento de águas pluviais nas vias e redes públicas, visto que a vegetação absorve e drena a água advinda da chuva o que diminui altamente o escoamento superficial [6]. Foi observado que os telhados verdes conseguiram reduzir, em média, 62% do volume de água escoada superficialmente, além de atrasar o início do escoamento [7].

Como exemplo disso, podem ser citadas cidades que já adotaram leis para a implementação de telhados verdes, como Recife. Nessa cidade, edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não habitacionais com mais de 400m<sup>2</sup> de área de cobertura devem prever a implantação de telhados verdes para obter aprovação, conforme estabelecido na Lei Nº 18.112/2015 [8]. Outro exemplo é o município de Pedregulhos, em São Paulo, que instituiu o programa de incentivo e desconto conhecido como IPTU Verde, conforme a Lei Nº 3.237/2024 [9].

No contexto brasileiro, onde o uso de telhados verdes ainda é visto como uma novidade, esta pesquisa se propõe a detalhar o funcionamento dessa técnica e seus benefícios. O objetivo é demonstrar, por meio de estudos e testes, a eficácia do telhado verde no controle e retardamento do escoamento superficial e realizar um

comparativo de custo entre a construção de telhados verdes e convencionais. Para isso, foram construídos dois protótipos: telhado verde e telhado convencional. Essa abordagem se justifica pela necessidade de transformação no modelo dos projetos de construção civil, uma vez que a área verde vem perdendo espaço para o concreto, especialmente devido ao desenvolvimento urbano excessivo.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### • Tipos de telhados

Os telhados, também conhecidos como coberturas, desempenham um papel fundamental ao fechar a parte superior das edificações. São caracterizados por sua forma, podendo ser inclinados ou horizontais, e constituem uma combinação de elementos que oferecem resistência e proteção contra as intempéries climáticas, cumprindo assim sua função essencial. Vale ressaltar que o mercado oferece uma variedade de matérias-primas para coberturas, sendo uma das circunstâncias a serem observadas a necessidade de serem impermeáveis e uma resistência suficiente para sustentar as forças contrárias ao impacto [10].

A construção de um telhado convencional se divide em armação principal, que é constituída por tesouras e pontalotes, depois a armação secundária, formada por uma trama de ripas, caibros e terças. o eucalipto, a peroba e o angelim são as principais madeiras usadas na montagem dessas estruturas [11]

Os telhados verdes, também chamados de coberturas verdes ou ecotelhados, são tipos de coberturas que incorporam ao telhado uma camada de vegetação. Eles surgiram como uma alternativa inovadora aos telhados convencionais, visando oferecer uma série de benefícios ambientais. Esses telhados têm como principal objetivo facilitar o processo de permeabilização do solo, reduzindo significativamente o escoamento superficial das águas pluviais. Eles podem ser classificados em três categorias: extensiva, semiextensiva e intensiva, cada uma dessas categorias possui suas próprias vantagens, porém é

importante considerar diversos critérios ao optar por essa solução [12].

Em relação a composição, o telhado verde é formado por várias camadas que garantem seu funcionamento adequado. Essas camadas incluem a laje, a camada de impermeabilização, uma membrana anti-raízes, a proteção mecânica, o sistema de drenagem, uma camada de filtro, o substrato e, por último, a vegetação que completa o sistema [13]. A Figura 1, a seguir, tem a composição básica dos telhados verdes

**Figura 1** - Composição básicas do telhado verde



Fonte: Ecotecnologias, (2024).

Esse método construtivo como qualquer tecnologia apresentam vantagens e desvantagens que devem ser avaliadas antes de sua implementação. O Quadro 1 mostra um comparativo entre essas vantagens e desvantagens.

**Quadro 1** - Vantagens e desvantagens do telhado verde

Vantagens	Desvantagens
Isolamento acústico	Mão de obra especializada
Conforto térmico	Necessidade de manutenção
Controle da precipitação	Tem um alto custo inicial
Redução do escoamento superficial	Surgimento de pragas

Fonte: Borges (2018); Santos (2018); Rodrigues e Cabral (2020) e Rocha (2020).

#### • Escoamento Superficial

Conforme o Sistema Nacional de Informação Geocientífica de Portugal - Léxico de Termos Hidrogeológico, o escoamento superficial é descrito como

a parte da precipitação que se movimenta de maneira desorganizada, impulsionada pela gravidade, das áreas mais altas para as mais baixas, eventualmente concentrando-se em pequenos córregos que se unem em ribeirões e, posteriormente, em rios [18].

O movimento das águas na superfície terrestre, conhecido como escoamento superficial, é considerado a fase mais importante do ciclo hidrológico, especialmente para o ramo da engenharia. Existem inúmeras pesquisas sobre hidrologia, todas elas relacionadas ao aproveitamento da água e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento [19].

