

Monitoramento de Temperatura e Umidade para Promover o Conforto Térmico em Áreas Urbanas

Enrique Granado Novaes¹, Enzo Rocha Damato², Gabriel Santos de Oliveira Arruda³, Paulo Henrique Sousa Camargo⁴, Bruno da Silva Rodrigues⁵

¹Faculdade de Computação e Informática (FCI)
Universidade Presbiteriana Mackenzie – São Paulo, SP – Brasil

{10276914,10175268,10388025,10389453,bruno.rodrigues}@mackenzista.com.br

Resumo. *A crescente urbanização e as mudanças climáticas impõem desafios à qualidade do ar e ao conforto térmico nas áreas urbanas. O fenômeno das ilhas de calor, intensificado pela retenção de calor em estruturas urbanas, emissão de poluentes e redução da cobertura vegetal, representa um problema significativo para a saúde pública e o meio ambiente. Este projeto apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema de monitoramento remoto de temperatura e umidade do ar para mapear as ilhas de calor nas cidades, identificar áreas de risco e subsidiar a tomada de decisões para a mitigação desses efeitos.*

Palavras-chave: *ilha de calor, conforto térmico, temperatura, microcontrolador, sensores, umidade, planejamento urbano.*

Abstract. *Increasing urbanization and climate change pose challenges to air quality and thermal comfort in urban areas. The heat island phenomenon, intensified by heat retention in urban structures, pollutant emissions and reduced vegetation cover, represents a significant problem for public health and the environment. This project presents the development and implementation of a remote air temperature and humidity monitoring system to map heat islands in cities, identify risk areas and support decision-making to mitigate these effects.*

Keywords: *heat island, thermal comfort, temperature, microcontrolador, sensors, humidity, urban planning.*

1. Introdução

A crescente urbanização e as mudanças climáticas trazem grandes desafios para o conforto das pessoas nas cidades. Prédios e estradas absorvem e liberam a radiação solar, causando o fenômeno das ilhas de calor urbanas, onde as temperaturas nos centros urbanos são muito mais altas do que nas áreas rurais ao redor (GALUSIC, 2019). Esse problema é agravado pela diminuição da vegetação e pelas características térmicas dos materiais usados nas construções, como telhados e calçadas, além do calor gerado por atividades humanas, como indústrias e tráfego intenso de veículos (LUO et al., 2020).

As ilhas de calor representam uma ameaça à saúde pública e ao meio ambiente. Altas temperaturas urbanas aumentam a radiação solar e a presença de compostos orgânicos voláteis na atmosfera, facilitando a formação de ozônio troposférico (CASTELHANO, 2018), um poluente nocivo com forte poder que pode danificar culturas agrícolas e plantas nativas (MARTINS et al., 2001).

Em resposta a esses desafios, sistemas de monitoramento remoto de temperatura e umidade se tornam ferramentas cruciais. A qualidade do ar e a umidade variam com as estações do ano, influenciando diretamente as internações por doenças pulmonares, sublinhando a importância de um monitoramento ambiental preciso para a saúde pública (QIU et al., 2013).

Além disso, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 2023) alerta que a poluição do ar contribui para 7 milhões de mortes prematuras anualmente em todo o mundo. A variação da umidade do ar, especialmente em um clima cada vez mais quente, pode intensificar problemas respiratórios como a asma.

Neste sentido, o projeto proposto visa desenvolver e implantar um sistema de monitoramento, utilizando um microcontrolador, sensores, e GPS, com o objetivo de auxiliar no mapeamento do conforto térmico e identificar áreas de risco. Essa tecnologia permitirá a coleta precisa de dados de temperatura e umidade em diferentes pontos de uma região, fornecendo uma visão detalhada sobre o impacto das condições climáticas em áreas urbanas.

Os resultados do mapeamento de conforto térmico, por sua vez, servirão como insumo essencial para arquitetos e urbanistas na tomada de decisões voltadas ao planejamento urbano e à construção de ambientes mais sustentáveis e habitáveis. Estudo realizado em Recife e publicado no artigo "Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano" (FERREIRA et al., 2021) evidencia como a análise de microclimas urbanos pode orientar políticas públicas para mitigar o desconforto térmico em áreas densamente construídas e verticalizadas. Os pesquisadores identificaram 14 microclimas distintos, revelando zonas com alto acúmulo de calor que exigem intervenções específicas, como o aumento de áreas verdes e a implementação de materiais de construção com baixa capacidade de absorção térmica. Essas ações podem contribuir para mitigar o fenômeno das ilhas de calor urbanas, oferecendo melhor qualidade de vida aos habitantes em áreas com intensa ocupação urbana.

Ao integrar o conhecimento sobre as ilhas de calor com as demandas arquitetônicas e urbanísticas, será possível implementar estratégias de mitigação mais eficazes, como a criação de áreas verdes e o desenvolvimento de edifícios sustentáveis. Essas ações contribuirão para reduzir o impacto das ilhas de calor, promovendo um ambiente urbano mais agradável e uma melhor qualidade de vida para a população.

Para apresentar este projeto, o artigo está organizado como segue. Na seção 2 é apresentada a fundamentação teórica para facilitar o entendimento das demais seções do trabalho. Na seção 3 está a metodologia do trabalho onde será apresentada toda a arquitetura do sistema, assim como foi o processo de avaliação do sistema. Na seção 4 é apresentado os resultados e discussões onde o sistema é apresentado, bem como o resultado da avaliação dos especialistas. A seção 5 apresenta as conclusões do trabalho.

