

**GUSTAVO EMIDIO CARVALHO DOS SANTOS
LARISSA DE SOUZA OLIVEIRA
MATHEUS HENRIQUE FERNANDES
TAILANNA MARIA SILVA E SILVA**

TELHADOS VERDES INTELIGENTES: integração de sistemas IoT para otimização termo hídrica em edifícios públicos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Tecnologia de São Sebastião, como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Tecnologia da Informação.

Orientador: Prof. Me. Márcio dos Santos

**São Sebastião
2025**

**GUSTAVO EMIDIO CARVALHO DOS SANTOS
LARISSA DE SOUZA OLIVEIRA
MATHEUS HENRIQUE FERNANDES
TAILANNA MARIA SILVA E SILVA**

TELHADOS VERDES INTELIGENTES: integração de sistemas IoT para otimização
termo hídrica em edifícios públicos

Apresentação de Trabalho de Graduação à Faculdade de
Tecnologia de São Sebastião, como condição parcial para a
conclusão do curso de Tecnologia em Gestão da Tecnologia
da Informação.

São Sebastião, 12 de dezembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Márcio dos Santos
ORIENTADOR

Prof. Dr. Edivaldo Alberto Bolsam Alves
ARGUIDOR

Prof. Me. Wilson Chagas Gouveia
ARGUIDOR

TELHADOS VERDES INTELIGENTES: integração de sistemas IoT para otimização termo hídrica em edifícios públicos

Gustavo Emidio Carvalho dos Santos¹

Larissa de Souza Oliveira²

Matheus Henrique Fernandes³

Tailanna Maria Silva e Silva⁴

RESUMO

As cidades costeiras brasileiras enfrentam desafios ambientais crescentes, como ilhas de calor, enchentes urbanas e impermeabilização do solo. São Sebastião-SP exemplifica essa vulnerabilidade, demandando soluções alinhadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis. Telhados verdes surgem como estratégia eficaz ao oferecer isolamento térmico e retenção hídrica, porém sua eficiência declina sem monitoramento adequado. O objetivo geral é analisar a viabilidade de um sistema de telhado verde inteligente, que integra sensores de temperatura e umidade para monitoramento em tempo real, auxiliando na manutenção preventiva do sistema vegetal por meio da identificação precoce de condições de estresse hídrico e térmico. A metodologia consiste em pesquisa bibliográfica descritiva, sintetizando conhecimentos sobre técnicas de monitoramento e desempenho em climas análogos. Os resultados esperados incluem diretrizes técnicas para implantação e avaliação de viabilidade econômica. Conclui-se que a integração entre infraestrutura verde e tecnologias Internet das Coisas (IoT) representa alternativa estratégica para municípios litorâneos, potencializando a gestão ambiental urbana através da redução de temperaturas, otimização hídrica e criação de ambientes urbanos mais resilientes às mudanças climáticas, podendo servir como modelo replicável para outras cidades costeiras brasileiras.

Palavras-chave: Telhados verdes. IoT. Sustentabilidade urbana. Eficiência Termo Hídrica.

RESUMEN

Las ciudades costeras brasileñas enfrentan desafíos ambientales crecientes, como islas de calor, inundaciones urbanas e impermeabilización del suelo. São Sebastião-SP ejemplifica esa vulnerabilidad, demandando soluciones alineadas con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Los techos verdes surgen como estrategia eficaz al ofrecer aislamiento térmico y retención hídrica, pero su eficiencia declina sin un monitoreo adecuado. El objetivo general es analizar la viabilidad de un sistema de techo verde inteligente, que integra sensores de temperatura y humedad para monitoreo en tiempo real, auxiliando en el mantenimiento preventivo del sistema vegetal mediante la identificación temprana de condiciones de estrés hídrico y térmico. La metodología consiste en investigación bibliográfica descriptiva,

¹ Estudante do curso de Gestão da Tecnologia da Informação, Faculdade de Tecnologia de São Sebastião, gustavo.santos319@fatec.sp.gov.br, Brasil, Rua Ítalo Nascimento 366, Porto Grande, São Sebastião-SP, 11608-248.

² Estudante do curso de Gestão da Tecnologia da Informação, Faculdade de Tecnologia de São Sebastião, larissa.oliveira80@fatec.sp.gov.br, Brasil, Rua Ítalo Nascimento 366, Porto Grande, São Sebastião-SP, 11608-248.

³ Estudante do curso de Gestão da Tecnologia da Informação, Faculdade de Tecnologia de São Sebastião, matheus.fernandes21@fatec.sp.gov.br, Brasil, Rua Ítalo Nascimento 366, Porto Grande, São Sebastião-SP, 11608-248.

⁴ Estudante do curso de Gestão da Tecnologia da Informação, Faculdade de Tecnologia de São Sebastião, tailanna.silva@fatec.sp.gov.br, Brasil, Rua Ítalo Nascimento 366, Porto Grande, São Sebastião-SP, 11608-248.

synthesizing knowledge about monitoring and performance in analogous climates. The expected results include technical guidelines for implementation and evaluation of economic viability. It is concluded that the integration between green infrastructure and Internet of Things (IoT) technologies represents a strategic alternative for coastal municipalities, enhancing urban environmental management through temperature reduction, water optimization and creation of urban environments more resilient to climate change, serving as a replicable model for other Brazilian coastal cities.

Palabras clave: Techos verdes. IoT. Sostenibilidad urbana. Eficiencia Termo Hídrica.

Introdução

As metrópoles do Brasil lidam com desafios ambientais cada vez maiores devido à urbanização que está em crescimento, especialmente o surgimento de ilhas de calor persistentes, inundações e poluição do ar (Dias, 2024).