O estudo do escoamento superficial é importante para a gestão sustentável dos recursos hídricos e o planejamento urbano. Em áreas urbanas, o escoamento superficial é mais intenso devido à impermeabilização do solo por construções e pavimentos, o que pode levar a inundações e erosão do solo. De acordo com Kolb, a taxa de escoamento superficial em telhados convencionais pode oscilar, resultando na conversão de cerca de 80% a 100% do volume total da chuva em escoamento superficial [20].

#### • Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico pode ser dividido em duas partes distintas: o ramo aéreo, que é analisado pela Meteorologia, e o ramo terrestre, que é objeto de estudo da Hidrologia [21]. O ciclo da água engloba diversos processos hidrológicos complexos, tais como evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial, entre outros [6].

O ciclo hidrológico tem sido impactado pelo desenvolvimento desordenado das cidades, resultando no aumento do escoamento superficial de águas pluviais e causando impactos ao meio ambiente e à população. Para mitigar essa situação e regularizar o ciclo hidrológico, estão sendo adotados telhados verdes, que se aproximam bastante dos processos hidrológicos naturais, o desempenho hidrológico desses telhados é significativamente diferente dos telhados convencionais [22].

## METODOLOGIA

O programa experimental foi realizado na Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), sendo confeccionados dois protótipos que representam os telhados a serem comparados. O primeiro modelo, corresponde a um telhado convencional, com telha metálica, que foi utilizado como referência para a análise dos resultados ao término do estudo. O segundo modelo, consiste na construção de um telhado verde completo, com todas as suas camadas básicas. Ambos foram baseados na metodologia de Viana e Arruda [23], com algumas adaptações necessárias para um melhor funcionamento.

Ambos os telhados foram equipados com calhas para o escoamento da água e reservatórios para armazenar a água não retida pelo telhado. O experimento consistiu em simular uma precipitação com a mesma intensidade e duração para ambos os protótipos, sendo no telhado verde com ele seco e saturado. Em seguida, foi registrado o momento em que o escoamento se inicia para verificar o retardo dele. Após essa etapa, foi analisado o volume de água armazenado no reservatório a cada 10 minutos. Para garantir resultados mais precisos, esse processo foi repetido três vezes para cada telhado, a fim de obter uma média. Com os resultados obtidos, foi feita uma comparação entre os dois tipos de telhados para demonstrar a eficácia do telhado verde na redução e retardo do escoamento superficial.

- **Montagem do experimento**

A estrutura para montagem do telhado convencional, foi composta por perfis metálicos 2cm x 2cm, que permitiu deslocamentos conforme necessário para o experimento, com dimensões de 1,00 x 1,50 metros, altura de 1,00 metros no lado maior e 0,85 metros no lado menor, e inclinação de 10%. A telha escolhida foi a metálica, instalada utilizando um conjunto de vedação e parafusos 5/16", com arruelas chupeta de PVC e arruelas côncavas zincadas para garantir uma fixação segura. Para o sistema de captação de água da chuva, foi instalada uma calha feita de tubo de PVC de 100 mm fixada na estrutura.

Um recipiente foi colocado abaixo da calha, com marcações de litro a litro para monitorar o escoamento da água. A Figura 2 mostra o protótipo de telhado convencional.

**Figura 2** – Protótipo telhado convencional



Fonte: Autor próprio.

A estrutura do telhado verde foi construída, utilizando perfis metálicos 2cm x 2cm, chapa metálica e solda. As dimensões da estrutura seguem as mesmas especificações do modelo 1, com variação na parte central e lateral, onde a estrutura recebeu o fechamento com chapa metálica, simulando uma laje e formando uma barreira para evitar o espalhamento do substrato respectivamente. Em seguida, a argila expandida foi espalhada sobre toda a chapa metálica, formando a camada de drenagem. Uma manta de tecido foi instalada sobre a camada de drenagem, compondo a camada filtrante. Aproximadamente 4 cm de substrato foram adicionados sobre a manta e tapetes de grama esmeralda, medindo 0,40 x 0,60 metros, foram plantados, formando assim um telhado verde classificado como extensivo. Para o sistema de captação de água da chuva, também foi utilizado o mesmo do modelo 1. Um recipiente foi colocado abaixo da calha, com marcações de litro a litro para monitorar o escoamento da água. A Figura 3 mostra o protótipo do telhado verde finalizado.