2. Referencial Teórico

2.1 Conforto térmico e urbanismo

A cobertura e uso do solo, a densificação urbana, e as mudanças climáticas são fatores que influenciam significativamente o conforto térmico nas áreas urbanas. Estes tópicos são cruciais para a sustentabilidade urbana e a saúde pública, pois a urbanização acelerada pode levar a um aumento nas temperaturas urbanas, o chamado Ilhas de Calor Urbano (ICU), o qual afeta diretamente a saúde e o bem-estar da população. (NETO et al., 2017).

A densificação urbana e as mudanças no uso e na cobertura do solo podem alterar a capacidade de uma cidade de se resfriar naturalmente, aumentando a temperatura do ar e do solo. Isso pode resultar em condições de conforto térmico adversas, como calor excessivo e falta de ventilação, afetando a saúde dos habitantes e aumentando a demanda por energia para sistemas de ar-condicionado. (BARROS et al, 2016).

Estratégias de mitigação, como a implementação de áreas verdes, a promoção de edifícios sustentáveis e a melhoria da infraestrutura urbana, são essenciais para melhorar o conforto térmico nas áreas urbanas. Estas estratégias não apenas reduzem o efeito ilha de calor urbano, mas também promovem a saúde pública e a sustentabilidade ambiental. De acordo com São Paulo (2014), o Plano Diretor de 2014 de São Paulo destaca a importância da "recuperação da qualidade dos sistemas ambientais existentes, especialmente dos rios, córregos e áreas vegetadas, articulando-os adequadamente com os sistemas urbanos [...], com especial atenção à recuperação das planícies fluviais e mitigação das ilhas de calor".

Em resumo, o conforto térmico e urbanismo são temas fundamentais para a sustentabilidade urbana e para a saúde pública. A compreensão e a gestão adequadas desses fatores são cruciais para criar ambientes urbanos que sejam não apenas habitáveis, mas também sustentáveis e saudáveis. Sendo assim, para estimar o conforto térmico de uma determinada área, será utilizado o Índice de Temperatura Umidade (ITU), que avalia o desconforto humano com base na temperatura e na umidade é dado por:

$$ITU = T - 0.55 X (1 - UR) X (T - 14) \quad (1)$$

Onde: (T) representa a temperatura do Ar e (UR) a Umidade Relativa.

Com base no cálculo de ITU da equação (1), temos a classificação de desconforto térmico baseada no Índice de Desconforto de Thom (DI) (tabela 1) que é utilizada para avaliar o nível de desconforto climático experimentado por uma população. Conforme o valor do DI aumenta, a sensação de desconforto e o impacto no bem-estar da população também se intensificam.

Condição	ITU
Sem desconforto	<21
Pequeno desconforto	21 – 24
Desconforto considerável	25 – 29
Grande desconforto	30 - 32
Máximo desconforto	>32

Tabela 1: Condições de desconforto de Thom segundo o Índice de Desconforto

Fonte: (YOUSIF, 2013).

2.2 Internet das coisas (Iot)

A Internet das Coisas (IoT) refere-se à conexão de dispositivos físicos por meio da internet, permitindo o compartilhamento e a análise de dados em tempo real. Dispositivos como eletrodomésticos e sensores industriais interagem de forma inteligente e integrada, oferecendo benefícios como maior eficiência, automação e conveniência. Por exemplo, na indústria, a IoT possibilita a otimização de processos e monitoramento remoto de equipamentos, enquanto em cidades inteligentes, melhora a mobilidade urbana e o gerenciamento de serviços públicos. Esses avanços, conforme destacado por Rodrigues, Ferreira e Ramos (2023) no estudo Impactos do IoT no dia a dia da sociedade são impulsionados pela integração de dispositivos e redes, transformando nosso cotidiano com soluções inovadoras e conectadas.

Entre esses dispositivos, os sensores desempenham papel crucial ao detectar e medir mudanças no ambiente, sendo amplamente utilizados para medir variáveis como temperatura e umidade do ar (CORRÊA et al., 2023). Adicionalmente, tecnologias como o GPS, um sistema global de navegação que utiliza satélites para determinar a localização, são fundamentais para o monitoramento remoto, oferecendo informações precisas sobre a localização de dispositivos em tempo real (TALIB et al., 2021). No contexto do projeto, os dados coletados por sensores e pelo GPS são armazenados em um banco de dados para posterior análise e visualização.

O monitoramento remoto é uma capacidade essencial dentro do ecossistema da Internet das Coisas (IoT), pois permite acompanhar dispositivos, processos e sistemas à distância, utilizando redes, internet e softwares de monitoramento. Esse recurso é especialmente valioso para organizações e empresas, uma vez que proporciona informações em tempo real sobre o estado de dispositivos, sistemas e ativos, gerando melhorias em segurança, eficiência e desempenho (MORALES et al., 2015). No contexto deste projeto, o monitoramento remoto se torna ainda mais relevante ao integrar sensores de temperatura e umidade, além de tecnologias como GPS, que garantem a precisão espacial e temporal dos dados.

Entre as variáveis ambientais monitoradas, a temperatura e a umidade do ar são de grande importância, pois influenciam diretamente na qualidade do ar, na saúde da população e na durabilidade de equipamentos. O acompanhamento dessas variáveis é fundamental para assegurar condições ambientais adequadas (YAINETH et al., 2019), prevenindo problemas para a saúde e protegendo a integridade dos equipamentos utilizados no cotidiano.

