ANÁLISE COMPARATIVA DA RETENÇÃO E QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL EM TELHADOS VERDES E CONVENCIONAIS VISANDO O POTENCIAL DE REUSO URBANO

Pedro Arthur de Araújo Macêdo [1] *; Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro*[2]*; Maria Ana Fernandes Matias Nobre*[3]; Cézar Victor Alves de Lima[4]*; Matheus Heleno Vanderlei Grismino*[5]

RESUMO – Este estudo avaliou comparativamente a retenção e a qualidade da água pluvial em sistemas de telhado verde e telhado convencional, com o objetivo de analisar seu potencial para o reuso urbano. A pesquisa foi realizada na Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII, em Araruna, por meio de abordagem experimental e quantitativa. Foram construídos dois protótipos em escala reduzida, submetidos a três ensaios de precipitação simulada, com aplicação de 20 L de água por ensaio. Os resultados indicaram retenção hídrica média de 51,65% no telhado verde e de 10,35% no telhado convencional, evidenciando a maior capacidade do sistema vegetado em reduzir o escoamento superficial. Em relação à qualidade da água, ambos os sistemas registraram pH ácido igual a 5 e baixos valores de turbidez, de 0,38 NTU no telhado verde e 0,20 NTU no convencional, permanecendo dentro dos limites recomendados para usos não potáveis. Entretanto, a água proveniente do telhado verde apresentou presença de Coliformes Totais e Escherichia coli, indicando contaminação microbiológica e necessidade de tratamento complementar antes do aproveitamento. Os resultados demonstram que os telhados verdes apresentam potencial para retenção de águas pluviais e podem contribuir para estratégias de drenagem urbana sustentável, desde que a qualidade microbiológica da água seja considerada em projetos voltados ao reuso urbano.

ABSTRACT– This study comparatively evaluated the retention and quality of rainwater in green roof and conventional roof systems, aiming to analyze their potential for urban reuse. The research was conducted at the State University of Paraíba, Campus VIII, in Araruna, using an experimental and quantitative approach. Two reduced-scale prototypes were built and subjected to three simulated precipitation tests, with the application of 20 L of water per test. The results indicated an average water retention of 51.65% in the green roof and 10.35% in the conventional roof, highlighting the greater capacity of the vegetated system to reduce surface runoff. Regarding water quality, both systems registered an acidic pH of 5 and low turbidity values, 0.38 NTU in the green roof and 0.20 NTU in the conventional roof, remaining within the limits recommended for non-potable uses. However, the water from the green roof showed the presence of Total Coliforms and Escherichia coli, indicating microbiological contamination and the need for further treatment before reuse. The results demonstrate that green roofs have the potential to retain rainwater and can contribute to sustainable

[1]) Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Av. Cel. Pedro Targino, s/n – Centro, Araruna-PB, CEP 58233-000. E-mail: eng.pedroarthuraraujo@gmail.com
[2]) Professora do curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba. Av. Cel. Pedro Targino, s/n – Centro, Araruna-PB, CEP 58233-000. E-mail: drickadefreitas@yahoo.com.br.
[3]) Engenheira Civil, Universidade Estadual da Paraíba: Av. Cel. Pedro Targino, s/n - Centro, Araruna-PB, CEP 58233-000. E-mail: maryannaanobre@gmail.com
[4]) Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande-PB, CEP 58429-900. E-mail: cezarvictoralves@gmail.com
[5]) Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande-PB, CEP 58429-900. E-mail: matheusgrismino@gmail.com

urban drainage strategies, provided that the microbiological quality of the water is considered in projects aimed at urban reuse.

Palavras-Chave – Telhado verde; Água pluvial; Reuso urbano.

