



BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANÁLISE COMPARATIVA DA RETENÇÃO HÍDRICA E COEFICIENTE DE RUNOFF ENTRE COBERTURA CONVENCIONAL E TELHADO VERDE COM GEOCOMPOSTO DRENANTE

LETICIA LEONARDO MARTINS

RIO VERDE, GO

2026

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RETENÇÃO HÍDRICA E COEFICIENTE DE
RUNOFF ENTRE COBERTURA CONVENCIONAL E TELHADO VERDE COM
GEOCOMPOSTO DRENANTE**

LETICIA LEONARDO MARTINS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Federal
Goiano – Campus Rio Verde, como
requisito parcial para a obtenção do
Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Charles Pereira
Chaves

RIO VERDE – GO

2026

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

M386a	Martins, Leticia Leonardo ANÁLISE COMPARATIVA DA RETENÇÃO HÍDRICA E COEFICIENTE DE RUNOFF ENTRE COBERTURA CONVENCIONAL E TELHADO VERDE COM GEOCOMPOSTO DRENANTE / Leticia Leonardo Martins. RIO VERDE 2026. 36f. il. Orientador: Prof. Dr. Charles Pereira Chaves. Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0220084 - Bacharelado em Engenharia Civil - Integral - Rio Verde (Campus Rio Verde). 1. Geossintéticos. 2. Drenagem urbana. 3. Medidas compensatórias. I. Título.
-------	--

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☒ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

LETICIA LEONARDO MARTINS

Matrícula:

2019102200840187

Título do trabalho:

ANÁLISE COMPARATIVA DA RETENÇÃO HÍDRICA E COEFICIENTE DE RUNOFF ENTRE COBERTURA CONVENCIONAL E TELHADO VERDE COM GEOCOMPOSTO DRENANTE

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: 06 /03 /2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

RIO VERDE

Local

02 /03 /2026

Data



Documento assinado digitalmente
LETICIA LEONARDO MARTINS
Data: 03/03/2026 10:25:33 -0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Documento assinado digitalmente
CHARLES PEREIRA CHAVES
Data: 03/03/2026 17:57:31 -0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

Regulamento de Trabalho de Curso (TC) – IF Goiano - Campus Rio Verde

ANEXO V - ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos 23 dias do mês de fevereiro de dois mil e vinte e seis, às 14 horas, reuniu-se a Banca Examinadora composta por: Prof. Charles Pereira Chaves (orientador), Prof. Bruna Oliveira Campos e Thiago de Souza Louzada, para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado "ANÁLISE COMPARATIVA DA RETENÇÃO HÍDRICA E COEFICIENTE DE RUNOFF ENTRE COBERTURA CONVENCIONAL E TELHADO VERDE COM GEOCOMPOSTO DRENANTE" de Letícia Leonardo Martins, estudante do curso de ENGENHARIA CIVIL do IF Goiano – Campus Rio Verde, sob Matrícula nº 2019102200840187. A palavra foi concedida ao(à) estudante para a apresentação oral do TC, em seguida houve arguição do candidato pelos membros da Banca Examinadora. Após tal etapa, a Banca Examinadora decidiu pela APROVAÇÃO COM RESSALVA do(a) estudante desde que seja apresentado o TC na forma escrita com as devidas correções à banca novamente até o dia 05/03/2026, caso não seja enviada as correções será considerado REPROVADO. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata, que, foi assinada pelos membros da Banca Examinadora e Mediador de TC.

Rio Verde, 23 de fevereiro de 2026.

DSc.Charles Pereira Chaves
Orientador

MSc. Bruna de Oliveira Campos
Membro da Banca Examinadora

DSc. Thiago de Sousa Louzada
Membro da Banca Examinadora

 Documento assinado digitalmente
THIAGO DE SOUZA LOUZADA
Data: 04/03/2026 09:12:01 -0300
Verifique em <https://validar.if-goiano.br>

Philippe Barbosa Silva
Membro da Banca Examinadora

Heitor Cardoso Bernardes
Mediador de TC

Documento assinado eletronicamente por:

- Charles Pereira Chaves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/03/2026 10:49:11.
- Philippe Barbosa Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/03/2026 11:34:34.
- Bruna Oliveira Campos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 02/03/2026 13:51:20.
- Heitor Cardoso Bernardes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/03/2026 19:54:51.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 02/03/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 794529
Código de Autenticação: b185bb88f9



AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me abençoado e sustentado em cada passo desta trajetória acadêmica.

À minha mãe, que dividiu este sonho comigo e esteve presente em cada etapa. Minha eterna gratidão por nunca me permitir desistir, por sua presença constante e por ser meu porto seguro.

Ao meu pai (in memoriam), que embora não possa presenciar fisicamente esta formatura, foi o primeiro a acreditar no meu potencial e o maior incentivador para que eu iniciasse este curso. Esta conquista carrega, para sempre, o seu nome.

Ao meu namorado, Osmar Filho, pelo apoio incondicional em todas as fases deste trabalho. Obrigada por acreditar em mim mesmo nos momentos de maior incerteza e por caminhar ao meu lado.

Ao meu avô Alcir e ao meu irmão Lucas, que não mediram esforços para me auxiliar na construção física e logística deste projeto. Sem a dedicação de vocês, este experimento não seria possível.

Ao meu orientador, Prof. Charles Chaves, pela confiança ao aceitar o desafio deste estudo, pela paciência e pelas orientações que foram fundamentais para o meu amadurecimento profissional.

A Maccaferri do Brasil, pelo apoio institucional e pela generosa doação dos materiais geossintéticos utilizados neste experimento. A viabilidade técnica deste estudo foi diretamente impulsionada pela qualidade das soluções cedidas pela empresa, cujo compromisso com a pesquisa e a inovação na engenharia civil foi fundamental para a obtenção dos resultados aqui apresentados.

Aos professores do curso de Engenharia Civil, por todo o conhecimento compartilhado e pela dedicação em formar não apenas profissionais, mas cidadãos éticos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do Telhado Verde	14
Figura 2: Terraços Vegetados da Babilônia	15
Figura 3: Telhados de Turfa	15
Figura 4: Módulo experimental	18
Figura 5 : Sistema de articulação - módulo experimental.....	19
Figura 6: Base impermeabilizada	19
Figura 7: Perspectiva isométrica e vista lateral do módulo experimental	20
Figura 8: Estrutura para fechamento perimetral	21
Figura 9 - Fechamento perimetral	21
Figura 10 – Fluxograma de Execução.....	22
Figura 11: Módulo de calibração	23
Figura 12: Módulo de cobertura convencional.....	24
Figura 13: Perspectiva do MCV.....	24
Figura 14: Geocomposto Drenante	25
Figura 15: Modelo esquemático do geocomposto drenante.....	25
Figura 16: Camada drenante.....	26
Figura 17: Aplicação do substrato	26
Figura 18: Espécie vegetal <i>Portulaca grandiflora</i>	27
Figura 19: Esquema de Corte - TVE	28
Figura 20: Simulador de chuva.....	29
Figura 21: Vista inferior da disposição dos microaspersores	29
Figura 22:Comparativo ensaio 01	32
Figura 23: Comparativo ensaio 02	32
Figura 24: Comparativo ensaio 03	33
Figura 25: Comparativos Coeficiente de Runoff.....	35

RESUMO

A urbanização acelerada promove a impermeabilização do solo, resultando em sobrecarga nos sistemas de drenagem e aumento de inundações. Como medida compensatória, os telhados verdes surgem como uma solução eficaz para a retenção de águas pluviais na fonte. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho hidrológico de um telhado verde extensivo, construído com geossintéticos, em comparação a uma cobertura convencional. A metodologia consistiu em ensaios de simulação de chuva com intensidade crítica alcançada de 116,20 mm/h em módulos de 1,155 m². Foram analisados o Coeficiente de *Runoff* (C), o volume retido e o tempo de atraso (*delay*) do escoamento. Os resultados demonstraram que o telhado verde reduziu o Coeficiente de *Runoff* de 0,976 (convencional) para 0,826, proporcionando uma retenção hídrica de 17,4% do volume total precipitado. Além disso, o sistema promoveu um atraso médio no início do escoamento de 3 minutos e 48 segundos, um aumento de quase sete vezes em relação ao módulo convencional (34 segundos). Os geossintéticos utilizados (geomembrana, geocomposto drenante) validaram sua funcionalidade técnica, garantindo a estanqueidade e a filtragem do sistema. Conclui-se que o telhado verde extensivo é uma alternativa viável e eficiente para a mitigação de picos de vazão em áreas urbanas, como o município de Rio Verde/GO.