2.3 Cloud computing e on-premise

Computação em nuvem oferece uma maneira flexível de acessar e utilizar serviços de tecnologia pela internet. Onde você aluga serviços em específico e paga conforme o uso.

Por outro lado, a computação on-premise adota o conceito de ter controle físico sobre seus próprios servidores e equipamentos de TI, mantidos dentro das instalações da empresa. Isso significa que a organização tem total responsabilidade e controle sobre todo o hardware e software necessários para suas operações.

As principais diferenças entre a computação em nuvem e a computação local (on-premise) incluem:

- **Acesso aos dados:** Na computação em nuvem, os dados são armazenados em servidores remotos e podem ser acessados de qualquer lugar com conexão à internet. Na computação on-premise, os dados são armazenados localmente no dispositivo ou em servidores locais.
- **Escalabilidade:** A computação em nuvem oferece uma escalabilidade muito maior, permitindo aumentar ou diminuir os recursos de acordo com a demanda. Na computação on-premise, a escalabilidade é limitada pelos recursos físicos disponíveis.
- **Custos:** Os custos da computação em nuvem geralmente envolvem o pagamento pelo uso dos recursos, o que pode ser mais econômico. Na computação on-premise, os custos estão relacionados à compra e manutenção de hardware e software.
- **Segurança:** A segurança dos dados é uma preocupação importante em ambas as abordagens, mas a computação em nuvem geralmente oferece recursos de segurança avançados devido aos altos padrões de proteção adotados pelos provedores de serviços em nuvem.
- **Disponibilidade e Confiabilidade:** A computação em nuvem costuma ser mais confiável e estar sempre disponível porque os dados são armazenados em vários servidores, garantindo que estejam sempre acessíveis. Já na computação local, a disponibilidade e a confiabilidade dependem da qualidade dos servidores e da infraestrutura que a empresa possui no local.

2.4 Trabalhos Correlatos

Atualmente, problemas ambientais e climáticos têm sido temas muito estudados, por cientistas, pois causam preocupação na população mundial devido ao poder de destruição que podem causar a milhares de pessoas como com a enchente no Rio Grande do Sul em 2024 (MUNHOZ, 2024). Para isso, o monitoramento e controle de problemas ambientais, como a poluição e o conforto humano se tornam fundamentais.

O trabalho desenvolvido por (ABBA, 2019) com foco em monitoramento de dados voltados à poluição ambiental, tem uma estrutura de hardware semelhante à utilizada no trabalho atual, um protótipo com um microcontrolador, contendo sensores e um módulo de acesso à internet. Os sensores obtêm dados de gases e barulho e armazenam as informações, podendo-as serem consultadas e monitoradas de locais remotos via internet.

No âmbito de conforto térmico, pode-se citar o trabalho de (BURIOL et al., 2015), onde os autores utilizaram dados históricos de temperatura do ar e umidade para calcular o índice de Temperatura Efetiva na cidade de Santa Maria no Rio Grande do Sul. Com foco em identificar períodos de desconforto térmico causados por temperaturas altas e baixas ao longo do ano, ressaltando a importância do planejamento urbano.

O estudo publicado por (BRIEGEL et al., 2023) aborda um modelo de redes neurais de convolução (U-Net) para simular condições de conforto térmico em áreas urbanas. Eles utilizaram o modelo SOLWEIG para gerar dados de treinamento espaciais e temporais, validando o modelo U-Net em seis áreas urbanas da cidade de Freiburg im Breisgau, durante 12 dias, demonstrando a habilidade do U-Net de generalizar e modelar a temperatura radiante média (T_{mrt}) em diferentes cenários urbanos e condições meteorológicas.

3. Metodologia

Sobre a metodologia empregada no trabalho, inicialmente foi realizada uma pesquisa exploratória, para encontrar trabalhos correlatos com o objetivo de compreender as possibilidades de criar um sistema de monitoramento utilizando sensores para auxiliar na solução do problema de conforto humano de áreas, utilizando os dados de GPS, temperatura e umidade.

O desenvolvimento do projeto foi dividido em várias etapas: desenvolvimento da arquitetura do protótipo, seleção de equipamentos, configuração de parâmetros para garantir a coleta dos dados, transmissão, processamento e visualização de dados.

3.1 Arquitetura do protótipo

Na arquitetura montada, esquematizamos todo o fluxo de prototipagem do projeto, coleta dos dados dos sensores, envio das informações para o banco de dados, processamento e disponibilização dos dados em uma aplicação web. A figura 1 apresenta um diagrama da arquitetura proposta neste trabalho.

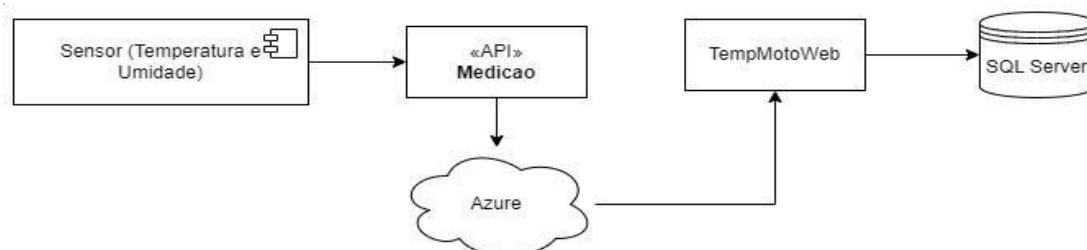


Figura 1: Diagrama esquemático da arquitetura do sistema desenvolvido.