Essas questões afetam de maneira direta o bem-estar dos habitantes, necessitando de respostas que integrem inovação tecnológica e preservação ambiental. A importância da integração de tecnologias IoT em telhados verdes para otimizar o desempenho termo hídrico de edifícios públicos no município de São Sebastião-SP, abrange os aspectos: social; tecnológico; e ambiental, sendo crucial para desenvolver cidades mais robustas, em conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 11, que tem como objetivo transformar as cidades e os assentamentos humanos em locais inclusivos, seguros e sustentáveis (De Arruda Filho; Jacobi, 2024).

Este estudo foca no município de São Sebastião-SP, uma cidade costeira que enfrenta impermeabilização do solo, altas temperaturas e eventos climáticos extremos, como inundações, agravados pela proximidade com o oceano (Araújo *et al.*, 2025). A integração de telhados verdes com sistemas de Internet das Coisas (IoT) é proposta como solução para otimizar o desempenho termo hídrico de edifícios públicos, mitigando esses desafios locais (Silva; Barbosa, 2023). A importância acadêmica e social deste trabalho reside na urgência de investigar alternativas inspiradas na natureza combinadas com tecnologias emergentes, como sensores IoT, conectando-se ao ODS 11 para enfrentar problemas reais diagnosticados (Silva *et al.*, 2024).

Apesar dos progressos nas investigações sobre telhados verdes e IoT, há uma escassez de informações sobre sua implementação conjunta em cidades litorâneas do Brasil, criando uma lacuna relevante no entendimento atual (Barcelos *et al.*, 2025). Diante desse cenário, surge a questão: Em que medida a aplicação de sistemas IoT em telhados verdes pode melhorar a eficiência termo hídrica e contribuir para a sustentabilidade de edifícios públicos em São Sebastião-SP? - esta pergunta orientará o estudo, buscando soluções que possam auxiliar em políticas públicas e práticas inovadoras.

O conceito de telhados verdes inteligentes emerge da integração entre infra estruturas verdes tradicionais e tecnologias digitais de monitoramento e controle, criando um sistema capaz de otimização operacional. Um telhado verde inteligente não apenas coleta dados, mas os utiliza para acionar respostas automatizadas, como sistemas de irrigação variada ou alertas de sobrecarga hídrica (Silva *et al.*, 2024). O objetivo geral é analisar a viabilidade de um sistema de telhado verde inteligente, que integra sensores de temperatura e umidade para monitoramento em tempo real, auxiliando na manutenção preventiva do sistema vegetal por meio da identificação precoce de condições de estresse hídrico e térmico.

Este artigo está estruturado em seis seções: Introdução, Referencial Teórico, Metodologia, Resultados, Considerações Finais e Referências, que juntos exploram a viabilidade e os impactos da proposta.

Referencial Teórico

A gestão da tecnologia da informação, quando aplicada ao contexto urbano, desempenha um papel fundamental no apoio à sustentabilidade. O presente referencial teórico estabelece a base conceitual para o estudo de telhados verdes inteligentes, iniciando com a identificação dos desafios ambientais urbanos e evoluindo para a apresentação de soluções preventivas monitoradas por sistemas de Internet das Coisas (IoT), especialmente relevante a municípios costeiros como São Sebastião-SP.

As cidades brasileiras enfrentam desafios ambientais crescentes devido à urbanização acelerada. Dias (2024) documenta que eventos climáticos extremos como ondas de calor, secas prolongadas e chuvas intensas provocam deslizamentos, enchentes e alagamentos, expondo a vulnerabilidade dos centros urbanos frente às mudanças climáticas. O autor explica que a impermeabilização excessiva do solo reduz a capacidade natural de drenagem, agravando esses impactos. Esses desafios apresentam-se de forma interconectada e cíclica, formando um ciclo complexo de problemas ambientais que se retroalimentam, conforme representado na Figura 1. De Arruda Filho e Jacobi (2024) argumentam que a adaptação climática deve nortear as políticas públicas municipais para enfrentar extremos climáticos.

Figura 1 – Ciclo de Problemas Urbanos: Desafios Ambientais Interconectados.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Em municípios costeiros, essa problemática adquire maior complexidade. Araújo, Barbosa e Oliveira-Junior (2025) evidenciam que cidades litorâneas de clima tropical apresentam particularidades amplificadoras: elevada umidade relativa do ar, temperaturas médias mais altas e maior incidência de chuvas. São Sebastião-SP exemplifica essa realidade, com a proximidade oceânica e topografia acidentada intensificando microclimas urbanos e agravando a vulnerabilidade climática local.

O ODS 11 destaca-se como fundamental para redirecionar os esforços de desenvolvimento urbano. A ONU-HABITAT (2015) citado por Dias (2024) enfatiza que as cidades devem integrar função social, inclusão, espaços verdes acessíveis, mobilidade urbana, gestão de riscos e

conservação ambiental. O objetivo visa "tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis" (Pnuma, 2018 citado por Dias, 2024), consolidando cidades como agentes centrais da mudança sustentável.

Weiler e Scholz-Barth citados por Raposo (2024) conceituam telhados verdes como sistemas construtivos que substituem coberturas convencionais mediante instalação de camadas vegetadas sobre estruturas de drenagem e impermeabilização, convertendo áreas impermeáveis em superfícies ecologicamente ativas. Os autores destacam que esses sistemas representam oportunidade concreta para mitigação de danos ambientais urbanos ao proporcionarem benefícios estéticos, conforto e proteção térmica.

A norma americana ANSI/SPRI VF-1, aprovada pelo *American National Standards Institute* em 2010 e atualizada em 2023, estabelece um padrão internacionalmente reconhecido para design, construção e manutenção de telhados verdes. Esta norma foi desenvolvida colaborativamente entre a *Green Roofs for Healthy Cities* e a SPRI (*Single Ply Roofing Industry*), para fornecer diretrizes prescritivas mínimas para profissionais que projetam, especificam e instalam sistemas de cobertura vegetada (SPRI, 2023). As normas internacionais estabelecem padrões para classificação de telhados verdes em três tipologias principais, diferenciadas por espessura do substrato, tipo de vegetação e demanda de manutenção (Almeida, 2020 citado por Barcelos, 2025):

- Extensivos — substratos ≤ 152 mm (6 polegadas), vegetação de baixo porte (*sedums*, gramíneas, suculentas), manutenção mínima e peso típico entre 63-146 kg/m².
- Intensivos — substratos > 152 mm (> 6 polegadas), permitindo arbustos, árvores e hortas, demandando irrigação e manutenção regular, peso entre 171-488 kg/m².
- Semi-intensivos — alternativa intermediária combinando características de ambos, peso entre 122-195 kg/m².