**Figura 3** -Protótipo telhado verde

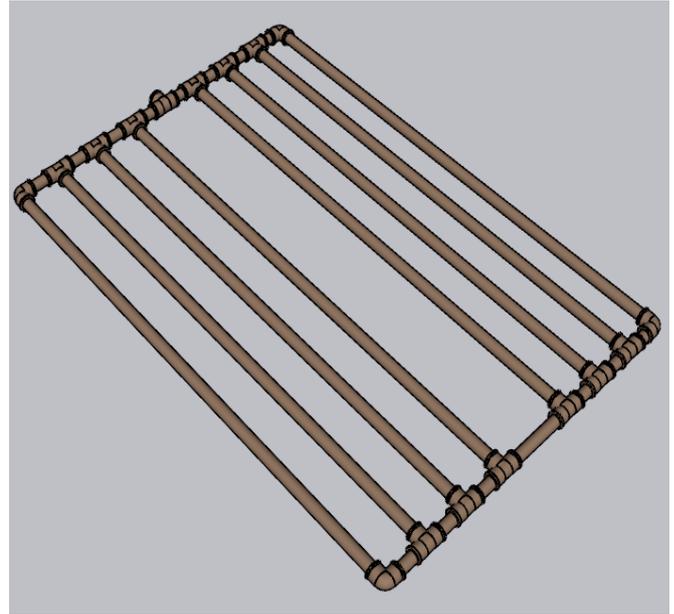


Fonte: Autor próprio.

Para reproduzir uma precipitação uniforme sobre o telhado, foi desenvolvido um sistema de tubos de PVC com uma mangueira acoplada na entrada do sistema, distribuindo a água através de pequenos furos ao longo dos tubos. O sistema foi projetado com dimensões de 1,00 x 1,50 metros. Primeiramente, foram cortados tubos de PVC rígidos de água fria de 20 mm, com 1,50 metros de comprimento. Em seguida, foram cortados pedaços de canos e lixados para facilitar o encaixe, necessários para unir os Tês.

Os Tês foram encaixados com os pedaços de cano, e dois joelhos foram colocados nas extremidades, unindo-os com cola apropriada para PVC. O Tê central foi um Tê roscável instalado virado para o lado oposto aos demais, permitindo a fixação do adaptador e a conexão da mangueira para a entrada de água. Posteriormente, foram encaixados Tês com os pedaços de cano e dois joelhos nas extremidades, unindo-os com cola apropriada para PVC. As partes construídas nos passos anteriores foram unidas com os tubos de PVC de 1,50 metros, utilizando cola de PVC. Por fim, foram realizados furos com arame em todos os tubos de PVC de 1,50 metros para simular a chuva. A Figura 4 mostra o sistema de precipitação.

**Figura 4** – Sistema de precipitador da água



Fonte: Autor próprio.

- **Precipitação**

Para execução do experimento foram utilizados dados de precipitações fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do último ano na cidade de Goianésia-GO. Através da análise desses dados, verificou-se que entre maio de 2023 e maio de 2024 em Goianésia choveram 96 dias, resultando uma precipitação total de 1214,4mm no ano, dividindo esse valor pelos dias de chuva, obtém-se uma média diária de 12,65mm. A partir das informações disponibilizadas também foi possível encontrar que dia 20 de janeiro de 2024 foi o dia com a maior precipitação do período analisado, tendo um valor de 69,2mm [24].

Com base nos dados do INMET (2024), verifica-se a necessidade de dois testes, um com a média de chuva diária ao longo do ano e outro com a maior precipitação diária, simulando a situação mais crítica no período de um ano da cidade de Goianésia-GO. O protótipo em questão possui uma área de 1,5m<sup>2</sup>, dessa forma são necessários para execução desses testes respectivamente 19 e 104 litros de água, que foram distribuídos durante o período de 60 minutos em ambos telhados. A partir disso, calcula-se a vazão da precipitação a ser simulada utilizando a Equação 1.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão em L/min;

V = volume em L;

t = Tempo em min;

Obtém-se então uma vazão 0,32 L/min e 1,73 L/min, valores esses que foram utilizados como padrão para a execução dos testes.

- **Determinação das condições do telhado verde**

Para a realização dos testes no telhado verde, foram estabelecidas duas condições: telhado verde seco e telhado verde saturado. A obtenção dessas condições foi realizada por meio de um medidor de umidade da marca hagra, que divide o solo em três condições: seco de 0 a 3, úmido de 4 a 7 e saturado de 8 a 10. Ele foi inserido no solo do telhado verde para registrar os valores correspondentes.

Os testes na condição de telhado verde seco, o telhado permaneceu sem irrigação por um período de 4 dias. Após esse período, foi feita a medição de umidade, com o valor registrado igual a 2, indicando solo seco, podendo assim começar o teste.

Por outro lado, os testes na condição de telhado verde saturado, o telhado foi irrigado e coberto com uma lona para que não houvesse perda de umidade, em seguida, aguardou-se algumas horas para permitir o escoamento completo da água e assim a estabilização da umidade. Após esse tempo, o medidor indicou um valor de 8, correspondente a solo saturado podendo assim começar o teste.