Fonte: Diagrama da arquitetura do projeto elaborado pelos autores.

O microcontrolador, junto dos sensores, é responsável pela coleta das informações de: temperatura, umidade e localização. Em seguida os dados são enviados para uma API (Application Programming Interface) hospedada na plataforma de computação em nuvem executada pela Microsoft Azure, a qual grava os registros capturados no banco de dados.

O sistema de monitoramento é baseado em um microcontrolador ESP32, escolhido pelo baixo custo e ampla comunidade de suporte. Os componentes utilizados incluem:

- Sensor de temperatura e umidade DHT22: Este sensor foi selecionado devido à sua capacidade de fornecer leituras de temperatura de -40 a 80°C e umidade relativa de 0% a 100%, com uma precisão de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ e $\pm 2\%$ de umidade relativa.
- Sensor GPS Neo-6M: Utilizado para determinar a localização precisa das medições, essencial para mapear as diferentes partes da cidade.
- Display Oled I2c: utilizado para apresentar informações relevantes ao usuário como dados do último registro, status da conexão e possíveis erros.
- Módulo de cartão SD: este componente é usado para armazenar os dados de registros com possíveis falhas de postagem e/ou conexão, garantindo redundância na qualidade dos dados.
- Placa ESP32: microcontrolador usado para coleta e postagem das informações dos sensores.

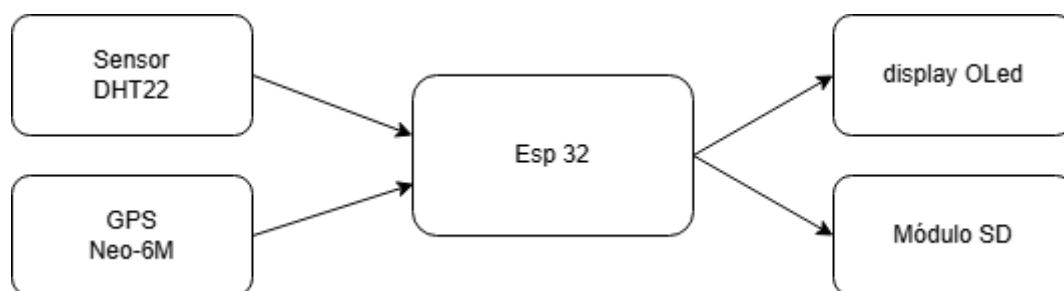


Figura 2: Diagrama do protótipo desenvolvido para o projeto.

Fonte: Diagrama elaborado pelos autores.

Conforme modelo da Figura 1, o dispositivo IoT apresentado na Figura 2 irá se conectar à aplicação TempMotoWeb, desenvolvida em C# com o framework .NET. Para o envio dos dados de temperatura, umidade e localização geográfica, foi utilizado o protocolo HTTP devido à sua simplicidade e ampla compatibilidade. Os dados são transmitidos no formato JSON, garantindo fácil integração com outras plataformas e permitindo uma análise eficiente por meio de gráficos e mapas interativos disponíveis na aplicação.

4. Resultados e discussão

4.1 Dispositivo Iot e integração com sistema na nuvem

Com base no diagrama apresentado na figura 1 e nos materiais descritos na (figura 2), foi elaborado um protótipo funcional de dispositivo IoT. A figura 3 ilustra uma imagem do protótipo desenvolvido pelos autores deste trabalho.

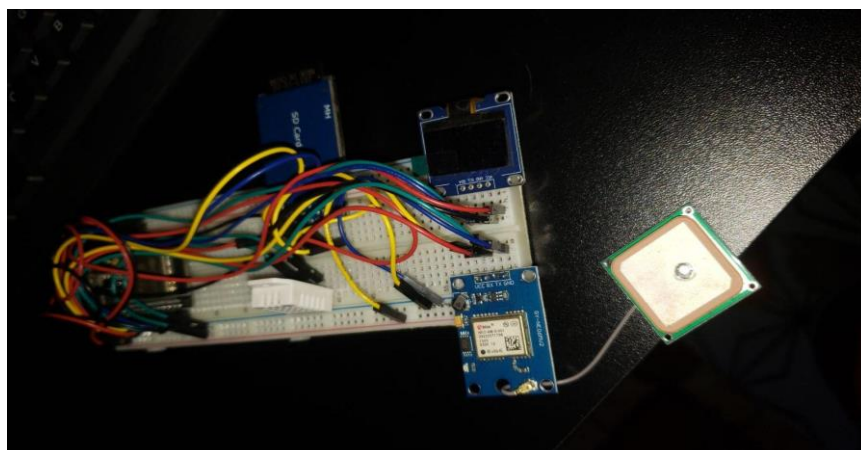


Figura 3: Protótipo desenvolvido pelos alunos contendo um microcontrolador, sensor de temperatura, sensor de umidade e GPS.

Fonte: Protótipo elaborado pelos autores.