Palavras-chave: Geossintéticos. Drenagem Urbana. Medidas Compensatórias. *Delay*.

ABSTRACT

Accelerated urbanization promotes soil impermeabilization, leading to the overloading of drainage systems and an increase in flooding events. As a compensatory measure, green roofs emerge as an effective solution for rainwater retention at the source. This study aimed to evaluate the hydrological performance of an extensive green roof, constructed with geosynthetics, in comparison to a conventional roofing system. The methodology involved rainfall simulation tests with a critical intensity of 116.20 mm/h performed on 1.155 m² test modules. The Runoff Coefficient (C), retained volume, and runoff delay time were analyzed. The results demonstrated that the green roof reduced the Runoff Coefficient from 0.976 (conventional) to 0.826, providing water retention of 17.4% of the total precipitated volume. Furthermore, the system promoted an average delay in the start of runoff of 3 minutes and 48 seconds, an increase of nearly seven times compared to the conventional module (34 seconds). The geosynthetics used (geomembrane, drainage geocomposite) validated their technical functionality, ensuring the system's watertightness and filtration. It is concluded that the extensive green roof is a viable and efficient alternative for mitigating peak flow in urban areas, such as the municipality of Rio Verde/GO.

Keywords: Geosynthetics. Urban Drainage. Compensatory Measure. *Delay*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo Geral	12
1.2. Objetivos Específicos.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Hidrologia Urbana e a Dinâmica da Impermeabilização	13
2.2 Telhados Verdes: Conceitos, Tipologias e Mecanismos Hidrológicos.....	13
2.3 Classificação e Implicações Estruturais	16
2.4 Mitigação Quantitativa e Retardo (<i>Delay</i>).....	17
2.5 Serviços Ecossistêmicos Adicionais.....	17
2.6 Geossintéticos na Engenharia de Telhados Verdes	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1. Construção do Módulo Experimental	18
3.2. Módulo de Calibração (M0).....	22
3.3. Módulo de Cobertura Convencional (MCV).....	23
3.4. Configuração do Telhado Verde Experimental (TVE).....	24
3.5 Calibração da Chuva.....	28
3.6 Coeficiente de <i>Runoff</i>	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Análise do Tempo de Retardo (<i>Delay</i>) do Escoamento	31
4.2. Desempenho Hidrológico e Coeficiente de <i>Runoff</i>	34
4.3 Análise da Retenção Hídrica.....	35
4.4 Análise Funcional dos Materiais Geossintéticos.....	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

A urbanização acelerada e a consequente impermeabilização das superfícies constituem fatores críticos que impactam o ciclo hidrológico natural em ambientes urbanos. Ao substituir solos permeáveis por pavimentos e estruturas de concreto e asfalto, a capacidade de infiltração da água pluvial é drasticamente reduzida, culminando na sobrecarga dos sistemas de drenagem e no aumento da frequência e magnitude de eventos de alagamento e inundação (TUCCI, 2003). Este processo é caracterizado pelo aumento dos volumes escoados, pela elevação das vazões de pico e pela redução do tempo de concentração da bacia hidrográfica, o que, em última análise, intensifica os picos dos hidrogramas de cheias.

Para a mitigação desses impactos, a adoção de Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDU), que visam a retenção da água na fonte, tem se consolidado como uma estratégia fundamental na gestão de águas pluviais. Dentre as soluções de infraestrutura verde, os telhados verdes (ou *green roofs*) emergem como uma alternativa de alto potencial, oferecendo múltiplos benefícios ambientais, estéticos e, notavelmente, hidrológicos. O potencial desses sistemas é robusto, com simulações indicando que a implementação de telhados verdes pode gerar uma redução do volume de escoamento superficial lançado na rede de drenagem urbana, com variações que podem atingir de 76,54% a 96,64% em diferentes configurações (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018). Esta dupla ação — a retenção de volume e o retardo do tempo de início do escoamento (*delay*) — é crucial para a proteção da infraestrutura de drenagem e a atenuação dos picos de cheia (LOUZADA, 2016). Adicionalmente, os telhados verdes são reconhecidos por proverem importantes serviços ecossistêmicos, como a melhoria da regulação térmica e a redução do efeito de ilhas de calor urbanas (DUNNETT *et al.*, 2007; MARONEZ e CARRARO, 2017).

O desempenho técnico dos telhados verdes, particularmente os de tipologia extensiva, está intrinsecamente ligado à seleção e ao emprego de geossintéticos. Estes materiais poliméricos são essenciais para superar os desafios de peso e vulnerabilidade estrutural, garantindo funções críticas de engenharia, tais como a drenagem, a filtragem (geotêxteis) e a impermeabilização (geomembranas), sendo peças-chave para a estabilidade e a funcionalidade do sistema (VERTEMATTI, 2004). O uso de geocompostos drenantes, por exemplo, permite uma redução significativa

na espessura da camada de drenagem em comparação com agregados granulares, minimizando a sobrecarga estrutural e facilitando a instalação em módulos pré-fabricados.

O município de Rio Verde, no estado de Goiás, insere-se neste cenário de expansão urbana e crescente vulnerabilidade hídrica. A região apresenta um clima tropical de savana (Aw), com uma precipitação média anual superior a 1500mm (SILVA, 2025), sendo a elevada variabilidade pluviométrica, com a maior concentração de chuvas entre outubro e abril, um fator que impõe a necessidade de soluções robustas para o gerenciamento de picos de vazão. A presente pesquisa utilizou como parâmetro de ensaio uma Intensidade Crítica Alcançada (ICA) de 116,20mm/h, que é representativa de eventos de alta pluviosidade na região. Contudo, observa-se uma lacuna na literatura técnica local no que tange à quantificação da eficácia hidrológica de MCDU adaptadas aos materiais regionais e às especificações climáticas específicas da região.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho hidrológico de um protótipo de telhado verde extensivo, quantificando seu potencial de mitigação do escoamento superficial por meio da análise do tempo de concentração e do Coeficiente de *Runoff*.

1.2. Objetivos Específicos

- Determinar o tempo de atraso (*delay*) no início do escoamento e o Coeficiente de *Runoff* (C) para as configurações de cobertura testadas (convencional e verde).;
- Analisar a funcionalidade e os aspectos construtivos dos materiais geossintéticos (Geomembrana e Geocomposto Drenante) empregados no sistema;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Hidrologia Urbana e a Dinâmica da Impermeabilização

O ciclo hidrológico natural é profundamente alterado pelo processo de expansão e ocupação urbana (TUCCI, 2003). O avanço das cidades implica na impermeabilização do solo, modificando o balanço hídrico ao reduzir a infiltração e aumentar o volume de água que escoar superficialmente. As principais consequências hidrológicas dessa alteração são o aumento dos picos de vazão e a concentração de pontos de alagamentos, agravadas pela redução do tempo de concentração da bacia (TUCCI, 2003).

Com base nos estudos de (BENINI, 2015), as medidas compensatórias de drenagem urbana manifestam-se através de diversas técnicas aplicadas na fonte ou no sistema de transporte, como é o caso dos pavimentos permeáveis e das trincheiras de infiltração, que permitem a passagem da água para as camadas inferiores do solo, reduzindo drasticamente o escoamento superficial. Além destas, destacam-se os microrreservatórios de retenção, que armazenam temporariamente as águas pluviais nos lotes para posterior liberação lenta na rede pública, e os telhados verdes, que utilizam camadas de vegetação para reter a precipitação inicial, enquanto bacias de retenção e jardins de chuva funcionam como áreas de infiltração e purificação natural em escala urbana.

Em Rio Verde/GO, a alta pluviosidade, com precipitação média anual superior a 1500 mm (SILVA, 2025), exige a implementação de Medidas Compensatórias de Drenagem Urbana (MCDU) que priorizem a retenção e a infiltração na fonte, atenuando a sobrecarga da infraestrutura pluvial (CALIL, BERNARDI e RIGHES, 2016).