- **Testes**

Após todos os dados necessários serem levantados, iniciou-se então as verificações, que foram feitas de forma igualitária para os dois tipos de telhados construídos. Cada protótipo foi submetido a alguns testes, sendo eles: Um teste para cada vazão e precipitação

estipulada anteriormente, um teste com o telhado verde seco, outro com o telhado verde saturado e outro no telhado convencional, cada um desses testes foram repetidos por três vezes, com o intuito de calcular a média aritmética de cada situação. Para facilitar o controle de dados, criou-se uma planilha para registrar o volume de escoamento para cada 10 minutos até que se complete um período total de 60 minutos de precipitação. Após o término dos 60 minutos, foi feita a contagem do tempo e volume de água escoado e o tempo final do escoamento, para que seja possível identificar o tempo de retardo do escoamento. Este procedimento foi repetido para todas as análises subsequentes.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados obtidos por meio dos experimentos realizados com os protótipos de telhado verde e convencional revelaram, diferenças consideráveis e significativas em relação à capacidade de cada modelo no controle do escoamento superficial das águas pluviais. Os dados alcançados expõem diferentes comportamentos de ambos telhados relacionados ao tempo necessário para o escoamento, volume escoado e capacidade de retenção, como apresentado na Tabela 1. Nota-se também, uma variação nos resultados obtidos diretamente relacionada a mudança na vazão das precipitações.

No que diz respeito ao escoamento superficial, o telhado convencional apresenta um escoamento significativamente mais rápido em comparação ao telhado verde, tanto no teste com 19 litros quanto com 104 litros. Esses resultados indicam que ele praticamente não retém a água, permitindo que a maior parte dela escoe de maneira quase imediata após o início da precipitação. No teste com 19 litros de água, o escoamento começou apenas 11 segundos após o início do teste, enquanto no teste com 104 litros o escoamento foi observado em 14 segundos. Esses tempos curtos refletem um comportamento típico de superfícies impermeáveis, que não oferecem resistência à passagem da água.

Tabela 1 - Resultados dos testes

	VOLUME DE ÁGUA REGISTRADO POR TEMPO (TESTES COM 19 L)		
	TELHADO CONVENCIONAL	TELHADO SECO	TELHADO SATURADO
INÍCIO DO ESCOAMENTO	00:00:11	00:04:28	00:01:02
10 min	3,737	0,246	0,909
20 min	7,160	1,292	2,533
30 min	10,163	2,778	4,477
40 min	13,226	4,452	6,382
50 min	16,086	6,289	8,602
60 min	18,479	7,859	11,358
FIM DO ESCOAMENTO	18,799	8,23	12,173
PERDA E/OU RETENÇÃO	0,201	10,77	6,827
PORCENTAGEM RETIDA (%)	1,2	56,7	35,9
	VOLUME DE ÁGUA REGISTRADO POR TEMPO (TESTES COM 104L)		
	TELHADO CONVENCIONAL	TELHADO SECO	TELHADO SATURADO
INÍCIO DO ESCOAMENTO	00:00:14	00:01:27	00:00:42
10 min	18,01	9,375	10,502
20 min	35,872	24,661	28,036
30 min	53,528	42,768	47,216
40 min	70,592	60,112	66,862
50 min	86,879	77,628	84,867
60 min	102,33	90,473	97,762
FIM DO ESCOAMENTO	103,088	91,956	102,423
PERDA E/OU RETENÇÃO	0,912	12,044	1,577
PORCENTAGEM RETIDA (%)	0,9	11,6	1,5

Fonte: Autor próprio.

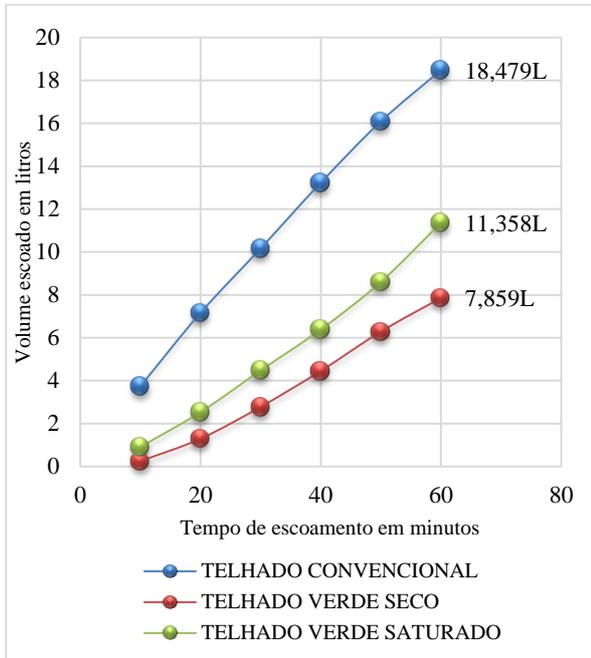
Por outro lado, o telhado verde seco, mostrou uma capacidade significativamente maior de retardar o início do escoamento, especialmente no teste com 19 litros, onde o escoamento só começou após 4 minutos e 28 segundos, conforme descrito no Quadro 2. Esse retardo indica uma alta capacidade inicial de absorção e retenção da água. Já no teste com 104 litros, o escoamento iniciou mais rápido, em 1 minuto e 27 segundos, o que se aproxima dos resultados médios observados por Viana e Arruda [23] que apontam que o início do escoamento no telhado verde ocorreu, em média 1 minuto e 30 segundos após o início do escoamento no telhado convencional. Ambos resultados sugerem que o telhado verde seco começa a perder eficiência quando exposto a volumes maiores de água.