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da urbanização e o consequente aumento da impermeabilização das superfícies urbanas têm intensificado problemas relacionados à drenagem urbana, ao conforto térmico e à gestão sustentável dos recursos hídricos. Nesse cenário, a construção civil destaca-se como uma das atividades com maior impacto ambiental, contribuindo significativamente para o aumento do escoamento superficial, sobrecarga dos sistemas de drenagem e formação de ilhas de calor nos centros urbanos (NOBRE, 2022).

Diante desses desafios, soluções sustentáveis voltadas à infraestrutura verde vêm sendo amplamente discutidas como alternativas capazes de minimizar os impactos provocados pela urbanização. Entre essas soluções, os telhados verdes apresentam destaque por promoverem benefícios hidrológicos, ambientais e térmicos, atuando na retenção das águas pluviais, redução da temperatura ambiente e melhoria da qualidade do ar urbano (FRANCO, 2021). Em comparação aos telhados convencionais, amplamente utilizados nas edificações urbanas, os sistemas vegetados demonstram potencial para reduzir o volume e a velocidade do escoamento superficial, contribuindo para o amortecimento das vazões de pico e mitigação de enchentes urbanas. Nesse sentido, estudos apontam que os telhados verdes apresentam menor escoamento das águas pluviais, podendo reduzir em até 50% o volume escoado em relação às coberturas convencionais (FRANCO; TREINOTI; CAMPOS, 2021).

Nesse contexto, a integração entre retenção hídrica e qualidade da água torna-se fundamental para avaliar a viabilidade do aproveitamento das águas pluviais em ambientes urbanos, especialmente em aplicações não potáveis, como irrigação de áreas verdes, lavagem de pisos e utilização em descargas sanitárias. Apesar do crescente interesse científico sobre telhados verdes, ainda existem limitações quanto à análise integrada entre desempenho hidrológico e qualidade da água para fins de reuso em condições experimentais comparativas com telhados convencionais.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar comparativamente a retenção e a qualidade da água pluvial em telhados verdes e convencionais, visando avaliar seu potencial de reuso urbano. Para tanto, foram conduzidas análises experimentais relacionadas ao desempenho hidrológico e à caracterização físico-química e microbiológica da água pluvial coletada nos diferentes sistemas de cobertura, buscando discutir sua viabilidade para aplicações não potáveis em edificações urbanas.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, experimental, quantitativa e comparativa, tendo como objetivo avaliar comparativamente o desempenho hidrológico e a qualidade da água pluvial proveniente de sistemas de telhado verde e telhado convencional, visando analisar seu potencial para aplicações de reuso urbano não potável.

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus VIII, localizada no município de Araruna, estado da Paraíba. Os protótipos experimentais foram implantados em área externa da instituição, em local aberto e com espaço suficiente para a execução dos ensaios de precipitação simulada e coleta das amostras de água escoada. A escolha dessa área buscou garantir condições adequadas para a instalação dos sistemas experimentais e minimizar interferências externas durante os ensaios, permitindo que ambos os protótipos fossem submetidos às mesmas condições experimentais. A localização da área de estudo e a disposição dos protótipos são apresentadas na Figura 1.



Figura 1 – Localização da área experimental utilizada para instalação dos protótipos na UEPB, Campus VIII, Araruna – PB

Caracterização dos protótipos

Com o objetivo de garantir a padronização geométrica e construtiva dos sistemas avaliados, os protótipos experimentais foram inicialmente modelados digitalmente no software Autodesk Revit. A modelagem tridimensional permitiu o planejamento das estruturas e a definição das características físicas dos sistemas de cobertura antes da execução em campo, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Modelagem tridimensional dos protótipos experimentais no software Revit

Posteriormente, foram construídos dois protótipos experimentais em alvenaria convencional, representando um sistema de telhado verde e um sistema de telhado convencional. As estruturas foram executadas utilizando blocos cerâmicos de oito furos, com dimensões internas de 1,00 m × 1,20 m, altura de 1,00 m e inclinação de 35%, buscando assegurar condições equivalentes para a comparação dos desempenhos hidrológicos e qualitativos, conforme apresentado na Figura 3.