Os telhados verdes apresentam estrutura multicamadas essencial para seu desempenho e longevidade (Figura 2). Conforme Neto (2021) citado por Raposo (2024), essa estrutura compreende cinco camadas principais organizadas da base ao topo.

Figura 2 – Estrutura em Camadas do Telhado Verde



Fonte: Adaptado de BASEV (2024).

- Impermeabilização – Camada base que protege a estrutura do edifício contra infiltrações, devendo ser resistente à penetração de raízes.
- Drenagem – Sistema que permite o escoamento do excesso de água pluvial, evitando saturação do substrato e sobrecarga estrutural.
- Manta geotêxtil filtrante – Elemento que previne a migração de partículas finas do substrato para a camada de drenagem, evitando entupimentos.
- Substrato de crescimento – Meio de cultivo especialmente formulado, diferente do solo convencional, fornecendo suporte físico e nutrientes para as plantas.
- Camada de vegetação – Cobertura vegetal selecionada conforme a tipologia do telhado verde e as condições climáticas locais.

Essa organização estratificada permite o desempenho integrado de diferentes componentes, cada um cumprindo funções específicas que, em conjunto, viabilizam o crescimento vegetal e os benefícios ambientais esperados. A configuração típica dessas camadas, demonstra a complexidade técnica desses sistemas.

Os telhados verdes apresentam desempenho termo hídrico comprovado pela literatura, ou seja, contribuem simultaneamente para o conforto térmico das edificações e para a gestão eficiente de águas pluviais. No aspecto térmico, Raposo (2024) explica que essas estruturas funcionam como barreiras naturais à transmissão de calor, reduzindo significativamente tanto a temperatura superficial da cobertura quanto a temperatura interna dos ambientes. Esse efeito resulta da combinação de três mecanismos principais: o sombreamento proporcionado pela vegetação, que bloqueia a radiação solar direta; a evapotranspiração das plantas, que consome energia térmica ao liberar vapor d'água; e o isolamento térmico do substrato, que dificulta a transferência de calor para o interior da edificação.

No aspecto hídrico, a principal função é a capacidade de retenção hídrica e gestão de águas pluviais. Raposo (2024), destaca que o substrato e a vegetação atuam como uma esponja, absorvendo e retendo a água da chuva, o que reduz o volume de escoamento superficial. Conforme Okimoto e Melo (2023), a estrutura multicamadas dos telhados verdes (vegetação, substrato e materiais estratificados), funciona como sistema de retenção hídrica que amplia a capacidade de armazenamento temporário de águas pluviais. Ao desacelerar o escoamento, essas coberturas reduzem os fluxos de pico e minimizam a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana.

Instituições governamentais, escolas, hospitais e centros administrativos frequentemente dispõem de áreas de cobertura significativas e subutilizadas, constituindo locais ideais para a implementação de telhados verdes inteligentes. Massuga *et al.* (2024) ressaltam que as iniciativas de transição para cidades sustentáveis baseadas nas metas do ODS-11 dependem crucialmente dos "modos de governança" adotados pelas administrações municipais, sendo os edifícios públicos vitrines fundamentais para demonstração e disseminação de tecnologias inovadoras.

Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como bibliográfica descritiva, pois busca compreender e descrever os fatores que influenciam a implementação de telhados verdes integrados a tecnologias de Internet das Coisas (IoT) em prédios públicos do município de São Sebastião (SP). De acordo com Barcelos *et al.* (2025), estudos descritivos em sustentabilidade urbana permitem identificar barreiras e potencialidades na adoção de soluções ecológicas em diferentes contextos regionais, contribuindo para a formulação de estratégias aplicáveis à realidade brasileira.

A natureza qualitativa da investigação justifica-se pela intenção de compreender percepções, experiências e desafios práticos a partir da perspectiva de um profissional atuante na área de arquitetura e construção civil. A abordagem qualitativa mostrou-se adequada, uma vez que possibilita compreender percepções e desafios práticos sob a ótica de profissionais atuantes na área de arquitetura e construção civil (Massuga, 2024).

O estudo foi desenvolvido em duas etapas principais:

- A. Pesquisa bibliográfica, realizada a partir de livros, artigos científicos, legislações e normas técnicas sobre sustentabilidade, telhados verdes e automação predial;
- B. E pesquisa de campo, por meio de entrevista semiestruturada com um profissional da área de arquitetura.

O roteiro da entrevista abordou os seguintes tópicos:

- Existência de normas municipais, estaduais e federais que regulamentam telhados verdes;
- Análise estrutural e viabilidade técnica de implantação;
- Aspectos econômicos e de manutenção em prédios públicos;
- Integração de sistemas de monitoramento e controle por IoT;
- E percepção sobre o impacto ambiental e térmico desses sistemas.

O instrumento de coleta de dados consistiu em perguntas abertas, permitindo ao entrevistado expressar livremente suas opiniões e experiências profissionais. A entrevista foi gravada e posteriormente transcrita na íntegra, com autorização do participante, atendendo aos princípios éticos da pesquisa científica. A transcrição completa encontra-se no Apêndice A deste artigo.

Conforme determina a Portaria nº 27/2018 da FATEC São Sebastião, o roteiro de entrevista foi submetido à apreciação da Câmara de Ensino, Pesquisa e Extensão (CEPE) antes de sua aplicação, conforme o Apêndice B. O protocolo de entrega foi registrado sob o número nº 304189/2025, garantindo o cumprimento dos requisitos institucionais para pesquisas que envolvem participantes humanos.