O sistema foi configurado para realizar coletas de dados a cada 10 minutos (intervalo definido com base em testes), com o objetivo de otimizar o consumo de bateria e, ao mesmo tempo, preservar a frequência necessária para uma análise temporal adequada. Paralelamente, o sensor GPS foi configurado para operar em sincronia com o DHT22, assegurando que cada registro de temperatura e umidade esteja vinculado a uma localização geográfica exata. Essa sincronização entre os sensores permite uma coleta de dados precisa e contextualizada, essencial para as análises espaciais e temporais do projeto. Para tratar falhas eventuais, caso o GPS não funcione, os dados não são coletados, garantindo que todas as informações registradas estejam devidamente georreferenciadas. Em situações de indisponibilidade de conexão Wi-Fi, os dados são armazenados localmente em um cartão SD, preservando sua integridade para envio posterior ao servidor.

Os dados coletados são enviados em tempo real para um servidor na nuvem utilizando o protocolo HTTP, amplamente conhecido, fácil de integrar, e que garante uma comunicação rápida e estável. Além do Wi-Fi, é possível integrar o dispositivo com outras formas de comunicação, como:

Rede LoRaWAN: Protocolo de comunicação de longo alcance e baixo consumo de energia, ideal para dispositivos IoT em áreas remotas ou com pouca infraestrutura de internet (TALARI et al., 2017).

Sigfox: Tecnologia de comunicação IoT projetada para baixa taxa de transmissão de dados e alta eficiência energética, adequada para sensores que não precisam transmitir grandes volumes de informação (GIORDANI et al., 2019).

Comunicação via GSM/GPRS: Permite o envio de dados usando redes celulares, sendo uma opção confiável quando o Wi-Fi não está disponível (SHARMA et al., 2021).

Os dados enviados são formatados em JSON, um formato leve e simples de trabalhar, ideal para facilitar a integração com outras plataformas. Além disso, o JSON pode ser

facilmente convertido para formatos como o CSV, prático para manipulação e análise em ferramentas como Excel.

Quando a conexão com a internet não está disponível, os dados ficam temporariamente armazenados em um cartão SD no próprio dispositivo, já convertidos para o formato CSV. Isso foi pensado para tornar o processo mais ágil e facilitar o trabalho dos usuários finais, como professores, que podem precisar consultar as informações de forma rápida e eficiente.

A análise desses dados acontece em uma aplicação web desenvolvida em C# com o framework .NET, onde é possível visualizar tanto dados históricos quanto informações em tempo real. A interface da aplicação permite que os usuários explorem gráficos e mapas interativos, tornando o entendimento dos dados mais intuitivo e acessível. As escolhas que fizemos em termos de protocolos de comunicação e padrões de dados garantem que o sistema seja não apenas eficiente, mas também escalável e seguro, pronto para lidar com grandes volumes de informações de maneira ágil e confiável.

4.2 Aplicação TempMotoWeb

Após a coleta de dados realizada pelo protótipo desenvolvido (figura 3), a aplicação web possibilita uma análise detalhada das informações obtidas. A visualização desses dados na plataforma, aliada ao uso de ferramentas integradas, como mapas interativos, proporciona uma abordagem espacial para o entendimento dos dados coletados

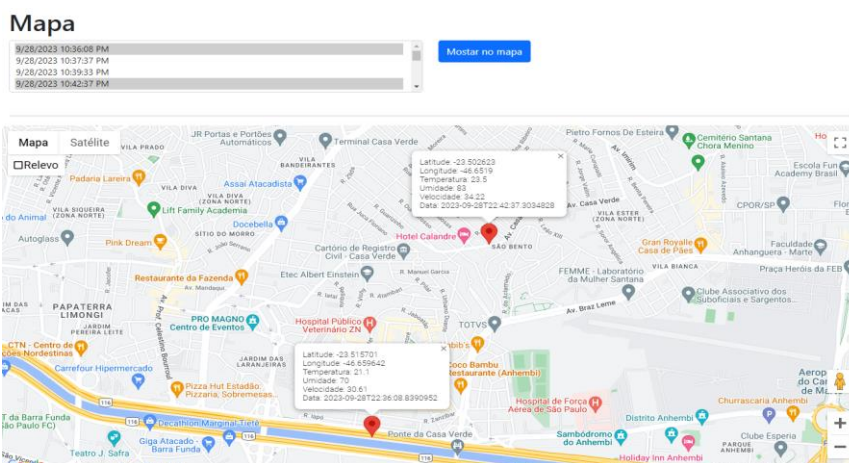


Figura 4: Mapa das coletas de informações.

Fonte: Aplicação elaborada pelos autores.

Na figura 4, pode-se observar a tela de mapa da aplicação, a qual permite visualizar no mapa os locais em que houve a coleta dos dados, bem como os dados de latitude, longitude, velocidade em que o portador do dispositivo estava se locomovendo no momento da coleta, temperatura, umidade e data obtidos nesses pontos. Para alterar os pontos a serem visualizados, pelo Selectpicker no campo superior esquerdo, o usuário pode selecionar a data desejada.

A partir da seleção da data, as informações georreferenciadas exibidas na figura 4 possibilitam uma análise espacial detalhada, contribuindo para identificar padrões e tendências relacionadas às variáveis monitoradas. A funcionalidade de filtragem por data aumenta a eficiência da consulta, permitindo uma visão direcionada das coletas realizadas em períodos específicos.