Em relação ao telhado verde saturado, percebe-se um comportamento intermediário em relação ao tempo de escoamento. No teste com 19 litros, o escoamento iniciou após 1 minuto e 2 segundos, o que representa um retardo significativo em comparação ao telhado convencional, porém menor que o do telhado seco. No teste com 104 litros, o telhado saturado apresentou um início de escoamento com 42 segundos, valor que também é similar aos achados por Viana e Arruda [23], que observam um tempo médio de 30 segundos do início da precipitação até que caísse a primeira gota na calha. Os resultados indicam que, mesmo quando já saturado, o telhado verde ainda é capaz de retardar o escoamento superficial.

Além da diferença no tempo inicial do escoamento superficial, também foi possível notar como o

escoamento de ambos os telhados se comportou a cada 10 minutos em um período de 60 minutos de precipitação. Os resultados em questão estão expostos nas Figuras 5 e 6.

**Figura 5** - Volume escoado x Tempo de escoamento: Teste com 19L



Fonte: Autor próprio.

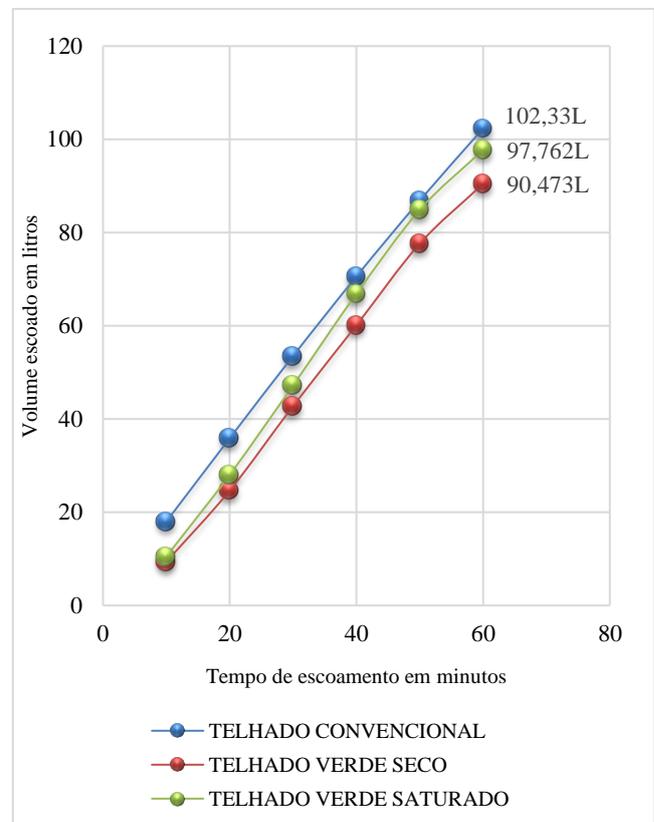
Através da análise do gráfico exposto, referente ao teste de 19 litros, é possível observar que o telhado convencional mostra um aumento contínuo nos valores de escoamento ao longo do tempo, refletindo a natureza impermeável da superfície. Como não há capacidade de retenção ou absorção de água, a água da chuva escoou quase que imediatamente, de forma contínua e sem interrupções. Aumentando a quantidade de água escoada conforme o tempo, os valores de escoamento aumentam progressivamente sem que haja qualquer redução ou retardo.

No telhado verde seco, os valores de escoamento aumentam de maneira mais gradual, especialmente nas primeiras medições (10 a 30 minutos). Isso ocorre devido à capacidade inicial de retenção e absorção da água pela camada vegetal e pelo substrato. Durante esse período, a água é absorvida e retida pelas plantas e pelo solo, retardando o início do escoamento. Contudo, a partir de certo ponto (aproximadamente 30 minutos), observa-se uma desaceleração nos valores de escoamento, como visto

na diminuição após os 40 minutos. Isso ocorre porque, à medida que o sistema absorve mais água, o substrato e as plantas atingem sua capacidade máxima de retenção. Quando essa capacidade é superada, a água começa a escoar mais rapidamente, o que pode ser observado pela leve redução nos valores de retenção após os 40 minutos.