2.2 Telhados Verdes: Conceitos, Tipologias e Mecanismos Hidrológicos

O telhado verde consiste na aplicação de um sistema de solo (substrato) e vegetação sobre estruturas de cobertura impermeáveis. O princípio fundamental em Engenharia Hidráulica é o controle quantitativo da água pluvial (JOBIM, 2013), promovendo o retardamento do escoamento superficial, a infiltração e a subsequente evapotranspiração (VIEIRA, SILVA JÚNIOR e RIBEIRO, 2015). A Figura 1 ilustra uma

configuração típica de telhado verde, sendo fundamental ressaltar que existem diversas variações estruturais para esse sistema. As camadas e os materiais utilizados podem alternar-se significativamente conforme a metodologia aplicada, os objetivos de desempenho hídrico e as especificidades técnicas do projeto. Essa versatilidade permite que o sistema seja adaptado para diferentes funções, desde a simples retenção de águas pluviais até o isolamento térmico avançado da edificação.

Figura 1: Estrutura do Telhado Verde

AS CAMADAS DE UM TELHADO VERDE



Fonte: Jardinando, 2025.

A utilização de coberturas vegetadas, hoje conhecidas como telhados verdes, não é uma inovação da arquitetura moderna, mas sim uma prática que remonta a civilizações antigas, evoluindo em função das necessidades climáticas, culturais e, mais recentemente, ambientais (ALMEIDA, 2010; ALMEIDA; BRITO, 2018). O conceito de telhado verde possui raízes históricas profundas, sendo possível identificar seu uso em diferentes contextos geográficos e temporais.

O exemplo mais célebre e frequentemente citado é o dos Jardins Suspensos da Babilônia, construídos por volta de 600 a.C. (RAMOS, MACHADO, 2017). Embora o objetivo principal fosse estético e de ostentação, esses terraços vegetados representam uma das primeiras formas de telhado verde, demonstrando a capacidade de cultivar vegetação em estruturas elevadas (ARNAUD, 2018).

Figura 2: Terraços Vegetados da Babilônia



Fonte: Adaptado de ALMEIDA (2010)

Em regiões de clima frio, como a Escandinávia, o uso de telhados de turfa (grama e terra) era uma solução construtiva tradicional e funcional (CORRENT, 2017). Estes telhados, utilizados por séculos, tinham como principal finalidade o isolamento térmico, protegendo as habitações contra as baixas temperaturas e o vento, além de oferecerem proteção contra a chuva (ECOTELHADO, 2007).

Figura 3: Telhados de Turfa



Fonte: Treehugger (2020)

Após um período de declínio, o interesse pelos telhados verdes ressurgiu com a crescente conscientização ambiental e a necessidade de soluções para os problemas urbanos. A partir do final do século XX, a prática se expandiu globalmente, impulsionada pela busca por soluções sustentáveis para a gestão de águas pluviais urbanas, o combate ao efeito de ilha de calor e a melhoria da qualidade do ar (ECOTELHADO, 2025). O conceito de terraço-jardim, sistematizado por Le Corbusier como um dos cinco pontos da arquitetura moderna, propõe a recuperação da projeção horizontal da edificação através da criação de um "jardim suspenso" (SALEIRO FILHO et al., 2015). Segundo (AGUIAR, 2015), esta solução não visa apenas a ampliação do espaço útil para lazer, mas atua como um elemento ambiental estratégico para a habitabilidade em áreas urbanas densas. Historicamente, essa prática evoluiu de técnicas vernaculares até consolidar-se contemporaneamente sob a terminologia de "telhado verde", integrando benefícios como o isolamento térmico e a mitigação de ilhas de calor (SALEIRO FILHO et al., 2015). Sob a perspectiva hídrica, a vegetação e o substrato nas coberturas funcionam como filtros naturais que retardam o escoamento superficial das águas pluviais, auxiliando no controle de enchentes urbanas (AGUIAR, 2015).

2.3 Classificação e Implicações Estruturais

Os telhados verdes são classificados em tipologias que dependem da complexidade do sistema, do porte da vegetação e da sobrecarga na estrutura (IGRA, 2017). Os extensivos caracterizam-se por serem de baixa complexidade, incidem sobrecarga menor e possuem camada de solo (substrato) entre 5 e 15 cm. Já os intensivos consistem em estruturas mais complexas que comporta vegetação de médio a grande porte, com camada de solo variando de 15 a 40 cm, impondo uma alta sobrecarga na estrutura. A partir disso surge os semi-intensivos (configuração híbrida) se apropriando das vantagens de ambos.

O módulo experimental desta pesquisa, com 4 cm de altura de substrato, enquadra-se na categoria de telhados extensivos ultra-leves, sendo ideais para estruturas existentes devido ao seu baixo impacto estrutural (IGRA, 2017).

2.4 Mitigação Quantitativa e Retardo (*Delay*)

A principal contribuição do telhado verde, em termos de Engenharia Hidráulica é a atenuação do escoamento. Estudos demonstram que a redução do volume de água lançado na drenagem urbana pode variar significativamente (ALBUQUERQUE *et al.*, 2018). A retenção hídrica é mais eficaz em eventos de precipitação de menor intensidade (inferiores a 25 mm), onde a água pode ser retida em sua totalidade (LOUZADA, 2016). O mecanismo de retardo (*delay*) é igualmente crucial, pois o aumento do tempo de concentração da bacia reduz a simultaneidade dos picos de vazão na rede de drenagem.

2.5 Serviços Ecossistêmicos Adicionais

Além da função hidrológica primária, os telhados verdes promovem o conforto térmico nas edificações, reforçando sua importância como MCDU multifuncional. O desempenho térmico varia em função do tipo e espessura do substrato e da espécie vegetal, mas consistentemente supera o desempenho de coberturas convencionais (PANZIERA *et al.*, 2015; MARONEZ e CARRARO, 2017).

2.6 Geossintéticos na Engenharia de Telhados Verdes

O uso de geossintéticos na construção de telhados verdes representa um avanço significativo na engenharia e arquitetura, sendo fundamental para elevar a viabilidade técnica e a eficiência operacional do sistema (BENINI, 2015; LOUZADA, 2016). Diferente dos métodos tradicionais, a integração de geocompostos permite o desenvolvimento de coberturas mais leves e com alto desempenho hidráulico, reduzindo a carga permanente sobre a estrutura e facilitando a instalação (BENINI, 2015). De acordo com (Louzada, 2016) o emprego desses materiais é determinante para aumentar a capacidade de retenção de água do sistema, auxiliando no retardo do escoamento pluvial e garantindo a sobrevivência da vegetação em períodos de estiagem. Dentre os componentes, destacam-se os geotêxteis, que atuam como filtros para evitar a obstrução do sistema, e os geocompostos drenantes, que protegem a camada de impermeabilização contra danos mecânicos e garantem o fluxo contínuo das águas pluviais (BENINI, 2015; LOUZADA, 2016).

3. METODOLOGIA

O presente estudo adotou uma metodologia experimental fundamentada no desenvolvimento de módulos de teste para analisar o desempenho de coberturas verdes na mitigação do escoamento superficial e no prolongamento do tempo de retardo (*delay*) das águas pluviais. A análise consistiu na comparação entre um Módulo de Cobertura Convencional (MCV), composto por telhas de PVC, e um Telhado Verde Experimental (TVE), cuja camada vegetativa foi constituída pela espécie *Portulaca grandiflora* (onze-horas). Para quantificar o comportamento hidrológico dessas superfícies, utilizou-se o Coeficiente de Escoamento Superficial, ou Coeficiente de *Runoff* (C). Este parâmetro estabelece a razão entre o volume total de água escoado e o volume total precipitado sobre a área, configurando-se como um índice fundamental para o dimensionamento preciso de sistemas de drenagem urbana.

3.1. Construção do Módulo Experimental

A base experimental foi confeccionada em madeira de pinus com dimensões nominais de 1,05 m x 1,10 m, resultando em uma área de contribuição pluvial de 1,155 m². A estrutura foi equipada com um sistema de articulações por dobradiças, o qual permite a simulação controlada da precipitação sob diferentes ângulos de inclinação. As Figuras 4 e 5 apresentam a configuração final da base experimental pronta.