Endereço	Temperatura	Umidade	Velocidade	Data	
Av. João Marcelino Branco, 236 - Vila dos Andrades, São Paulo - SP, 02610-000, Brazil	27	72	0	21:29 20/11/2023	Detalhes
R. Verônica, 76 - Vila dos Andrades, São Paulo - SP, 02610-080, Brazil	26.6	82	0	21:34 20/11/2023	Detalhes
Av. João Marcelino Branco, 236 - Vila dos Andrades, São Paulo - SP, 02610-000, Brazil	23.2	95	0	21:39 20/11/2023	Detalhes
Av. João Marcelino Branco, 236 - Vila dos Andrades, São Paulo - SP, 02610-000, Brazil	24.2	95	0	21:44 20/11/2023	Detalhes
Av. João Marcelino Branco, 236 - Vila dos Andrades, São Paulo - SP, 02610-000, Brazil	22.2	95	0	21:49 20/11/2023	Detalhes
Av. João Marcelino Branco, 236 - Vila dos Andrades, São Paulo - SP, 02610-000, Brazil	23	95	0	22:16 20/11/2023	Detalhes

Figura 5: Lista de medições detalhadas para monitoramento.

Fonte: Aplicação elaborada pelos autores.

A figura 5 apresenta a funcionalidade de "Lista de Medições" da aplicação, que organiza de forma detalhada e acessível as informações coletadas em diferentes pontos de medição. Cada linha da tabela contém dados como endereço, temperatura, umidade, velocidade do dispositivo no momento da coleta e a data/hora do registro, permitindo que o usuário visualize rapidamente as medições realizadas.

Além disso, a funcionalidade inclui o botão "Detalhes" associado a cada linha, o que facilita a navegação para uma análise mais granular das informações coletadas. Essa estrutura organizada contribui para o monitoramento eficiente, oferecendo uma visão consolidada das condições ambientais.

Detalhes	
Medição	
Endereço	Temperatura
Latitude	27,8
-23,591437	Umidade
Longitude	80,6
-46,684144	Número de satélites
Altitude	10
799	Velocidade
ITU	0
26,33	Data
desconforto	20:54 11/11/2024
Voltar	

Figura 6: Aba de detalhes.

Fonte: Aplicação elaborada pelos autores.

No canto inferior esquerdo é possível ver a classificação do ITU, calculado com base na fórmula (1), representada com o valor 26,33 e rotulada como "desconforto", rótulo esse que foi calculado com base na classificação apresentada na tabela 1, oferecendo

assim uma interpretação direta sobre o conforto térmico daquele local. Além disso, a interface destaca a data e hora da medição, reforçando a rastreabilidade temporal dos dados coletados. Essa funcionalidade oferece uma análise detalhada das variáveis ambientais, permitindo que o usuário interprete os dados de forma contextualizada.

Outro recurso desenvolvido no sistema é a análise por área. No mapa da figura 7, os pontos de coleta são representados por marcadores vermelhos, e o usuário pode traçar polígonos sobre a área de interesse, habilitando uma análise específica daquela região.

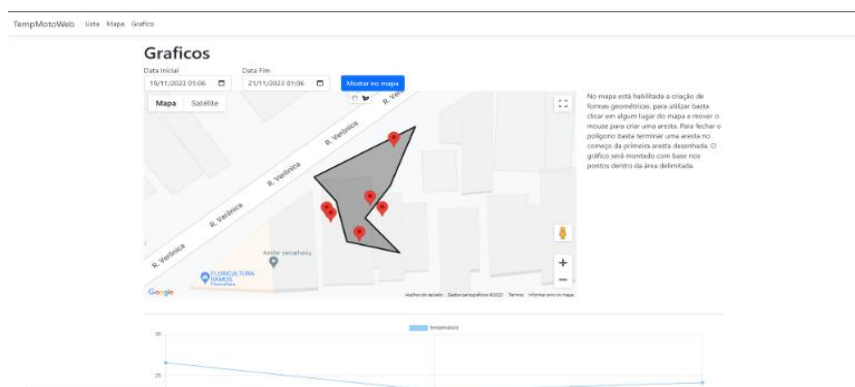


Figura 7: Aba de gráficos.

Fonte: Aplicação elaborada pelos autores.

No mapa da figura 7, os pontos de coleta são representados por marcadores vermelhos, e o usuário pode traçar polígonos sobre a área de interesse, habilitando uma análise específica daquela região.

Ao traçar e fechar o polígono, o sistema processa os dados contidos na área delimitada e gera gráficos que representam as variáveis selecionadas, como temperatura e umidade, ao longo do tempo ou dentro do espaço especificado. Essa abordagem permite identificar padrões locais, tendências temporais e possíveis anomalias ambientais e ilhas de calor. Dessa forma possibilitando a visualização de áreas que necessitam de atuação para que se garanta o conforto térmico adequado.

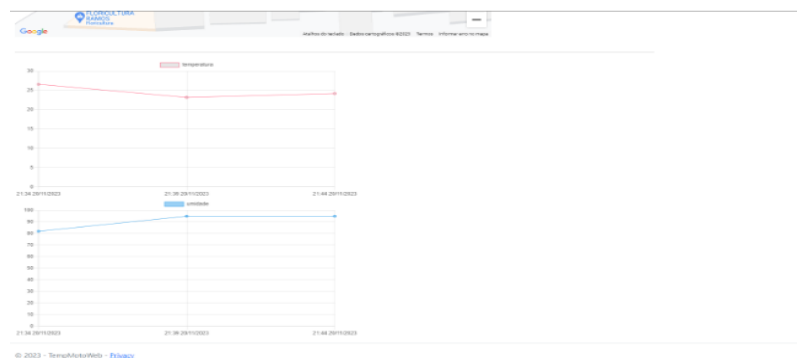


Figura 8: Gráficos de temperatura e umidade gerados com base nos pontos delimitados.