O telhado verde saturado, que apresenta valores mais elevados de escoamento desde o início, mostra um aumento considerável nas medições de escoamento até os 40 minutos. Isso acontece porque o telhado verde saturado já está completamente saturado de água desde o início do teste ou logo após o início, o que faz com que ele retenha pouca ou nenhuma água adicional. O escoamento, portanto, começa mais cedo e aumenta de forma contínua à medida que o tempo passa. A partir de 40 minutos, a quantidade de água escoada aumenta discretamente, possivelmente por atingir uma capacidade máxima de absorção por já iniciar os teste saturado. A figura 6, expõe os resultados mencionados.

**Figura 6** - Volume escoado x Tempo de escoamento: Teste com 104L



Fonte: Autor próprio.

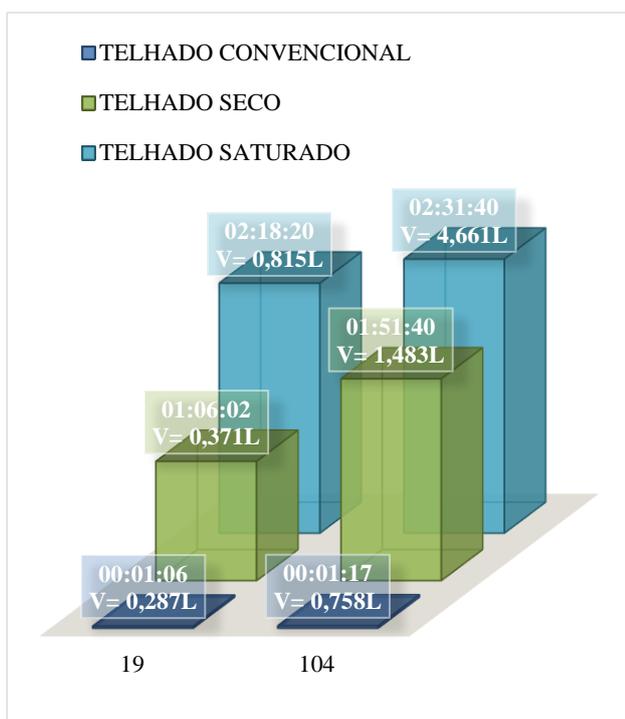
Assim como no teste de 19 litros, o telhado convencional também apresenta um aumento contínuo no escoamento mesmo recebendo uma vazão maior, comprovando mais uma vez a sua falta de capacidade de retenção, mesmo com diferentes precipitações.

Em relação ao telhado verde seco, nota-se uma pequena diferença de absorção entre as diferentes vazões. Inicialmente ele possui uma maior eficiência na retenção de água, mas começa a escoar mais à medida que atinge sua capacidade de retenção, que devido ao aumento da vazão é atingida mais rápida em comparação ao primeiro teste. O que resulta em um crescimento progressivo e depois uma aceleração do escoamento.

O telhado verde saturado apresenta comportamento semelhante aos telhados anteriores, o que é esperado por dois fatores, primeiro pela grande vazão do teste, e segundo pela saturação inicial que induz o telhado a reter uma quantidade bem menor de água.

Após os 60 minutos de precipitação, verificou-se também uma grande diferença no tempo final do escoamento. Os resultados em questão estão expostos na Figura 7.

**Figura 7** - Tempo final do escoamento superficial



Fonte: Autor próprio.

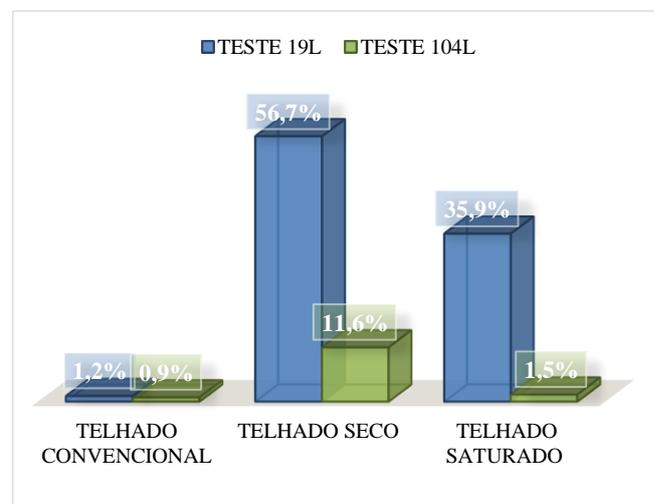
O tempo total para escoamento completo varia bastante entre os tipos de telhado. No teste de 19 litros, o escoamento do telhado convencional termina em aproximadamente 1 minuto e 6 segundos, se comportando praticamente da mesma forma que no teste de 104 litros onde o escoamento finaliza em 1 minuto e 17 segundos. Esses tempos mostram que o telhado convencional escoar a água de forma extremamente rápida, independentemente do volume inicial.

No telhado verde seco, o processo leva 1 hora e 6 minutos para o teste de 19 litros e 1 hora e 51 minutos para o teste de 104 litros. Esses resultados mostram que o telhado seco retém água por um período significativamente maior antes de escoá-la completamente. Esse efeito é benéfico em áreas com infraestrutura de drenagem limitada, um telhado que libera a água aos poucos diminui o risco de enchentes e alagamentos nas proximidades.