Figura 4: Módulo experimental



Fonte: Autor (2026)

Figura 5 : Sistema de articulação - módulo experimental



Fonte: Autor (2026)

A estanqueidade da base estrutural foi assegurada pela aplicação de uma geomembrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com espessura nominal de 1,0 mm (Marca Roma). O material foi moldado sobre a base do módulo e fixado em suas extremidades superiores com pregos de pequenas dimensões conforme a Figura 6, tal procedimento de fixação foi executado de modo a não comprometer a integridade da barreira impermeável nas áreas de fluxo hídrico.

Figura 6: Base impermeabilizada



Fonte: Autor (2026)

Para evitar a interferência do vento e assegurar a precisão dos ensaios, a base do módulo foi cercada por uma proteção de lona. Esse isolamento perimetral garantiu que toda a água precipitada fosse direcionada ao sistema de medição, sem perdas por dispersão. A configuração dessa proteção pode ser observada na perspectiva isométrica (Figura 7), no detalhe da estrutura (Figura 8) e no fechamento completo (Figura 9).

Figura 7: Perspectiva isométrica e vista lateral do módulo experimental



Fonte: Autor (2026)

Figura 8: Estrutura para fechamento perimetral



Fonte: Autor (2025)

Figura 9 - Fechamento perimetral

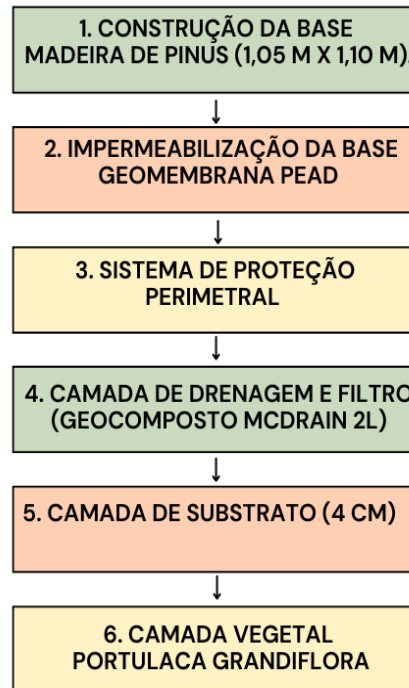


Fonte: Autor (2025)

A seguir, apresenta-se o detalhamento construtivo e as etapas de montagem do aparato experimental utilizado nos ensaios. A Figura 10 apresenta o fluxograma

detalhado das etapas de execução, desde a preparação da estrutura física até a fase de ensaios e coleta de dados.

Figura 10 – Fluxograma de Execução



Fonte: Autor (2025)

3.2. Módulo de Calibração (M0)

Para a calibração do simulador de chuva, utilizou-se o Módulo Zero (M0), que atua como uma superfície de controle impermeável de 1,155 m². Esta etapa é fundamental para o balanço hídrico do experimento, pois permite mensurar a precipitação real aplicada pelo sistema, garantindo que o volume coletado represente fielmente a capacidade do simulador antes de sofrer as interferências de retenção do substrato e da vegetação. Para a mensuração da precipitação aplicada, utilizaram-se provetas graduadas de alta precisão. O sistema de coleta da água foi estruturado com um mecanismo de sifonagem acoplado a um recipiente de volume conhecido, permitindo o armazenamento temporário do volume escoado. Posteriormente, a determinação da massa de água coletada foi realizada via pesagem em balança de precisão, garantindo a conversão exata do volume para análise do balanço hídrico.

Figura 11: Módulo de calibração



Fonte: Autor (2025)

3.3. Módulo de Cobertura Convencional (MCV)

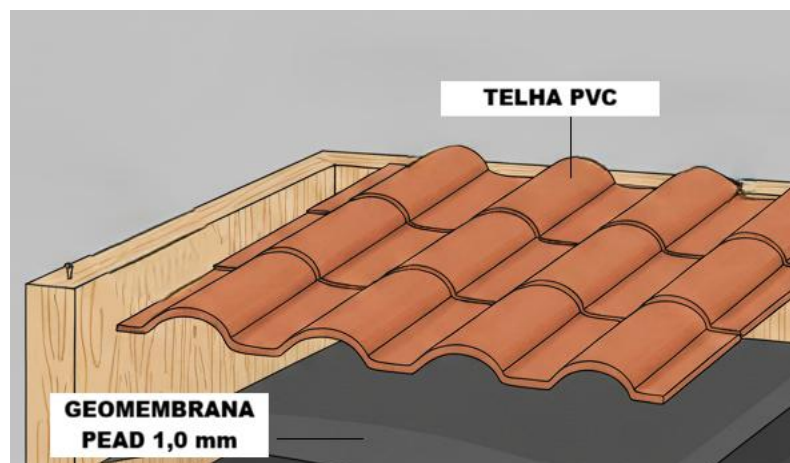
O Módulo de Cobertura Convencional (MCV) foi concebido como a unidade de controle do experimento, simulando as condições de uma cobertura residencial padrão. Sobre a base previamente impermeabilizada, procedeu-se à instalação de telhas de PVC do tipo *Plan* (modelo equivalente ao DVG Precon) conforme Figura 12 e 13. O sistema foi montado de modo a cobrir integralmente a área de contribuição de 1,155 m², permitindo a comparação direta do escoamento superficial entre um método tradicional e o sistema de telhado verde. A seleção deste modelo de telha justificou-se pela sua reduzida carga própria, o que minimiza os esforços sobre a estrutura experimental montada. Além disso, o material apresenta características de estanqueidade e impermeabilização equivalentes às das telhas de zinco, garantindo a integridade dos ensaios.

Figura 12: Módulo de cobertura convencional



Fonte: Autor (2026)

Figura 13: Perspectiva do MCV



Fonte: Autor (2026)

3.4. Configuração do Telhado Verde Experimental (TVE)

O Telhado Verde Experimental (TVE) foi configurado para replicar um modelo extensivo ultra-leve, com foco na otimização de peso e funcionalidade hidrológica, baseado em estudos de referência (LOUZADA, 2016).

A camada drenante e filtrante foi constituída pelo Geocomposto Drenante MCDrain® 2L (Figura 14). Segundo as especificações técnicas do fabricante, o

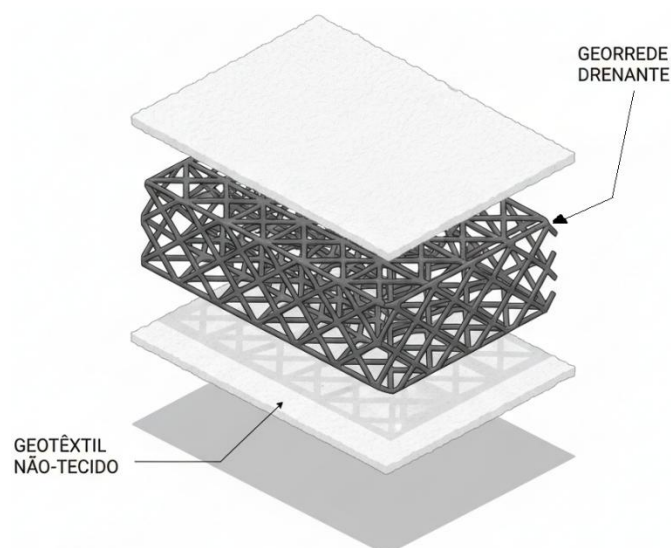
material consiste em um geocomposto sintético formado por um núcleo tridimensional acoplado a uma dupla camada de geotêxtil não tecido, projetado para drenar águas de infiltração e percolação (MACCAFERRI DO BRASIL, [20--]). Fornecido pela empresa Maccaferri, o emprego deste geossintético visa avaliar sua eficácia na drenagem horizontal e sua capacidade de mitigar a sobrecarga estrutural no sistema, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 14: Geocomposto Drenante



Fonte: Autor (2026)

Figura 15: Modelo esquemático do geocomposto drenante



Fonte: Autor (2026)

Figura 16: Camada drenante



Fonte: Autor (2026)

Sobre a camada de geocomposto drenante (Figura 16), procedeu-se ao espalhamento do substrato orgânico em uma espessura uniforme de 4 cm. A configuração final deste estágio do experimento pode ser observada na Figura 17.