A pesquisa bibliográfica teve como objetivo identificar estudos recentes relacionados a telhados verdes e sua integração com sistemas de Internet das Coisas (IoT) aplicados à sustentabilidade urbana. As buscas foram realizadas entre agosto e outubro de 2025 nas bases *Google Acadêmico*, *SciELO*, *Periódicos CAPES* e nos anais do Encontro Nacional de Conforto no

Ambiente Construído (ENCAC).

As consultas foram feitas utilizando combinações de palavras-chave em português e inglês, com as seguintes queries de pesquisa:

("telhados verdes" OR "green roofs") AND ("IoT" OR "Internet das Coisas" OR "monitoramento" OR "sensores") AND ("cidades sustentáveis" OR "ODS 11" OR "sustentabilidade urbana") AND ("Brasil" OR "São Sebastião") AND ("telhados verdes" AND Brazil AND "espessura" E "desempenho térmico" AND "tipologia").

O material selecionado foi analisado qualitativamente, priorizando publicações que abordassem desempenho térmico, eficiência hídrica, automação predial e gestão sustentável de edificações. Entre as referências de maior relevância teórica estão Barcelos *et al.* (2025), que discutem barreiras à adoção de telhados verdes no Brasil; Silva e Barbosa (2023), que investigam o desempenho térmico de diferentes espécies vegetais em coberturas verdes; e Barros *et al.* (2025), que tratam do uso da IoT no monitoramento de água e energia em edificações sustentáveis.

Resultados

Os resultados obtidos por meio da pesquisa bibliográfica e da análise da entrevista com o arquiteto Silvio Coelho confirmaram a eficácia dos telhados verdes inteligentes para mitigação de desafios ambientais urbanos, além de revelarem aspectos técnicos, econômicos e normativos que influenciam a aplicabilidade dessa tecnologia em contexto de São Sebastião-SP.

A entrevista evidenciou lacuna normativa crítica: não existe norma municipal específica para instalação de telhados verdes em São Sebastião, diferentemente dos sistemas fotovoltaicos já regulamentados. Conforme afirmou o entrevistado Silvio Coelho (2025). Essa ausência contrasta com a urgência apontada por De Arruda Filho e Jacobi (2024) quanto à necessidade de políticas públicas municipais para adaptação climática.

A principal barreira identificada foi a inconformidade estrutural. Segundo o entrevistado, os prédios públicos municipais não foram calculados para suportar as cargas adicionais de telhados verdes. Enquanto lajes convencionais são dimensionadas para 500 kg/m², telhados verdes podem demandar cargas superiores a 1.000 kg/m². A maioria dos edifícios públicos são alugados ou construídos sem planejamento para infraestrutura verde, inviabilizando a implementação em curto prazo.

Para novos projetos em São Sebastião, os sistemas extensivos caracterizados por substrato de menor profundidade (geralmente inferior a 152mm) emergem como alternativa estrutural viável devido à menor carga estrutural e reduzida manutenção, conforme destacado por Almeida (2020) citado por Barcelos (2025). A proposta de módulos com aproximadamente 10 centímetros, mencionados na entrevista, situa-se no limite inferior dessa faixa.

O entrevistado alertou que substratos de 10 cm podem apresentar ressecamento acelerado, demandando irrigação frequente e elevando custos operacionais. Essa observação prática reforça a importância da seleção adequada de vegetação resistente. A proposta de plantas suculentas mencionada na entrevista responde a essa preocupação devido à capacidade de retenção hídrica e resistência a períodos de estiagem, alinhando-se às recomendações de Silva e Barbosa (2023) quanto ao desempenho térmico adequado em clima tropical.

Integração IoT e Desempenho Termo Hídrico

Silvério *et al.* (2024) conceituam Internet das Coisas (IoT) como ecossistema integrado de sensores, conectividade de rede e plataformas de dados que viabilizam monitoramento em tempo real e automação de decisões controladas remotamente via *online*. Os autores explicam que essa tecnologia permite que dispositivos físicos colem, transmitam e processem informações ambientais continuamente, criando sistemas responsivos que podem adaptar-se automaticamente às condições observadas.

Silva, Benini e Godoy (2024) argumentam que a utilização de dados sistemáticos, viabilizada por tecnologias IoT, constitui elemento essencial para superação de desafios de governança urbana e alcance efetivo das metas estabelecidas pelo ODS 11. Os autores defendem modelo híbrido que combine avanços tecnológicos característicos das cidades inteligentes com práticas inclusivas das cidades sustentáveis, configurando convergência entre tecnologia digital e consciência ecológica. Essa abordagem integrada, segundo os autores, permite que gestores urbanos tomem decisões baseadas em evidências quantitativas enquanto mantêm foco em equidade social e sustentabilidade ambiental.

Zhou *et al.* (2024) citado por Silvério *et al.* (2024) descrevem a implementação de IoT em telhados verdes como sistemas tecnologicamente avançados que incorporam dispositivos de monitoramento, automação e otimização para aprimorar substancialmente o desempenho funcional e ambiental de coberturas vegetadas. Segundo Silvério *et al.* (2024), esses sistemas integram sensores específicos que monitoram continuamente parâmetros críticos como temperatura (do ar, do solo e da superfície), umidade do substrato, fluxo hídrico através das camadas de drenagem, além de mecanismos automatizados para controle térmico e gestão de águas pluviais.