Por fim no telhado saturado, o escoamento finaliza em 2 horas e 18 minutos no teste de 19 litros 2 horas e 31 minutos no teste de 104 litros. Desse modo nota-se que telhados saturados, que já contêm certa quantidade de umidade antes da chuva, liberam a água de forma gradual, o que pode aliviar o impacto imediato sobre o sistema de drenagem urbano.

No que diz respeito ao volume escoado e a retenção de água, os resultados também evidenciam diferenças importantes, ilustrados na Figura 8.

**Figura 8** - Retenção do escoamento superficial



Fonte: Autor próprio.

O telhado convencional escoava quase toda a água rapidamente, com perda insignificantes de 1,2% no teste com 19 litros e 0,9% no teste com 104 litros. Esses valores mostram que ele praticamente não contribui para a absorção ou retenção de água, sendo inadequado para a gestão das águas pluviais.

O telhado verde seco, por sua vez, demonstrou uma retenção significativa de água, especialmente no teste com 19 litros, onde reteve 56,7% da água. Esse valor expressivo destaca a eficácia do telhado seco em absorver e reter água, diminuindo o volume escoado em dias de chuvas regulares. Esse resultado está em consonância com a pesquisa de Duarte [25], que apontou uma retenção média de 51% em telhados verdes. Já no teste com 104 litros, a retenção foi menor, de 11,6%, o que indica que o telhado seco perde parte de sua capacidade de retenção à medida que o volume de água aumenta, possivelmente devido à saturação dos materiais que compõem o telhado verde. Vale ressaltar que o volume de 104 litros representa uma situação crítica de chuva que ocorre, na análise de Goianésia, apenas uma vez ao ano.

O telhado saturado, como esperado, reteve uma quantidade menor de água em ambos os testes, visto que já estava previamente saturado. No entanto, ele ainda mostrou capacidade de retenção, especialmente no teste com 19 litros, onde reteve 35,9% da água. Os dados obtidos nesse teste são semelhantes as conclusões de Costa [26], que verificou uma redução de até 26% no escoamento superficial em comparação a telhados convencionais. Por outro lado, no teste com 104 litros, a retenção foi de 1,5%, próxima à do telhado convencional, o que é natural, pois o telhado já estava em seu limite de saturação e não poderia absorver muito mais água.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho reforçam a relevância dos telhados verdes como uma solução possível para a retenção e o retardo do escoamento superficial das águas pluviais. Conforme os testes realizados, o telhado verde seco que expõe a situação mais comum do dia a dia,

levando em consideração as chuvas da região, demonstrou uma capacidade de retenção de até 56,7% no teste com 19 litros e 11,6% no teste com 104 litros.

Assim fica evidente que o telhado verde desempenha um papel fundamental no controle do escoamento superficial das águas pluviais. O telhado verde seco, em especial, mostrou uma alta capacidade de retenção, retardando significativamente o início do escoamento e absorvendo uma grande parte da água, especialmente em cenários com volumes menores de precipitação.

A implementação de telhados verdes em áreas urbanas é uma solução eficiente para o retardo e a redução do escoamento superficial, colaborando diretamente para a gestão sustentável das águas pluviais. Ao reduzir a velocidade e o volume do escoamento, os telhados verdes ajudam a prevenir enchentes, a melhorar a capacidade de infiltração de água no solo e a aliviar a pressão sobre sistemas de drenagem urbana. Além disso, eles podem contribuir para o aumento da umidade local e a redução de ilhas de calor, promovendo um ambiente mais equilibrado e sustentável. No entanto, é crucial que cada projeto leve em consideração estudos de viabilidade técnica e econômica, a fim de assegurar que a aplicação do telhado verde seja eficaz e sustentável em diferentes contextos urbanos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Algarvio, D. A. N. (2009). **Reciclagem de resíduos de construção e demolição**: Contribuição para controle do processo (Doctoral dissertation, FCT-UNL).
- 2 KARPINSKI, L. A.; PANDOLFO, A.; REINEHR, R.; ROJAS, J. W. J. **Gestão diferenciada de resíduos de construção e demolição**: uma visão abrangente no município de Passo Fundo-RS. Estudos Tecnológicos (on-line), v. 4, 2008. p.69-87.
- 3 JOHN, V. M.; AGOPYAN, V.; ABIKO, A. K.; PRADO, R. T. A.; GONÇALVES, O. M. SOUZA, U. E. Agenda 21 for the Brazilian construction industry -