Este componente desempenha uma função multifuncional no sistema: atua como suporte mecânico e nutricional para o desenvolvimento da vegetação, além de constituir a primeira barreira de retenção hídrica, elevando o tempo de concentração do escoamento superficial.

Figura 17: Aplicação do substrato



Fonte: Autor (2026)

A espécie vegetal escolhida para a cobertura foi a onze-horas (*Portulaca grandiflora*), que é notável por sua alta tolerância à seca e à exposição solar, além de sua baixa exigência de manutenção, características ideais para sistemas de telhado verde extensivo em um clima tropical. A escolha da espécie vegetal é um dos fatores críticos para a viabilidade técnica de um telhado verde, especialmente em sistemas extensivos onde a espessura do substrato é reduzida. Para este estudo, selecionou-se a onze-horas (*Portulaca grandiflora*), uma espécie suculenta que apresenta características fisiológicas altamente compatíveis com o clima tropical e as especificidades do bioma Cerrado (Figura 18).

A onze-horas destaca-se por sua notável resiliência ao estresse hídrico e à elevada irradiância solar, atributos fundamentais para a região de Rio Verde (GO). No Cerrado, a ocorrência de períodos de estiagem exige plantas com mecanismos eficientes de conservação de água. Por ser uma planta suculenta, ela possui tecidos especializados no armazenamento de umidade e um metabolismo que permite o fechamento estomático em momentos de calor crítico, garantindo a sobrevivência da cobertura sem a necessidade de sistemas complexos de irrigação.

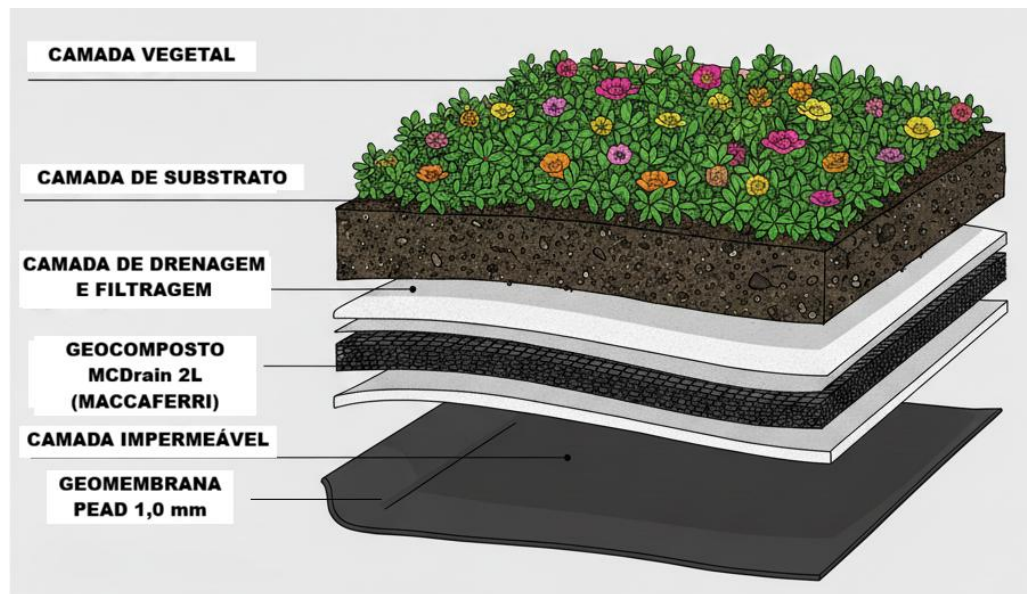
Além da resistência hídrica, a espécie apresenta baixa exigência nutricional e de manutenção, adaptando-se perfeitamente a substratos rasos. Do ponto de vista urbano, sua densa cobertura foliar auxilia na mitigação das ilhas de calor e na proteção da estrutura contra a radiação direta. O esquema de corte desta etapa pode ser observado na Figura 19.

Figura 18: Espécie vegetal *Portulaca grandiflora*



Fonte: Autor (2026)

Figura 19: Esquema de Corte - TVE



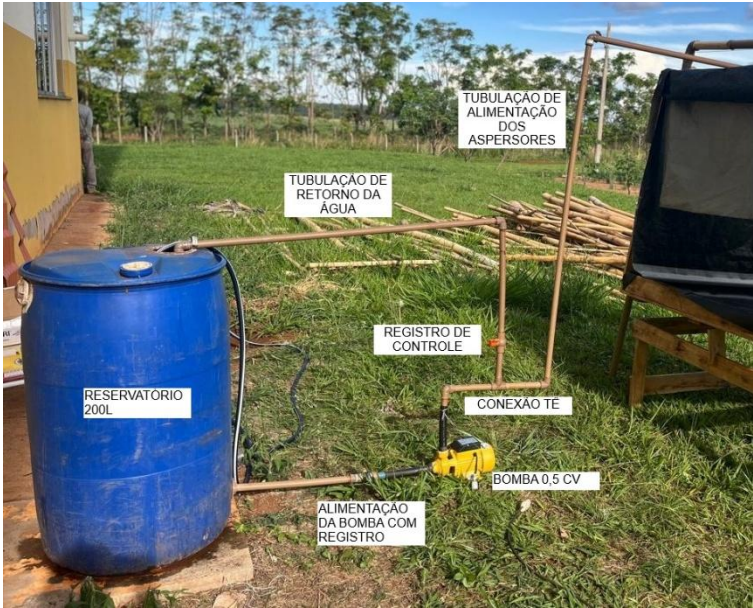
Fonte: Autor (2026)

3.5 Calibração da Chuva

O simulador de chuvas foi construído seguindo o design e o sistema de controle de vazão adaptados do trabalho de (LOUZADA, 2016). O sistema é composto por um reservatório de 200 L, uma bomba d'água de 0,5 CV e tubulação com microaspersores, conforme indicado na figura 20. O controle da intensidade é feito através de um registro de controle de vazão instalado em uma conexão "T", que permite o retorno do excesso de água ao reservatório (LOUZADA, 2016). A uniformidade da precipitação foi garantida pela distribuição de 8 microaspersores em uma tubulação quadrada de 0,80m X 0,80m, conforme demonstrado na figura 21.

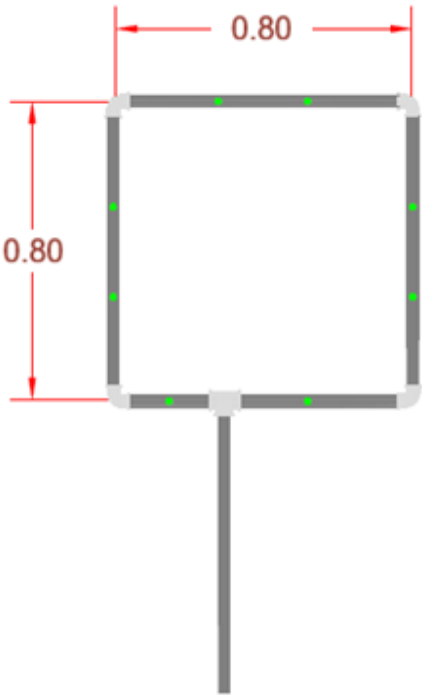
O processo de calibração foi concluído com a obtenção da Intensidade Crítica Alcançada (ICA), que constitui o parâmetro de entrada para todos os ensaios hidrológicos. O ajuste do registro de vazão resultou na aplicação de um Volume Total (VT) de 67,15 L em 30 minutos no Módulo Zero (M0). Esta vazão corresponde a uma Precipitação Total (P) de 58,10 mm, configurando a Intensidade Crítica Alcançada de 116,20 mm/h para o estudo.