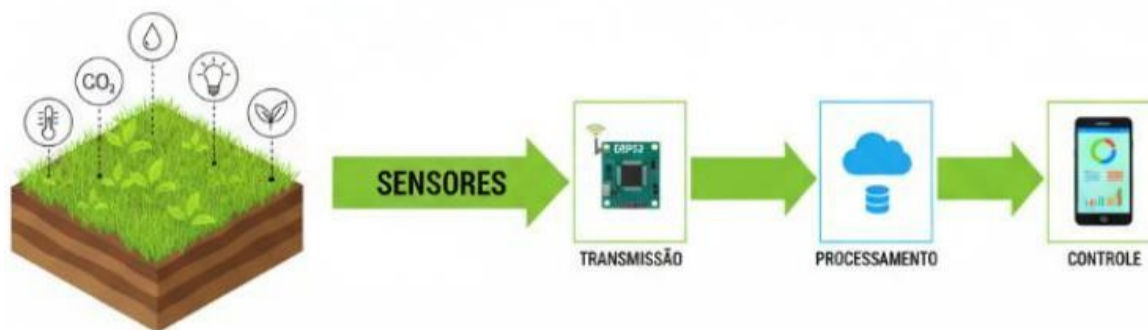
Os autores Barros, Ruschel e Silva (2025) e Zhao *et al.* (2024), especificam que as variáveis mensuradas incluem:

- Temperatura e umidade do solo, essenciais para monitorar o estado hídrico do substrato e otimizar protocolos de irrigação, permitindo aplicação de água apenas quando necessário e na quantidade adequada;
- Temperatura da superfície do telhado e do ar adjacente, parâmetros que permitem quantificar a eficiência do isolamento térmico proporcionado pelo sistema e avaliar o efeito de resfriamento urbano contribuído pelo telhado verde;
- E umidade relativa do ar e pluviosidade acumulada, dados que fornecem contexto para correlacionar o desempenho hídrico do sistema com eventos climáticos específicos, permitindo análises preditivas sobre capacidade de retenção em diferentes cenários de precipitação.

A arquitetura operacional desses sistemas, representada na Figura 3, demonstra o fluxo integrado desde a coleta de dados pelos sensores até a visualização em interfaces de usuário. Barros, Ruschel e Silva (2025) e Zhao *et al.* (2024) descrevem que os sistemas IoT para telhados verdes operam através de arquitetura distribuída organizada em camadas hierárquicas distintas, tais como: percepção – sensores e atuadores; de rede – protocolos de comunicação; de dados –

armazenamento e processamento; e de aplicação – interfaces e serviços ao usuário

Figura 3 - Arquitetura do Sistema IoT de Monitoramento de Telhados Verdes: da coleta de dados pelos sensores à visualização em tempo real.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2025.

Islam *et al.* (2023) explicam o funcionamento operacional desses sistemas, detalhando que sensores distribuídos estrategicamente ao longo do telhado verde capturam dados em intervalos regulares programáveis (tipicamente variando de minutos a horas, conforme parâmetro monitorado e necessidade de aplicação). Esses dados são então transmitidos via protocolos sem fio como *Wi-Fi* (apropriado para curtas distâncias e alta taxa de transferência), *LoRa* (*Long Range*, adequado para longas distâncias com baixo consumo energético), ou *NB-IoT* (*Narrowband IoT*, otimizado para conectividade celular de dispositivos com transmissão intermitente de pequenos volumes de dados) para servidores baseados em nuvem, onde ficam armazenados em bancos de dados estruturados.

Govindaraju *et al.* (2025) descrevem que algoritmos computacionais processam essas informações armazenadas, aplicando técnicas de análise estatística e aprendizado de máquina para identificar padrões operacionais normais, detectar anomalias que possam indicar problemas emergentes (como falhas em sensores, compactação excessiva de substrato, ou necessidades de manutenção), e gerar previsões sobre comportamento futuro do sistema. Os resultados dessas análises são disponibilizados através de interfaces gráficas acessíveis via navegadores web ou aplicativos móveis, permitindo que gestores e técnicos de manutenção monitorem o desempenho do sistema remotamente e recebam alertas automatizados quando intervenções são necessárias.

Silvério *et al.* (2024) explicam que a combinação entre dispositivos sensores de alta precisão e algoritmos de processamento inteligente amplia substancialmente a capacidade de resposta adaptativa do sistema às variações climáticas. Esse sistema responsivo pode, por exemplo, ajustar automaticamente taxas de irrigação baseando-se em previsões meteorológicas de curto prazo, aumentar capacidade de retenção hídrica antes de eventos de precipitação intensa (através de drenagem preventiva controlada), ou acionar sistemas de alerta quando condições críticas são detectadas. Os autores argumentam que essas capacidades contribuem para evitar a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana durante tempestades e aumentam a resiliência das cidades frente a eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes no contexto das mudanças climáticas globais.

Zhang *et al.* (2022) citado por Okimoto; Melo (2023), analisaram oito tipos de telhados verdes extensivos em clima subtropical, demonstrando variação sazonal significativa: no verão, redução substancial de temperatura superficial; no outono e primavera, diferenças médias entre 2,1°C e 2,3°C; no inverno, diferenças de 1,8°C a 1,3°C, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Diferença de temperatura entre coberturas vegetadas e com telhado convencional.



Fonte: Marinho (2014) citado por de Souza Galo *et al.* (2024).

Viabilidade econômica e técnica

O entrevistado Silvio Coelho (2025) enfatizou que os reforços estruturais em edifícios existentes, para incorporar os benefícios dos telhados verdes, mostraram-se economicamente inviáveis, observando que “às vezes é mais fácil você fazer uma coisa nova do que reformar”, pois demanda um recálculo estrutural.

De modo complementar, de Souza Galo *et al.* (2024) apresentaram dados comparativos de custos e prazos de execução de diferentes tipos de coberturas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação dos custos e prazos de execução dos três telhados.

Cobertura	Custo Total (R\$)	Percentual (%)	Prazo total (h)	Percentual (%)
Telhado de fibrocimento	4.270,43	55,23	67,20	124,44
Telhado cerâmico tipo francesa	6.198,50	80,17	125,20	231,85
Telhado Verde	7.731,89	100,00	54,00	100,00

Fonte: Moraes (2013) citado por de Souza Galo *et al.* (2024).