Figura 3 – Protótipos experimentais construídos: sistema de telhado verde e sistema convencional

O telhado verde utilizado é modo tipo extensivo, caracterizado por baixa espessura de substrato, menor carga estrutural e reduzida necessidade de manutenção. Sua composição foi estruturada em cinco camadas funcionais:

- Impermeabilização: aplicação de lona plástica e TNT, com a função de impedir infiltrações e proteger a estrutura base;
- Camada drenante: argila expandida com espessura de 2 cm, responsável pelo escoamento do excesso de água e prevenção de encharcamento;
- Camada filtrante: manta geotêxtil permeável, destinada à retenção de partículas finas e prevenção do entupimento do sistema drenante;
- Substrato: mistura de terra vegetal e composto orgânico, com espessura média de 3 cm, atuando como meio de suporte e nutrição vegetal;
- Vegetação: utilização de grama esmeralda (*Zoysia japonica*), espécie adaptada a condições de baixa manutenção e boa resistência climática, com irrigação inicial para estabelecimento.

As etapas construtivas dos protótipos encontram-se apresentadas nas Figuras 4 a 7.



Figura 4 – Execução da camada de regularização



Figura 5 – Execução da camada de drenagem



Figura 6 – Execução da camada filtrante



Figura 7 – Execução da camada de vegetação (Grama Esmeralda)

Simulação de precipitação e ensaio de retenção hídrica

A avaliação do desempenho hidrológico foi realizada por meio de simulação de precipitação, em virtude da ausência de eventos pluviométricos significativos durante o período experimental. Para isso, foi utilizado um simulador de chuva construído com tubulações de PVC de 25 mm de diâmetro, composto por oito ramificações superiores com perfurações distribuídas uniformemente ao longo dos condutos, conectadas a um sistema de bombeamento de água (Figura 8 e 9).



Figura 8 – Simulação de precipitação aplicada nos sistemas



Figura 9 – Bombeamento de água para ensaio de simulação de precipitação

Cada sistema foi submetido a três ensaios, realizados em dias distintos. Em cada ensaio, aplicou-se um volume fixo de 20 L de água sobre a superfície dos protótipos. A água escoada foi

coletada por meio de calhas instaladas na extremidade inferior das coberturas e posteriormente quantificada em recipientes graduados.



Figura 10 – Comparação da água escoada entre os sistemas de cobertura

A retenção hídrica foi determinada pela diferença entre o volume precipitado e o volume escoado, enquanto o coeficiente de escoamento superficial foi calculado a partir da relação entre o volume escoado e o volume precipitado, conforme apresentado na Equação 1.

$$C = \frac{V_e}{V_p} \qquad (1)$$

Em que:

C = coeficiente de escoamento;

V_e = volume escoado;

V_p = volume precipitado.

Coleta e preservação das amostras de água

Após cada ensaio de precipitação simulada, as amostras de água escoada foram coletadas imediatamente para realização das análises laboratoriais. As amostras foram acondicionadas em recipientes estéreis e posteriormente armazenadas em caixas isotérmicas contendo gelo, visando preservar suas características físico-químicas e microbiológicas até o momento das análises (Figuras 11 e 12). Foram obtidas três amostras para cada sistema de cobertura, correspondentes às três repetições experimentais realizadas.



Figura 11 – Recipientes estéreis



Figura 12 – Armazenamento das amostras de água pluvial em caixa isotérmica



Figura 13 – Coleta da água para ensaios físico-químicos e microbiológicos

Análises físico-químicas e microbiológicas

As análises laboratoriais foram realizadas com o objetivo de caracterizar a qualidade da água pluvial e avaliar seu potencial para reuso não potável. Em ambos os sistemas de cobertura foram determinados os parâmetros potencial hidrogeniônico (pH) e turbidez. O pH foi obtido por meio de escala indicadora em faixa, enquanto a turbidez foi determinada utilizando equipamento turbidimétrico. Para o sistema de telhado verde foram realizadas análises complementares envolvendo alcalinidade total, dureza total, dureza de cálcio, sólidos totais, sólidos voláteis totais, sólidos fixos totais, demanda química de oxigênio (DQO), Coliformes Totais e *Escherichia coli* (E. coli). As determinações seguiram procedimentos laboratoriais padronizados adotados pelo laboratório responsável pelas análises.