Figura 20: Simulador de chuva



Fonte: Autor (2026)

Figura 21: Vista inferior da disposição dos microaspersores



Legenda de peças		
	Joelho Interno (Conexão de Mangueira) 3/4"	4pç
	Tê Interno (Conexão de Mangueira) 3/4"	1pç
	Microaspersor	8pç

Fonte: Autor (2026)

3.6 Coeficiente de *Runoff*

O coeficiente de *Runoff* define a relação entre o volume de água que efetivamente escoou sobre a superfície e o volume total precipitado. Sendo um índice adimensional, seus valores oscilam em um intervalo de 0 a 1, em que valores próximos de zero indicam superfícies com alta capacidade de infiltração ou retenção hídrica, enquanto valores próximos da unidade caracterizam superfícies impermeáveis. No presente estudo, utilizou-se a seguinte equação para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial tanto para o Módulo de Cobertura Convencional (MCV) quanto para o Telhado Verde Experimental (TVE):

$$C = \frac{V_{Coletado}}{V_{Total\ aplicado}}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados experimentais obtidos a partir dos ensaios de simulação de chuva. A análise comparativa entre o Módulo de Cobertura Convencional (MCV) e o Módulo de Telhado Verde Experimental (TVE) permite uma avaliação quantitativa da eficiência hidrológica do sistema de cobertura vegetal. O foco da análise reside na capacidade de retenção de águas pluviais e no retardo do escoamento superficial, sob a condição de uma intensidade crítica alcançada (ICA) de 116,20 mm/h, representativa de eventos pluviométricos extremos na região de estudo.

O quadro 01 sintetiza a matriz experimental adotada, detalhando os parâmetros fixos e as variáveis independentes que permitiram a análise comparativa entre os sistemas. A padronização da área de contribuição (1,155m²) e da intensidade de precipitação foi rigorosamente mantida para que a variação nos coeficientes de escoamento fosse atribuída exclusivamente às propriedades intrínsecas de cada tipo de cobertura (convencional vs. verde). Visando a precisão estatística, cada ensaio foi conduzido três vezes para cada módulo de teste, possibilitando a determinação do valor médio.

Quadro 1: Matriz experimental do estudo

Categoria	Descrição	Tipo de Variável
Módulos de teste	M0 (Calibração), MCV (Convencional), TVE (Telhado Verde)	Independente
Simulação de chuva	Intensidade controlada e aferida no módulo	Fixa
Cobertura MCV	Telha de PVC	Comparativa
Cobertura TVE	Portulaca grandiflora + substrato + geocomposto	Comparativa
Parâmetros medidos	Volume escoado (L), Massa (kg) e Tempo (min)	Resposta
Indicador de performance	Coeficiente de <i>Runoff</i> (C) e retenção hídrica (%)	Analítica

Fonte: Autor (2026)

4.1 Análise do Tempo de Retardo (*Delay*) do Escoamento

Os resultados demonstraram uma diferença expressiva entre os sistemas de início de escoamento médio de apenas 34 segundos para o MCV, evidenciando sua baixa capacidade de retenção temporária. Em contrapartida, o Módulo de Telhado Verde Extensivo (TVE) registrou um tempo de retardo médio de 3 minutos e 48 segundos, o que representa um incremento de aproximadamente 6,7 vezes em relação à cobertura convencional. A Tabela 01 expõe os dados do início de escoamento registrados em cada ensaio, consolidando as médias resultantes da experimentação.

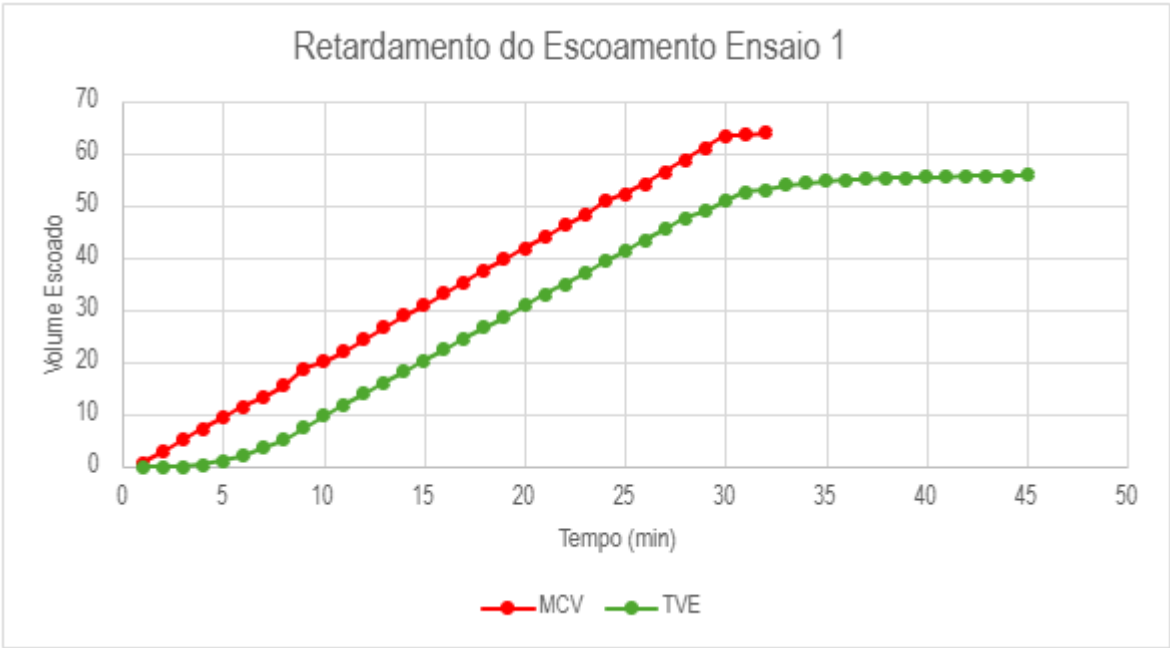
Tabela 1: Início do escoamento

Módulo	Ensaio	Início do escoamento
MCV	1	35 segundos
MCV	2	32 segundos
MCV	3	35 segundos
TVE	1	3 minutos 50 segundos
TVE	2	4 minutos 30 segundos
TVE	3	3 minutos 5 segundos

Fonte: Autor (2026)

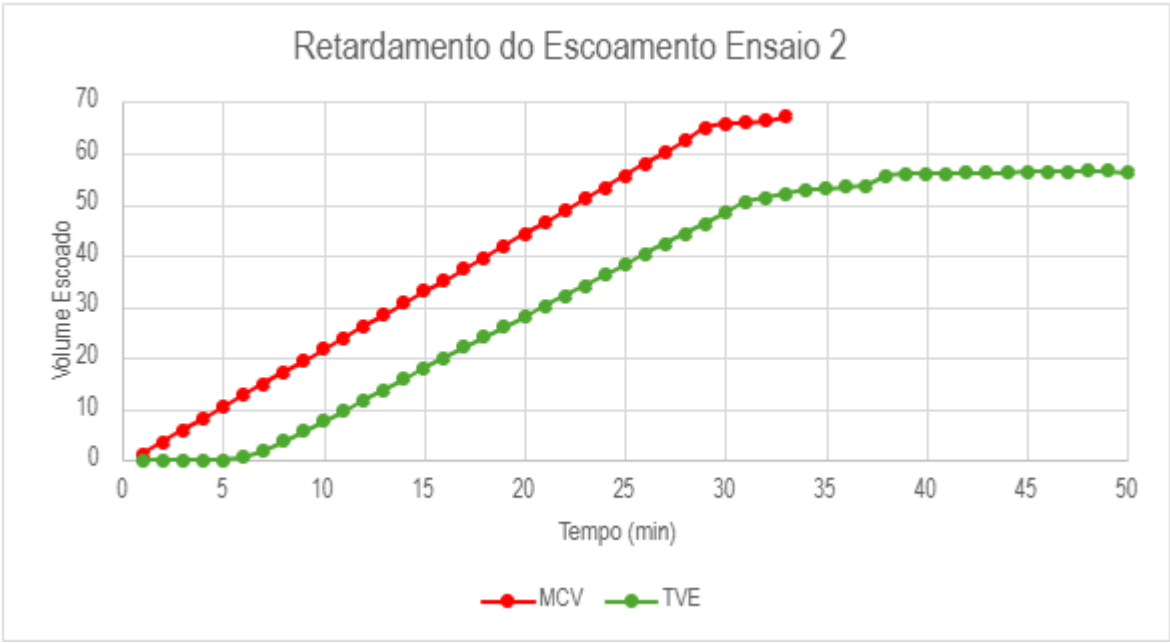
As Figuras 22, 23 e 24 apresentam os gráficos de volume escoado acumulado referentes aos ensaios 1, 2 e 3. Esta representação gráfica viabiliza a análise comparativa do comportamento hidrológico entre o Módulo de Cobertura Convencional (MCV) e o Telhado Verde Extensivo (TVE), destacando as distinções na resposta hídrica de cada sistema.