Observa-se que, embora telhados verdes apresente custo inicial mais elevado, ele requer menor tempo de execução e oferece maior desempenho térmico em comparação aos sistemas convencionais. Telhados cerâmicos, por outro lado, apresenta maior tempo de instalação, enquanto o fibrocimento, embora mais econômico, possui desempenho térmico inferior (de Souza Galo *et al.*, 2024).

Quanto às especificações técnicas, são necessárias mantas impermeabilizantes de alta maleabilidade (asfálticas ou de borracha) que acompanham movimentações estruturais e compensam eventuais fissuras, além de sistemas de drenagem adequados para escoamento de águas pluviais e excedentes de irrigação, alinhando-se à estrutura multicamadas descrita por Neto (2021) citado por Raposo (2024). Sistemas modulares oferecem vantagens de manutenção por permitirem remoção individual de módulos para inspeção e tratamento, característica relevante

para contextos com limitações orçamentárias.

Aplicabilidade em São Sebastião-SP

O município de São Sebastião está localizado no litoral norte do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas 23°49' de latitude Sul e 45°24' de longitude Oeste de *Greenwich*. De acordo com a classificação climática de *Köppen-Geiger*, caracteriza-se pelo tipo Am (tropical com inverno seco), com temperatura média anual de 23°C, precipitação superior a 1.970 mm anuais e alta umidade relativa do ar. Essas características climáticas — associadas à topografia acidentada e proximidade com o oceano — tornam o município particularmente vulnerável a eventos climáticos extremos, como as enchentes e deslizamentos registrados em fevereiro de 2023, contexto que evidencia a relevância de soluções de infraestrutura verde adaptadas ao clima local, conforme implícito em estudos de áreas costeiras semelhantes (Araújo *et al.*, 2025).

O contexto urbanístico de São Sebastião reflete processos típicos de municípios costeiros brasileiros: expansão urbana acelerada, impermeabilização extensiva do solo, pressão sobre ecossistemas naturais e vulnerabilidade a eventos climáticos extremos. O município possui significativo número de edifícios públicos, incluindo escolas municipais e estaduais, unidades de saúde, prédios administrativos e equipamentos culturais, que representam potenciais locais para projetos-piloto de telhados verdes inteligentes.

A implementação dessas tecnologias alinha-se com políticas públicas de sustentabilidade em âmbito municipal, estadual e federal. De Arruda Filho e Jacobi (2024) enfatizam a necessidade urgente de um "urbanismo climático no Brasil" que integre soluções baseadas na natureza com tecnologias digitais para enfrentamento das mudanças climáticas. Telhados verdes inteligentes em edifícios públicos de São Sebastião poderiam servir como modelos replicáveis para outros municípios costeiros, demonstrando viabilidade técnica, benefícios ambientais mensuráveis e potenciais de contribuição efetiva para o alcance do ODS 11.

O papel do aplicativo de gestão no monitoramento de telhados verdes inteligentes e a relevância da IoT no projeto

A integração da Internet das Coisas (IoT) com um aplicativo de gestão é fundamental para o sucesso do projeto, pois permite o monitoramento contínuo e eficiente das condições ambientais dos telhados verdes. O uso de sensores IoT, que coletam dados sobre temperatura, umidade e outras variáveis ambientais, se mostra como uma tecnologia chave, viabilizando o acompanhamento remoto e em tempo real do desempenho dos sistemas.

O aplicativo, portanto, contribui com uma gestão inteligente, baseada em dados e no monitoramento de condições críticas, eliminando a necessidade de inspeções presenciais frequentes e ajustes manuais na irrigação — tarefas que, em sistemas convencionais, demandam tempo e mão de obra especializada. A principal função do aplicativo é fornecer ao usuário uma plataforma intuitiva para acompanhamento dos indicadores ambientais, permitindo monitorar o desempenho do telhado verde em relação à temperatura e umidade.

Embora o foco do projeto seja a sustentabilidade, a tecnologia da informação (TI) é a base que possibilita essa gestão inteligente, ao transformar dados em informações relevantes para o gestor. Assim, a contribuição da TI vai além da visualização dos dados, pois ela possibilita um uso

mais eficiente e sustentado dos recursos naturais, com base na coleta e análise dos dados em tempo real. A aplicação de IoT no monitoramento dos telhados verdes se insere, portanto, no contexto da sustentabilidade inteligente, alinhando o uso de tecnologias digitais para otimizar os benefícios ambientais da infraestrutura verde.

Considerações Finais

Este estudo retomou o debate sobre os desafios ambientais enfrentados por municípios costeiros brasileiros, destacando São Sebastião-SP e sua vulnerabilidade a altas temperaturas, impermeabilização do solo e eventos climáticos extremos. Nesse contexto, verificou-se que a integração entre telhados verdes e tecnologias de Internet das Coisas (IoT) constitui estratégia promissora para fortalecer o desempenho termo hídrico de edificações públicas e apoiar políticas alinhadas ao ODS 11.

O objetivo geral, analisar a viabilidade de um sistema de telhado verde inteligente, que integra sensores de temperatura e umidade para monitoramento em tempo real, auxiliando na manutenção preventiva do sistema vegetal por meio da identificação precoce de condições de estresse hídrico e térmico, foi alcançado através da revisão sistemática da literatura recente (2023-2025).

As pesquisas analisadas sobre telhados verdes inteligentes têm demonstrado avanços significativos na integração de tecnologias de monitoramento em tempo real. Silva e Barbosa (2023) destacam que medir com precisão o consumo de energia e a eficiência térmica é fundamental para avaliar o desempenho de telhados verdes em climas tropicais, uma vez que diferentes espécies vegetais apresentam comportamentos distintos conforme as condições climáticas.

Complementarmente, Silvério *et al.* (2024) apresentam sistemas de drenagem urbana com controle em tempo real (RTC) que otimizam a gestão de águas pluviais através de sensores e algoritmos automatizados. Esses estudos demonstram que os benefícios da integração tecnológica vão desde a manutenção preventiva — identificando problemas como compactação do substrato através da leitura contínua de umidade — até a otimização de irrigação, aplicando água apenas onde e quando necessário, economizando recursos hídricos. A capacidade de detecção precoce de anomalias viabiliza intervenções preventivas, evitando a degradação progressiva dos sistemas e reduzindo custos operacionais a longo prazo (Barcelos *et al.*, 2025).