Fonte: Aplicação elaborada pelos autores.

A figura 8 apresenta gráficos que representam a variação de temperatura e umidade baseados nos pontos de coleta selecionados na figura 7. Esses gráficos permitem visualizar como essas variáveis ambientais se comportam ao longo do tempo ou em uma área específica, oferecendo uma perspectiva clara sobre as condições monitoradas.

Na parte inferior da tela, o gráfico de linhas ilustra as alterações nos valores de temperatura (em vermelho) e umidade (em azul) dentro do intervalo de tempo ou espaço definido. Essa funcionalidade é essencial para correlacionar dados de múltiplas medições e identificar padrões ou tendências ambientais, como oscilações térmicas ou variações na umidade relativa.

A interação entre o mapa (figura 7) e os gráficos reforça o potencial analítico da aplicação, permitindo que os usuários interpretem informações de maneira integrada e eficiente. Essa funcionalidade fornece suporte direto para a tomada de decisões para garantir o conforto térmico fundamentadas em dados visuais, tornando o processo de análise mais acessível e preciso.

O layout direto e a apresentação precisam das informações reforçam a eficiência do sistema, tornando a experiência de uso mais intuitiva e funcional. Além de apresentar informações consolidadas, a aplicação se destaca por sua integração com outros módulos do sistema, como mapas e gráficos, possibilitando uma análise mais completa, dinâmica e personalizada.

5. Conclusão

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso foi desenvolver e implementar um sistema de monitoramento remoto de temperatura e umidade, utilizando um microcontrolador e sensores, com o intuito de mapear as ilhas de calor nas áreas urbanas e, assim, contribuir para um planejamento urbano mais eficiente. O problema de pesquisa que motivou este projeto está relacionado ao aumento da urbanização e às mudanças climáticas, que vem agravando o fenômeno das ilhas de calor nas cidades, impactando negativamente o bem-estar e a saúde da população.

A partir dessas informações, geramos mapas e gráficos interativos que ajudam a identificar as áreas mais vulneráveis ao calor nas cidades. Este trabalho auxilia urbanistas e gestores a tomar decisões fundamentadas, visando a melhoria do conforto térmico e consequentemente da qualidade de vida urbana. As informações geradas por este projeto podem ser utilizadas para orientar a elaboração de políticas públicas que promovem a criação de espaços verdes, bem como a utilização dos materiais adequados para a construção local que será feita. Além disso, para trabalhos futuros, o sistema pode ser expandido para incluir outras variáveis climáticas e sociais, permitindo uma análise mais abrangente das condições de conforto térmico nas cidades.

Para obtenção de dados, o protótipo desenvolvido pelo grupo faz o uso de peças as quais possuem um valor de compra barato, podendo custar 1/10 do valor se comparado com outros sensores no mercado. Dessa forma, além de gerar informações valiosas para o planejamento urbano, o custo para obtenção delas é inferior a produtos concorrentes.

Em um contexto de mudanças climáticas cada vez mais intensas, o monitoramento contínuo das ilhas de calor é fundamental para garantir a adaptação das cidades aos novos desafios. A pesquisa apresentada neste trabalho contribui para o avanço do conhecimento científico sobre o tema e oferece uma ferramenta valiosa para os tomadores de decisão no planejamento e gestão urbana.

6. Referências bibliográficas

ABBA, Sani; PATRICK, Beauty. Smart Framework for Environmental Pollution Monitoring and Control System Using IoT-Based Technology. *Sensors & Transducers*, v. 229, n. 1, p. 84-93, 2019.

BARROS, Hugo; LOMBARDO, Magda. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *Revista Geosp - Espaço e Tempo*, v. 20, n. 1, p. 160-177, 10 mai. 2016.

BRIEGEL, Ferdinand; MAKANSI, Osama; BROX, Thomas; MATZARAKIS, Andreas; CHRISTEN, Andreas. Modelling long-term thermal comfort conditions in urban environments using a deep convolutional encoder-decoder as a computational shortcut. *Urban Climate*, v. 47, p. 101359, 2023.

BURIOL, Galileo; ESTEFANELL, Valduino; RIGHI, Evandro; BRESSAN, Vagner. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. *Ciência Rural*, v. 45, n. 2, p. 223-230, 2015.

CORRÊA, Ana; MESTRIA, Mário. Um sistema de controle e monitoramento de temperatura que utiliza a Internet das Coisas. *Revista Foco*, v. 16, n. 2, p. e994, 2023.

COSTA, Juliana; BEZERRA, Iron; SILVA, Fernando. Conforto térmico na cidade de Natal e Ceará-Mirim/RN utilizando os métodos ITU e WCI.

GRIMM, Alice. Meteorologia Básica - Notas de Aula. UFPR, 1999. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap3/cap3-4.html>. Acesso em: 10 set. 2024.

LI, Yang; QIAN, Feng; SONG, De-Xuan; ZHENG, Ke-Jia. Research on Urban Heat-Island Effect. *Procedia Engineering*, v. 169, p. 11-18, 2016.

MORALES, Diego; FORERO, Antonio. Análisis y monitoreo remoto de las variables ambientales en un entorno indoor, por medio de un dispositivo móvil con Android. *Revista Ciencia y Poder Aéreo*, v. 10, n. 1, p. 187-194, 2015.