Figura 22:Comparativo ensaio 01

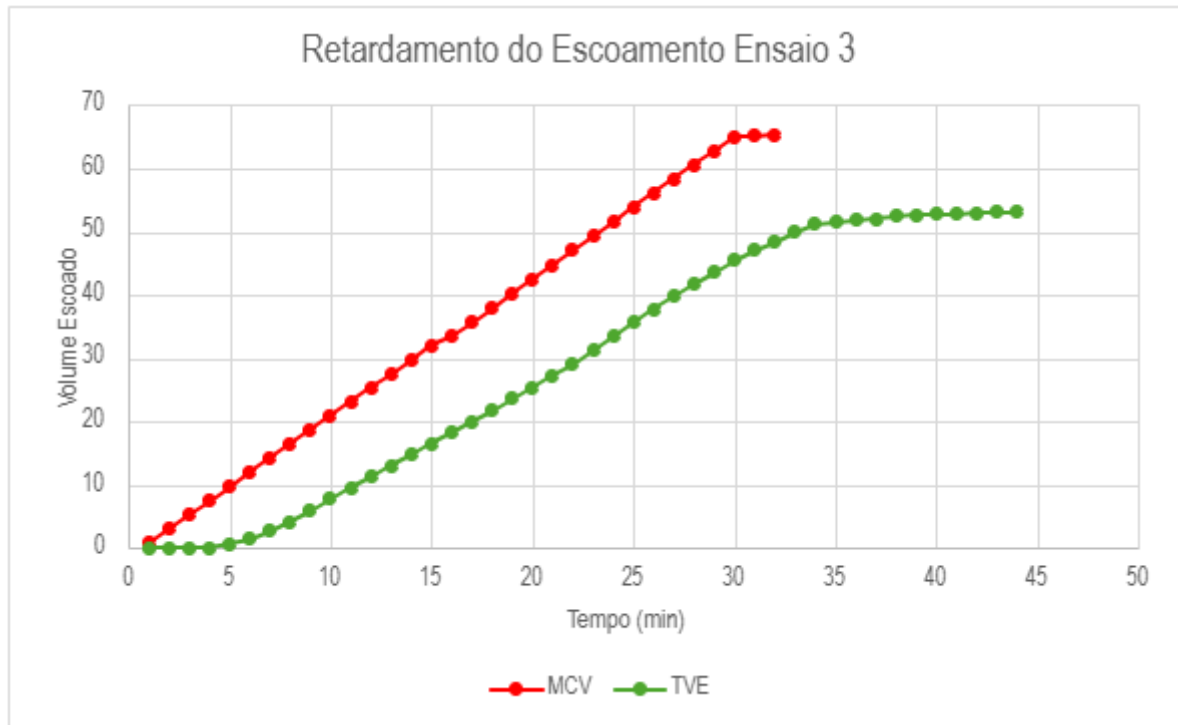


Fonte: Autor (2025)

Figura 23: Comparativo ensaio 02



Fonte: Autor (2025)

Figura 24: Comparativo ensaio 03

Fonte: Autor (2025)

Os resultados obtidos demonstram a eficácia do telhado verde na atenuação da resposta hidrológica, um fator determinante para a mitigação de inundações em áreas urbanas. A análise comparativa dos gráficos revela que, enquanto o MCV apresenta um escoamento superficial quase imediato, o TVE exibe um tempo de concentração significativamente mais elevado. Observa-se que, durante o episódio de precipitação simulada (30 minutos), o TVE retém parte do volume precipitado, prolongando o processo de escoamento para além do término do evento chuvoso. Este mecanismo de amortecimento é fundamental para a drenagem urbana, pois, enquanto o escoamento direto do sistema convencional sobrecarrega a rede, o TVE atua como um reservatório temporário, liberando a água de forma atenuada. Ressalta-se que, embora estes resultados derivem de um módulo experimental de pequena escala, a extrapolação deste comportamento para edificações de maior porte sugere um potencial significativo de redução das vazões de pico em bacias hidrográficas urbanas.

4.2. Desempenho Hidrológico e Coeficiente de *Runoff*

A partir dos dados experimentais, determinou-se o coeficiente de *Runoff* para cada módulo. O procedimento de cálculo está detalhado no memorial de cálculo, e os resultados finais encontram-se sintetizados na Tabela 02.

Quanto ao Módulo de Cobertura Convencional (MCV), os ensaios indicaram que, para um volume total aplicado (VT) de 67,15 L, o volume escoado médio (VE) foi de 65,52 L. Ao aplicar a relação fundamental para a determinação do coeficiente de *Runoff* ($C = VE / VT$), obteve-se um valor de aproximadamente 0,98. Esse resultado confirma a elevada taxa de escoamento superficial da cobertura, condizente com a característica de impermeabilidade das telhas de PVC utilizadas no experimento.

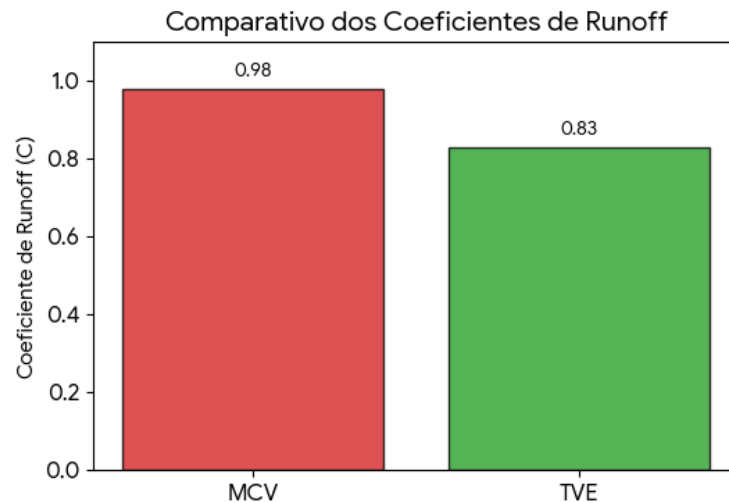
Quanto ao Módulo de Telhado Verde Extensivo (TVE), submetido ao mesmo volume total aplicado (VT) de 67,15 L, o volume escoado médio (VE) registrado foi de 55,44 L. A aplicação do método para a determinação do coeficiente de *Runoff* ($C = VE / VT$) resulta em um valor de aproximadamente 0,83. Este dado evidencia a capacidade de retenção hídrica do sistema quando comparado ao módulo convencional; a diferença entre os volumes escoados demonstra que a camada de substrato e a vegetação (*Portulaca grandiflora*) contribuíram efetivamente para a atenuação do escoamento superficial pluvial.

Os coeficientes de *Runoff* (C) obtidos para o Módulo de Cobertura Convencional (MCV) e para o Telhado Verde Experimental (TVE) estão consolidados na Tabela 02. Adicionalmente, a Figura 25 apresenta o comparativo gráfico dos resultados.

Tabela 2: Resumo dos resultados dos testes

Módulo	Vol. Médio Escoado	Coeficiente de <i>Runoff</i>	Retenção%
MCV	65,56L	0,976	2,43%
TVE	55,44L	0,826	17,4%

Fonte: Autor (2026)

Figura 25: Comparativos Coeficiente de Runoff

Fonte: Autor (2026)

Os resultados evidenciam a eficácia do Telhado Verde Extensivo (TVE) na atenuação do escoamento superficial, mesmo sob condições de precipitação intensa (116,20 mm/h). O TVE proporcionou uma redução de 15,4% no volume escoado quando comparado ao Módulo de Cobertura Convencional (MCV). Enquanto o MCV comportou-se como uma superfície praticamente impermeável ($C = 0,976$), o sistema vegetado reteve 11,71 litros, volume equivalente a uma lâmina de aproximadamente 10,14 mm — o que corresponde a 17,4% do total precipitado durante o ensaio. Tais dados ratificam a eficiência do TVE como medida compensatória para o manejo de águas pluviais em áreas urbanas.