Conforme demonstrado por Silva *et al.* (2024), a convergência entre cidades inteligentes e cidades sustentáveis não representa contradição, mas sim sinergia que potencializa soluções ambientais urbanas. A integração tecnológica proporciona benefícios específicos que amplificam a efetividade dos telhados verdes através de três mecanismos principais:

- Otimização de irrigação baseada em dados reais de umidade do substrato e previsões meteorológicas reduzem o desperdício de água e garante condições adequadas para o desenvolvimento vegetal (Silvério *et al.*, 2024).
- Sistemas de alerta automatizados notificam gestores sobre situações críticas, como temperaturas extremas, níveis hídricos inadequados ou necessidade de intervenções

técnicas, fortalecendo a resiliência urbana frente às mudanças climáticas (Sezini e Dias, 2025).

- Coleta sistemática de dados de desempenho permite a avaliação quantitativa dos benefícios ambientais proporcionados, fundamentando políticas públicas de adaptação climática (Dias, 2024) e justificando investimentos em infraestrutura verde urbana.

Em virtude das limitações técnicas e estruturais identificadas nos edifícios públicos existentes, notadamente a ausência de dimensionamento para suportar cargas adicionais, está sendo estudado a implantação de um novo centro administrativo planejado para receber telhado verde inteligente desde sua concepção. Tal proposta permite atender às exigências de impermeabilização, drenagem, cálculo estrutural, vegetação adaptada e integração com sensores, consolidando a aplicação de infraestrutura verde inteligente no município. O desenvolvimento de um aplicativo de monitoramento inteligente, como parte dessa proposta, visa facilitar a gestão dos telhados verdes, otimizando o uso dos dados coletados pelos sensores e garantindo o funcionamento eficiente do sistema.

Contudo, identifica-se uma lacuna significativa na literatura especializada quanto à aplicação de telhados verdes inteligentes especificamente em contextos costeiros brasileiros. Embora existam estudos sobre telhados verdes em clima tropical e pesquisas sobre sistemas IoT em infraestruturas urbanas, a combinação dessas tecnologias em municípios litorâneos — considerando suas particularidades climáticas, urbanísticas e socioeconômicas — permanece pouco explorada academicamente, justificando a relevância da presente pesquisa.

Diante do exposto, conclui-se que telhados verdes inteligentes representam alternativa tecnicamente viável e estratégica para o Litoral Norte de São Paulo, podendo orientar políticas públicas e servir como modelo replicável para outras cidades costeiras do Brasil. A convergência entre infraestrutura verde e tecnologia digital reforça o papel do urbanismo climático na construção de ambientes urbanos mais resilientes, eficientes e sustentáveis.

Referências

- ARAÚJO, C. A.; BARBOSA, R. V. R.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. Análise de microclimas urbanos a partir de diferentes zonas climáticas locais em cidade costeira de clima tropical. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2025. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2025. Disponível em:<<https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/7162>>. Acesso em: 18 out. 2025.
- ARRUDA FILHO, M. T.; JACOBI, P. R. A urgência de um urbanismo climático no Brasil. GV-executivo, São Paulo, v. 23, n. 3, p. e91906, 2024. Disponível em:<<https://periodicos.fgv.br/gvexecutivo/article/view/91906>>. Acesso em: 18 out. 2025.
- BARCELOS, D. D. A. M., Jonov, C. M. P., Paula e Silva, A. D., Romeiro Filho, E., & Barcelos, H. J. Principais barreiras à adoção de telhados verdes: uma revisão de literatura para evitá-las no Brasil. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 25, e136793, 2025. DOI: 10.1590/s1678-86212025000100793. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/ac/a/M5XkMrkRxzXxL7WWM8HTwPk/>>. Acesso em: 19 out. 2025.
- BARROS, N. N.; RUSCHEL, R. C.; SILVA, V. G. Monitoramento por IoT para avaliação de consumo de energia e água de ambiente laboratorial. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.25, e138018, 2025. DOI: 10.1590/s1678-86212025000100766. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/ac/a/WSys4Tp7brX7w83Yvt39YgP/>>. Acesso em: 21 out. 2025.
- BASEV. Telhado verde: evolução dos telhados convencionais. 2024. Disponível em:<<https://basev.com.br/telhado-verde/>>. Acesso em: 24 nov. 2025.
- DIAS, S. M. Cidades inteligentes e as políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas: uma análise de quatro cidades latino-americanas em perspectiva comparada. 2024. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. Disponível em:<<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/101/101131/tde-04072024-180210/en.php>>. Acesso em: 18 out. 2025.
- DE SOUZA GALO, A. I., Krause, M. O. D., Marinho, F. J. E., & de Oliveira Lins, I. Utilização de coberturas verdes como estratégia sustentável para construções. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 1936-1951, 2024. DOI: 10.51891/rease.v10i11.16664. Disponível em:<<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/16664>>. Acesso em: 19 out. 2025.
- GOVINDARAJU, S.; BASHA, G. T. M. N. A. Real-time concrete strength monitoring: an IoT-enabled framework integrating electrochemical and fiber optic sensors for structural integrity assessment. Matéria (Rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 30, e20240784, 2025. DOI: 10.1590/1517-7076-RMAT-2024-0396. Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/rmat/a/xcfVZ5QzZZ5Ptdx35yn3tfr/>>. Acesso em: 21 out. 2025.
- ISLAM, M., Jamil, H. M. M., Pranto, S. A., Das, R. K., Amin, A., & Khan, A. Future industrial applications: exploring LPWAN-driven IoT protocols. arXiv preprint, arXiv:2310.09177, 2023. Disponível em:<<https://arxiv.org/abs/2310.09177>>. Acesso em: 21 out. 2025.
- MASSUGA, F. A influência dos modos de governança nas iniciativas de transição para cidades sustentáveis com base nas metas 11.2 e 11.6 do ODS-11: um estudo em municípios da região Sul do Brasil. 2024. 265 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Comunitário) – Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Desenvolvimento Comunitário, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2024. Disponível em:<<https://tede.unicentro.br/jspui/handle/jspui/2438>>. Acesso em: 19 out. 2025.
- OKIMOTO, F. S.; MELLO, L. F. Coberturas verdes: conceito, aplicação e desempenho. MIX Sustentável, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 159-170, jul. 2023. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.159-170. Disponível em:<<https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5845>>. Acesso em: 19 out. 2025.
- RAPOSO, D. A. O. Sobre o telhado verde: uma possibilidade sustentável. 2024. 38 f. Trabalho