NETO, Aristóteles; AMORIM, Margarete. Ilha de calor urbana e desconforto térmico: uma análise episódica em Cuiabá/MT. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 36, n. 2, p. 249-264, jun. 2017.

QIU, Hong; YU, Inácio Tak Sun; WANG, Xiaorong; TIAN, Linwei; TSE, Ah; WONG, Tze Wai. Season and humidity dependence of the effects of air pollution on COPD hospitalizations in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, v. 76, p. 74-80, set. 2013.

TALIB, Aya; JASIM, Mahdi. WITHDRAWN: GIS-GPS based national air pollution monitoring system. *Materials Today: Proceedings*, 2021. Acesso em: 15 abr. 2024.

YAINETH, Keyla; MORA, Hortua. Sistema de control y monitoreo con acceso remoto para luminarias, temperatura, nivel y flujo de agua para galpones de gallinas ponedoras. *Télématique*, v. 18, n. 2, p. 57-58, 2019.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Poluição do ar provoca 7 milhões de mortes prematuras todos os anos, alerta ONU, set. 2020. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/89801-polui%C3%A7%C3%A3o-do-ar-provoca-7-milh%C3%B5es-de-mortes-prematuras-todos-os-anos-alerta-onu>. Acesso em: 20 set. 2023.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). Learn about heat islands. 28 ago. 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Biomonitoramento: ozônio troposférico. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/biomonitoramento/ozonio-troposferico/>. Acesso em: 04 mai. 2024.

BASSETTE, Fernanda; CNN Brasil. Calor extremo: entenda como as altas temperaturas afetam o corpo e a saúde, 10 nov. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/calor-extremo-entenda-como-as-altas-temperaturas-afetam-o-corpo-e-a-saude/>. Acesso em: 01 mai. 2024.

MUNHOZ, Fábio. Enchente provoca mudança no mapa do Rio Grande do Sul. CNN Brasil, 17 mai. 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/enchente-provoca-mudanca-no-mapa-do-rio-grande-do-sul-entenda/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

RODRIGUES, Leonardo; CNN Brasil. SP: Capital registra sensação de calor de mais de 40°C nesta quarta-feira (15), diz CGE, 15 nov. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/sp-capital-registra-sensacao-de-calor-de-mais-de-40oc-nesta-quarta-feira-15-diz-cge/#:~:text=A%20sens%C3%A7%C3%A3o%20t%C3%A9rmica%20chegou%20a,ca-pital%20paulista%20foi%20de%2036%C2%BAC.>. Acesso em: 01 mai. 2024.

THOM, E. C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12(2), 57–61.

YOUSIF, Tawhida Abdelrahman; TAHIR, Hisham Mohyeldin Mohamed. Application of Thom's Thermal Discomfort Index in Khartoum State, Sudan. Sudan: Freelance researcher, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272567285_Application_of_Thom's_Thermal_Discomfort_Index_in_Khartoum_State_Sudan. Acesso em: 08 out. 2024.

CASTELHANO, Francisco Jablinski. Ozônio troposférico e mudanças climáticas: evidências introdutórias em Curitiba/PR. *Revista de Geografia - PPGeo - UFJF*, v. 8, n. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2018.v8.25988>. Acesso em: 8 nov. 2024.

MARTINS, Renato Alas; RODRIGUES, Geraldo Stachetti. Efeitos Potenciais do Ozônio Troposférico sobre as Plantas Cultivadas e o Biomonitoramento Ambiental. Santos, SP: International Activity for Environmental Protection - IAEP; Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Mudanças climáticas: ameaça ao bem-estar humano e à saúde do planeta. 02 mar. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/173693-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-amea%C3%A7a-ao-bem-estar-humano-e-%C3%A0-sa%C3%BAde-do-planeta>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GALUSIC, B. Ilhas de calor urbanas em São Carlos, SP e os impactos da permeabilidade dos revestimentos urbanos horizontais. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.

LUO, X.; VAHMANI, P.; HONG, T.; JONES, A. City-scale building anthropogenic heating during heat waves. *Atmosphere*, v. 11, n. 11, p. 1206, 2020. Disponível em: <https://www.osti.gov/pages/biblio/1764544-city-scale-building-anthropogenic-heating-during-heat-waves>. Acesso em: 9 nov. 2024.

SÃO PAULO (Município). Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo: Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014. Disponível em: <https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/marco-regulatorio/plano-diretor/texto-da-lei-ilustrado/>. Acesso em: 8 nov. 2024.

FERREIRA, L. R.; SILVA, M. F.; PEREIRA, J. S. Mapa climático como instrumento para o planejamento urbano: análise de microclimas urbanos em Recife. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 22, n. 3, p. 457-478, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeur/a/LPKGdVWMNLbqzkFLyxsKFhq/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

RODRIGUES, Andre de Sena; FERREIRA, João Vitor Novais; RAMOS, Rafael dos Santos. Impactos do IOT no dia a dia da sociedade, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) - Fatec Dom Paulo Evaristo Arns, São Paulo, 2023.

GIORDANI, M. et al. "A Comprehensive Tutorial on LoRaWAN for IoT Applications." *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2019.

SHARMA, V. et al. "IoT Applications Using GSM and GPRS Technology." *Journal of Communications Technology*, 2021.

TALARI, S. et al. "A Review of IoT Communication Protocols for Smart Cities." *Elsevier Procedia Computer Science*, 2017.