RESULTADOS

Desempenho hidrológico dos sistemas de cobertura

Os ensaios de simulação de precipitação, com aplicação fixa de 20 L por protótipo, permitiram avaliar o comportamento hidrológico dos sistemas analisados. Os resultados de volume escoado estão apresentados na Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Volumes nos sistemas de telhado verde

Ensaio	Volume Precipitado (L)	Volume Escoado (L)	Volume Retido (L)
1°	20	8,70	11,30
2°	20	10,50	9,50
3°	20	9,80	10,20
Média	20	9,67	10,33

Tabela 2 - Volumes nos sistemas de telhado convencional

Ensaio	Volume Precipitado (L)	Volume Escoado (L)	Volume Retido (L)
1°	20	18,50	1,50
2°	20	17,80	2,20
3°	20	17,50	2,50
Média	20	17,93	2,07

Observa-se que o telhado verde apresentou menor volume médio de escoamento (9,67 L), enquanto o telhado convencional apresentou valores significativamente superiores (17,93 L), indicando maior capacidade de retenção hídrica do sistema vegetado.

Considerando o volume precipitado fixo de 20 L, foram calculados os coeficientes de escoamento médios, evidenciando comportamento hidrológico distinto entre os sistemas.

Tabela 3 - Coeficiente de escoamento e retenção hídrica

Sistema	Coeficiente de Escoamento (C)	Retenção (%)
Telhado Verde	0,48	51,65
Telhado Convencional	0,90	10,35

O telhado verde apresentou retenção hídrica superior a 50%, enquanto o telhado convencional reteve pouco mais de 10% da precipitação simulada. Esse comportamento está associado à presença das camadas do sistema vegetado, que favorecem infiltração, armazenamento temporário e evapotranspiração. Esse comportamento pode ser atribuído à atuação conjunta do substrato, da camada drenante e da vegetação, que promovem o armazenamento temporário da água e retardam o escoamento superficial. Dessa forma, além de reduzir o volume escoado, o telhado verde apresenta potencial para contribuir com a diminuição da sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana, favorecendo estratégias voltadas ao manejo sustentável das águas pluviais.

Qualidade da água pluvial – Telhado Convencional

Os parâmetros físico-químicos analisados indicam diferenças relevantes entre os sistemas de cobertura. A turbidez foi maior no telhado verde (0,38 NTU) em comparação ao telhado convencional

(0,20 NTU), sugerindo maior presença de partículas em suspensão oriundas do substrato e da vegetação. Já ambos os sistemas apresentaram pH igual a 5, caracterizando água levemente ácida, possivelmente influenciada por deposição atmosférica. Esses resultados indicam que, embora a qualidade físico-química da água seja satisfatória para diversos usos não potáveis, torna-se necessária a avaliação de parâmetros complementares antes de sua utilização.

Qualidade da água – Telhado Verde

Os resultados das análises específicas do telhado verde indicam a presença de carga orgânica e microbiológica relevante, conforme Tabela 4. Os resultados das análises específicas do telhado verde evidenciam a presença de matéria orgânica e de microrganismos na água escoada, aspecto compatível com a composição do sistema vegetado. A interação da água com o substrato, a vegetação e os demais materiais constituintes favorece o transporte de compostos orgânicos e partículas presentes na cobertura, justificando a realização de análises complementares para avaliação do potencial de reuso dessa água.