de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Edufor, São Luís, 2024. Acesso em: 19 out. 2025.

SEZINI, L. B.; DIAS, F. M. V. Cidades inteligentes e resiliência urbana: preparando-se para o futuro das mudanças climáticas. ARACÊ – Direitos Humanos em Revista, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 13291-13310, 2025. DOI: 10.56238/arev7n3-183. Disponível em:<<https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/3929>>. Acesso em: 21 out. 2025.

SILVA, A. L. C.; BENINI, S. M.; GODOY, J. A. R. Cidades inteligentes e cidades sustentáveis: contradições e sinergia para a construção de um modelo integrado. Boletim de Conjuntura (BOCA), Boa Vista, v. 20, n. 58, p. 350-382, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.14533176. Disponível em:<<https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/6249>>. Acesso em: 21 out. 2025.

SILVA, W. S.; BARBOSA, R. V. R. Comparação do desempenho higrotérmico de células-teste com telhados verdes em um clima tropical (As) utilizando três diferentes espécies vegetais. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2023. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2023. p. 1-10. DOI: 10.46421/encac.v17i1.4146. Disponível em:<<https://eventos.antac.org.br/index.php/encac/article/view/4146>>. Acesso em: 19 out. 2025.

SILVÉRIO, W. L.; GUILLEN SALAS, J. C.; REIS, R. P. A. Drenagem urbana: telhados inteligentes com controle em tempo real (RTC). Revista Jatobá, Goiânia, v. 6, 2024. DOI: 10.5216/revjat.v6.78994. Disponível em:<<https://revistas.ufg.br/revjat/article/view/78994>>. Acesso em: 21 out. 2025.

SPRI, Inc.; GREEN ROOFS FOR HEALTHY CITIES. ANSI/SPRI VF-1 external fire design standard for vegetative roofs. American National Standards Institute, 2023. Disponível em:<<https://www.spri.org/wpfb-file/ansi-spri-vf-1-2023-external-fire-design-standard-for-vegetative-roofs-pdf/>>. Acesso em: 24 nov. 2025.

ZHAO, Z., Song, W., Wang, H., Sun, Y., & Luo, H. Development and application of IoT monitoring systems for typical large amusement facilities. Sensors, Basel, v. 24, n. 14, p. 4433, 2024. DOI: 10.3390/s24144499. Disponível em:<<https://www.mdpi.com/1424-8220/24/14/4433>>. Acesso em: 21 out. 2025.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA E RESPOSTAS

Entrevistado: arquiteto Silvio Coelho.

Local: São Sebastião-SP.

Data: 23 de outubro de 2025.

Procedimento: Entrevista semiestruturada, gravada e transcrita na íntegra.

1. Existe alguma norma municipal, estadual ou federal que regulamenta a instalação de telhados verdes em São Sebastião?

Resposta: Não há norma municipal para telhados verdes.

2. Qual a viabilidade estrutural de instalação de telhados verdes nos prédios públicos existentes?

Resposta: A maioria dos prédios públicos não foi projetada para suportar a carga adicional de um telhado verde extensivo, sendo necessário estudo de reforço estrutural em casos específicos.

3. Qual o tipo de telhado verde mais adequado para esses edifícios?

Resposta: Sistemas extensivos, com substrato de menor profundidade e baixa manutenção.

4. Quais são os principais desafios econômicos e de manutenção?

Resposta: Reforços estruturais em prédios existentes são economicamente inviáveis. A manutenção periódica, irrigação e substituição de plantas demandam planejamento e recursos.

5. É possível integrar sensores IoT para monitoramento de temperatura, umidade e pluviosidade?

Resposta: Sim, a integração é viável e contribui para otimizar o manejo hídrico e o desempenho térmico dos telhados verdes.

6. Quais benefícios podem ser observados em termos térmicos e hídricos?

Resposta: Redução de temperatura interna e externa das edificações, retenção de água pluvial e melhor conforto ambiental, além de benefícios à biodiversidade urbana.

APÊNDICE B – AUTORIZAÇÃO DA CEPE E ORIENTAÇÕES



CÂMARA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (CEPE)

Protocolo de análise de questionário – 2025

Esse protocolo de análise de questionários e guias de entrevistas é um comprovante de exame do conteúdo da ferramenta de levantamento de dados realizado pela CEPE.

Os questionários/guias só serão validados após o cumprimento das seguintes etapas:

- Análise do professor orientador;
- Revisão da CEPE;
- Realização das alterações pertinentes (caso haja);
- Retorno do questionário, por e-mail, para a CEPE.

Data da submissão	Alterações sugeridas	Data da análise e devolução aos alunos	Data do retorno com as alterações (caso houver)	Alterações a realizar (caso houver)
15/10/2025	Parabéns! Não há sugestões de alterações para o instrumento de pesquisa submetido à análise da CEPE.	22/10/2025		

Essa pesquisa foi protocolada e aprovada sem recomendações pela Câmara de Ensino, Pesquisa e Extensão da Fatec São Sebastião, sob protocolo de registro nº 304189/2025.

Parabéns pela iniciativa!