- a pro- **Construção e desenvolvimento sustentável 25 posal**.In: CIB SYMPOSIUM CONSTRUCTION AND ENVIRONMENT.Theory to practice. São Paulo: PCC USP/CIB, 2000.
- 4 TOMINAGA, Erika Naomi de Souza. **URBANIZAÇÃO E CHEIAS: MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE**.2013. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
  - 5 LAGADEC, L-R.; PIERRE PATRICE, P.; BRAUD, I.; CHAZELLE, B.; MOULIN, L.; DEHOTIN, J.; HAUCHARD, E.; BREIL, P. Description and evaluation of a surface runoff susceptibility mapping method. *Journal of Hydrology*, v. 541, 2016. pp. 495–509.
  - 6 LIMA, W.P. (2008) **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**.Universidade de São Paulo, São Paulo, 2.ed.
  - 7 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*, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 139-154, jan./mar. 2014.
  - 8 RECIFE/ PE (Município). Lei nº 18112, de 12 de janeiro de 2015. **Dispõe Sobre A Melhoria da Qualidade Ambiental das Edificações Por Meio da Obrigatoriedade de Instalação do "Telhado Verde", e Construção de Reservatórios de Acúmulo Ou de Retardo do Escoamento das Águas Pluviais Para A Rede de Drenagem e Dá Outras Providências**. Recife, PE.
  - 9 PEDREGULHO/ SP (Município). Lei nº 3237, de 19 de janeiro de 2024. **Institui O Programa de Incentivo e Desconto - Denominado "IPTU Verde", no Município de Pedregulho/Sp e Dá Outras Providências**". Pedregulho, SP.
  - 10 BORGES, Hellen Heloyze dos Santos. **A Utilização do Telhado Verde na Construção Civil como Alternativa para Diminuição dos Impactos Ambientais 2018**. 74 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2018.
  - 11 YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. São Paulo: [s. n.], setembro 2009. 10ª Edição. Disponível em: [https://www.academia.edu/49188863/A\\_T%C3%A9cnica\\_de\\_Edificar\\_Walid\\_Yazigi](https://www.academia.edu/49188863/A_T%C3%A9cnica_de_Edificar_Walid_Yazigi). Acesso em: 8 abr. 2024.
  - 12 ARQUITETURA E SUSTENTABILIDADE. **Telhado Verde – Tipos e Implantação**. Disponível em: <http://arquiteturaesustentabilidade.com/2012/10/01/telhado-verde-tipos-e-implementacao/>. Acesso em: 14 Mar. 2024.
  - 13 BEZERRA, Johan Carlos. **Telhados Verdes: Métodos de Pesquisa e Propriedades**. 2018. 35f. Artigo Científico. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
  - 14 ECOTECNOLOGIAS. **Telhados Verdes**. Universidade Federal de Santa Maria, 2024. Disponível em: [https://ecotecnologias.org/?page\\_id=561](https://ecotecnologias.org/?page_id=561). Acesso em: 10 jun. 2024.
  - 15 SANTOS, Layla Carrijo dos. **Análise do Custo Benefício da Implantação do Sistema Construtivo de Telhado Verde em uma Edificação no Município de Barra do Garças-MT**. 2018. 93 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Mato Grosso, Campus Universitário do Araguaia, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Barra do Garças, 2018.
  - 16 RODRIGUES, Bruno Vinicius; CABRAL, Rafaela Paulina dos Santos. **Telhado Verde: Análise Comparativa entre Telhado Verde e Telhado Convencional**. 2020, 47p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade Evangélica de Goianésia. 2020.

- 17 ROCHA, Ranny Scarlet Tavares Marcolino da. **Desempenho Térmico de Telhado Verde Ecológico de Baixo Custo em Clima Semiárido**. 2020. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco.
- 18 INETI. **Sistema nacional de informação geocientífica** - léxico de termos hidrogeológicos.e-geo.ineti.pt.2009.
- 19 MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013.
- 20 KOLB, W. “**Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais**”. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, v.4, 2003. Juazeiro.
- 21 VAREJÃO - SILVA, Márcio Adelmo. **Meteorologia e Climatologia**. Pernambuco, março 2006. Disponível em:<https://www.estantevirtual.com.br/livros/m-a-varejao-silva/meteorologia-e-climatologia/1902410482>. Acesso em: 29 abr. 2024.
- 22 TUCCI, C.E.M. (2003a). Águas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1.ed.
- 23 VIANA, Andressa Jordana Abreu; ARRUDA, Ricardo Augusto da Silva. A Eficácia do Telhado Verde na Redução e Retardo do Escoamento Superficial. Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 49p. 2017.
- 24 INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Dados Meteorológicos Precipitação Acumulada**. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada>. Acesso em: 26 de Maio de 2024.
- 25 DUARTE, João Carlos Machado. **Aplicação de protótipo de telhado verde para a avaliação do escoamento superficial e aproveitamento da água para fins não potáveis**. 2018. 51 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul Campus de Cerro Largo, Cerro Largo, 2018
- 26 COSTA, V.J. **Estudos experimentais da redução e retardo do escoamento superficial das águas pluviais em telhado verde**, Toledo 2016