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos do telhado verde

Amostras	Alcalinidade Total ($mgCaCO_3/L$)	Alcalinidade Parcial ($mgCaCO_3/L$)	Dureza Total ($mgCaCO_3/L$)	Dureza de Cálcio ($mgCaCO_3/L$)	Sólidos Totais (mg/L)	Sólidos Voláteis Totais (mg/L)	Sólidos Fixos Totais (mg/L)	Demanda Química de Oxigênio (mgO_2/L)
Amostra 1	61,2	0,0	64,0	17,2	424	50	374	42,85
Amostra 2	62,4	0,0	52,0	16,0	466	36	430	57,14

Contaminação microbiológica

As análises microbiológicas indicaram a presença de contaminação no sistema de telhado verde, com detecção de Coliformes Totais em todas as amostras analisadas, apresentando valores superiores ao limite de detecção do método (>2419,6 NMP/100 mL), conforme apresentado na Tabela 5. Para *Escherichia coli,* observou-se variação entre as amostras analisadas, indicando presença do microrganismo no escoamento do sistema vegetado.

Tabela 5 - Resultados das análises microbiológicas do telhado verde

Ensaio	Método	Unidade	Resultado	Quantificação			Valor Máximo Permitido (VMP)[1]
				Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	
Coliformes Totais	Método Colilert® – Substrato Cromogênico/ Fluorogênico	NMP/100 mL	Presente	>2419,6	>2419,6	>2419,6	Ausência em 100 mL

Escherichia coli (E. coli)	Método Colilert® – Substrato Cromogênico/ Fluorogênico	NMP/100 mL	Presente	67,5	77,6	195,1	Ausência em 100 mL

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O telhado verde apresentou melhor desempenho hidrológico, reduzindo significativamente o volume de escoamento superficial em relação ao telhado convencional, o que indica seu potencial para auxiliar no controle de enchentes urbanas e na gestão sustentável das águas pluviais. Em relação à qualidade da água, ambos os sistemas apresentaram baixa turbidez, dentro dos limites da ABNT NBR 15527:2019, porém valores de pH abaixo do recomendado e contaminação microbiológica significativa, especialmente por Coliformes Totais. Assim, apesar do potencial para reuso em aplicações não potáveis, como irrigação, lavagem de pisos e descargas sanitárias, a água coletada requer tratamento prévio para correção de pH e desinfecção. Dessa forma, os resultados reforçam a viabilidade dos telhados verdes como alternativa sustentável para reduzir o escoamento superficial e ampliar o aproveitamento de águas pluviais em ambientes urbanos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. F.; SILVA, J. R.; COSTA, L. H. **Telhados verdes: uma perspectiva contemporânea**. Revista CIATEC, Passo Fundo, v. 13, n. 1, p. 1–15, 2021.

CANABRAVA NETO, Ethel Geraldo et al. **Telhado Verde: Alternativa Sustentável Para A Drenagem Do Escoamento Superficial.** Mix Sustentável, Florianópolis, v. 7, ed. 2, p. 125-136, abr 2021.

FRANCO, Giovana Tafuri; TREINOTI, Thais Adriane de Souza. **Análise Comparativa entre Telhado Convencional e Telhado Verde com Uso do Método Multicriterial**. Orientador: Heitor Berger Campos. 2021. Artigo (Engenharia Civil) - Graduação, Universidade São Francisco, 2021. p. 19.

MARTINS, R. M.; BASTOS, L. A. **Avaliação do desempenho térmico de telhados verdes em edificações urbanas.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 191–204, jan./mar. 2015.

NOBRE, M. A. F. M. **Um comparativo entre telhados verdes e telhados cerâmicos: análise do conforto térmico, retenção de águas pluviais e custos entre os protótipos.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. 2022.

NBR 15527 (2019) - **Aproveitamento de Água de Chuva de Coberturas para Fins não Potáveis.**