4.3 Análise da Retenção Hídrica

A capacidade de retenção hídrica constitui um dos benefícios ambientais mais relevantes do telhado verde, contribuindo diretamente para a redução do volume total de escoamento superficial. A análise experimental indicou que o Telhado Verde Extensivo (TVE) reteve, em média, 17,4% do volume total precipitado durante os ensaios. Embora este percentual esteja sujeito a variações decorrentes da intensidade da precipitação, da duração do evento e das condições de umidade antecedente do substrato, o resultado ratifica o potencial do sistema para a mitigação do *Runoff*, tanto em escala local quanto em nível de bacia hidrográfica.

4.4 Análise Funcional dos Materiais Geossintéticos

A avaliação experimental do Módulo de Telhado Verde Extensivo (TVE) confirmou a plena adequação dos componentes selecionados, validando sua funcionalidade sob condições críticas de ensaio.

No que tange ao sistema de drenagem, o geocomposto drenante (MCDrain® 2L) demonstrou alta capacidade de transmissividade hídrica no plano horizontal. A ausência de transbordamento superficial (*overland flow*) pelas extremidades do módulo evidenciou que o núcleo drenante foi capaz de absorver e conduzir a totalidade do volume percolado pelo substrato. Esse comportamento é fundamental para evitar a saturação excessiva da camada vegetal e garantir que o excedente hídrico seja direcionado corretamente ao sistema de coleta.

Complementarmente, a estanqueidade do sistema foi assegurada pela geomembrana de PEAD, que atuou como uma barreira impermeável absoluta. Durante todos os ensaios, a estrutura de suporte em madeira permaneceu completamente seca, o que confirma a segurança do sistema para aplicações em larga escala sobre lajes e coberturas convencionais. Essa garantia de impermeabilização é um fator determinante para a aceitabilidade da tecnologia na construção civil, eliminando riscos de infiltrações e danos patológicos à estrutura da edificação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos ensaios experimentais e na análise comparativa entre o sistema de cobertura convencional e o telhado verde, conclui-se que:

- O telhado verde extensivo consolidou-se como uma Medida Compensatória de Drenagem Urbana (MCDU) eficaz, apresentando viabilidade técnica para a mitigação dos impactos do escoamento superficial em ambientes urbanos.
- O Telhado Verde Experimental (TVE) demonstrou superioridade ao proporcionar um atraso médio no escoamento (*delay*) de 3 minutos e 48 segundos. Esse valor representa um aumento de quase 7 vezes no tempo de resposta em comparação aos 34 segundos registrados no Módulo Convencional (MCV).

- Mesmo sob precipitação extrema (116,20 mm/h), o Coeficiente de Runoff foi reduzido de 0,976 (MCV) para 0,826 (TVE), resultando na retenção hídrica direta de 17,4% do volume total precipitado.
- O geocomposto drenante (MCDrain® 2L garantiu a vazão horizontal eficiente, eliminando transbordamentos superficiais (*overland flow*). O geotêxtil não-tecido cumpriu sua função de filtragem e separação, impedindo a perda de finos do substrato e a colmatção dos drenos. A geomembrana de PEAD assegurou a estanqueidade absoluta, protegendo integralmente a estrutura de suporte contra infiltrações.
- A associação da espécie *Portulaca grandiflora* com um substrato de reduzida espessura (4 cm) mostrou-se uma solução de baixo impacto sobre a carga estrutural e de fácil replicabilidade, sendo ideal para o cenário climático de Rio Verde (GO).
- O sistema atua de forma dual: reduzindo o volume de água lançado na rede pública e, primordialmente, suavizando os picos de vazão através da distribuição do escoamento ao longo do tempo.

Sugestões para Trabalhos Futuros para o aprofundamento da temática:

- O monitoramento do sistema sob diferentes graus de umidade antecedente no substrato;
- A análise da qualidade físico-química da água efluente, visando avaliar o potencial de reúso e a capacidade de purificação hídrica dessas infraestruturas verdes.
- Investigar a viabilidade técnica da implementação de sistemas de irrigação automatizados que utilizem a própria água pluvial coletada e armazenada, promovendo o reúso hídrico e a autossuficiência da vegetação durante períodos de estiagem prolongada.
- Estudar o impacto ambiental e o custo-benefício da substituição de materiais convencionais por geossintéticos em larga escala, considerando a durabilidade e a redução de gastos com manutenção predial.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Clarissa Martins de Lucena Santafé. **Terraço-jardim: uma ideia para (re)inventar Porto Alegre**. 2015. 163 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

ALBUQUERQUE, R. et al. Desempenho hidrológico de telhados verdes no controle do escoamento superficial. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 225-235, 2018.

ALMEIDA, Caio Eduardo de. **“TELHADO VERDE”**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ALMEIDA, S. P. C. de; BRITO, G. P. Revisão Histórica dos Telhados Verdes: da Mesopotâmia aos dias atuais. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 6, n. 1, p. 563-578, 2018.

ARNAUD, B. K. L. **Avaliação de desempenho de blocos pré-moldados de material alcalinamente ativado aplicado ao telhado verde**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

BENINI, Sandra Medina. **Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP**. 2015. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente, 2015.

CALIL, R. M.; BERNARDI, A. C. C.; RIGHES, A. A. Telhados verdes para o gerenciamento de águas pluviais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 3, 2016.

CORRENT, L. **Telhado verde: da babilônia aos dias atuais**. Semana Acadêmica, 2017. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_telhado_verde.pdf. Acesso em: 7 nov. 2025.

DUNNETT, N. et al. Influence of vegetation type on runoff quality and quantity from intensive green roofs. **Building and Environment**, v. 42, n. 1, p. 70-77, 2007.

ECOTELHADO. **As Funções dos Telhados Verdes no Meio Urbano, na Arquitetura e na Engenharia**. 2007. Disponível em: <https://ecotelhado.com/wp-content/uploads/2015/03/Funcoes-dos-Telhados-Verdes-no-Meio-Urbano.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2025.

ECOTELHADO. **Parede e telhado verde: história e inovação**. 2025. Disponível em: <https://ecotelhado.com/blog/parede-e-telhado-verde-historia-inovacao-e-sustentabilidade-na-arquitetura-moderna/>. Acesso em: 7 nov. 2025.

IGRA. **International Green Roof Association**. Guidelines for the Design, Installation and Maintenance of Green Roofs. 2017.

JARDINANDO. (2025). **Descobrimos o potencial dos telhados verdes**, Disponível em: <https://projetojardinando.com.br/telhados-verdes/> . Acesso em: 7 de nov. 2025.

JOBIM, Alan Lamberti. **Diferentes tipos de telhados verdes no controle quantitativo da água pluvial**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

LOUZADA, Thiago de Souza. **Emprego de geossintéticos na construção de telhados verdes: análise da capacidade de retenção de água**. 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, 2016.

MACCAFERRI DO BRASIL. **MacDrain®: Geocomposto Drenante – Soluções para drenagem**. Jundiaí, SP: Maccaferri, [20--]. 8 p.

MARONEZ, L. G. S.; CARRARO, R. Telhados verdes: uma alternativa para a mitigação das ilhas de calor urbanas. **Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 15, n. 1, 2017.

RAMOS, D. V.; MACHADO, A. F. Telhado verde: uma alternativa sustentável para o século XXI. **Synergismus Scientifica**, v. 12, n. 2, p. 11-20, 2017.

TASSI, R. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão de águas pluviais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 7-20, out./dez. 2014.

TREEHUGGER (2020). **Telhado de Turfa**. Fotografia. Disponível em < <https://www.treehugger.com/icelandic-turf-houses-old-school-green-viking-twist-4859199>> Acesso em: 04 fev 2026.

SALEIRO FILHO, Mário et al. Além de um Diálogo Reservado com as Estrelas: O Processo de Formação e Transformação do Terraço Jardim ao Telhado Verde. **RCT - Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <www.revista.ufrr.br/rct>.

SILVA, R. V. **Análise climatológica e variabilidade pluviométrica no município de Rio Verde/GO**. Rio Verde: Ed. Universitária, 2025.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2003.

VERTEMATTI, J. C. **Manual brasileiro de geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

VIEIRA, A. S.; SILVA JÚNIOR, L. C.; RIBEIRO, J. P. **Retenção de água pluvial em telhados verdes: um estudo experimental**. Anais do XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2015.