



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ - UFOPA
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG
BACHARELADO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

ADRIANE DOS SANTOS RAIOL

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SENSOR DE BAIXO CUSTO AM2302 PARA
MONITORAMENTO CLIMÁTICO NA AMAZÔNIA**

**Santarém- PA
2025**

ADRIANE DOS SANTOS RAIOL

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SENSOR DE BAIXO CUSTO AM2302 PARA
MONITORAMENTO CLIMÁTICO NA AMAZÔNIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharela em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ana Carla dos Santos Gomes

**Santarém- PA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

R159a Raiol, Adriane dos Santos

Avaliação de desempenho do sensor de baixo custo AM2302 para monitoramento climático na Amazônia. / Adriane dos Santos Raiol – Santarém, 2025.

45 p.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Ana Carla dos Santos Gomes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Curso Bacharelado em Ciências Atmosféricas.

1. Sensores Ambientais. 2. Calibração de Sensores. 3. Variáveis Meteorológicas.
I. Gomes, Ana Carla dos Santos, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 628

ADRIANE DOS SANTOS RAIOL

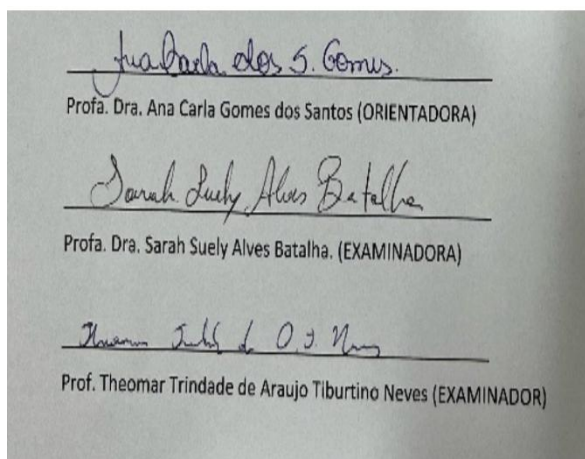
**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SENSOR DE BAIXO CUSTO AM2302 PARA
MONITORAMENTO CLIMÁTICO NA AMAZÔNIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharelado em Ciências Atmosféricas.

Defesa: Santarém- PA, 27/02/2025

Conceito: 9,0.

BANCA EXAMINADORA



**Santarém- PA
2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me dar força e perseverança ao longo desta jornada.

Aos meus familiares, pelo apoio incondicional, paciência e incentivo em todos os momentos, especialmente nos mais desafiadores.

À minha orientadora professora Ana Carla Gomes, por compartilhar seus conhecimentos, oferecer direcionamento e contribuir significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos que fiz ao longo dessa jornada, pelo suporte, pelas trocas de ideias e pelo encorajamento durante toda a trajetória acadêmica.

À Universidade Federal do Oeste do Pará, por proporcionar o ambiente acadêmico e os recursos necessários para minha formação.

Ao curso de Ciências Atmosféricas, que me permitiu adquirir conhecimento e desenvolver as habilidades essenciais para minha carreira.

Aos professores, pelo comprometimento e dedicação na transmissão do conhecimento ao longo da minha formação.

A todos que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação.

Meus sinceros agradecimentos!

"Eu continuo caindo, mas continuo avançando,
A vida me testa, mas eu não recuo.
Se eu desistisse por medo,
Nunca teria chegado até aqui."

(Social Path, Stray Kids)

RESUMO

O monitoramento ambiental é essencial para a compreensão das variações climáticas e seus impactos, exigindo sensores confiáveis e acessíveis para a coleta de dados. Posto isso, o objetivo deste estudo foi validar a consistência de dados ambientais obtidos por um sensor de baixo custo, comparando-os com informações provenientes de sistemas de referência. Neste estudo, foram utilizados dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) coletados ao longo de 2023 do sensor de baixo custo AM2302 utilizado no kit de monitoramento da Rede Piloto de Inovação no Monitoramento da Qualidade do Ar na Região Oeste do Pará – Cuidadores do Ar, do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA) e dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para avaliar a relação entre as variáveis meteorológicas nos diferentes locais, foi aplicada a técnica estatística de Regressão Linear Simples. Os resultados mostraram algumas variações em relação aos sensores de referência (INMET e SONDA), no entanto, o AM2302 acompanha a tendência geral das variações ambientais ao longo do tempo. A análise sazonal confirmou sua capacidade de captar padrões climáticos, como a queda da temperatura e o aumento da umidade no período chuvoso. As análises estatísticas indicaram correlações significativas ($<0,05$), especialmente para temperatura, enquanto a umidade apresentou maior influência de fatores externos. Ainda que com limitações, o AM2302 demonstra potencial para monitoramento ambiental de baixo custo. Diante a escassez de estações meteorológicas oficiais na região o estudo destaca a importância de estratégias para minimizar discrepâncias e aprimorar o uso desses sensores em pesquisas meteorológicas.

Palavras Chaves: Sensores Ambientais, Calibração de Sensores, Variáveis Meteorológicas.

ABSTRACT

Environmental monitoring is essential for understanding climate variations and their impacts, requiring reliable and affordable sensors for data collection. Therefore, the objective of this study was to validate the consistency of environmental data obtained by a low-cost sensor, comparing them with information from reference systems. In this study, air temperature (°C) and relative humidity (%) data found throughout 2023 from the low-cost AM2302 sensor used in the monitoring kit of the Pilot Network for Innovation in Air Quality Monitoring in the Western Region of Pará – Air Caretakers, from the National Environmental Data Organization System (SONDA) and data from the National Institute of Meteorology (INMET) were used. To evaluate the relationship between adverse variations in different locations, the Simple Linear Regression statistical technique was applied. The results showed some variations in relation to the reference sensors (INMET and SONDA); however, the AM2302 follows the general trend of environmental variations over time. Seasonal analysis confirmed its ability to capture climate patterns, such as falling temperatures and rising humidity during the rainy season. Statistical analyses indicated significant correlations (<0.05), especially for temperature, while humidity showed greater influence from external factors. Despite its limitations, the AM2302 demonstrates potential for low-cost environmental monitoring. Given the lack of official railway stations in the region, the study highlights the importance of strategies to minimize discrepancies and improve the use of these sensors in indirect research.

Keywords: Environmental Sensors, Sensor Calibration, Meteorological Variables.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estações meteorológicas do INMET.....	13
Figura 2- Estações do INMET de acordo com sua situação- Normal climatológico: 1981-2010.....	14
Figura 3- Estações do INMET de acordo com sua situação- Normal climatológico: 1981-2020.....	14
Figura 4- Área de estudo.....	20
Figura5- Sensor AM2302.....	22
Figura 6- Estrutura do kit de monitoramento.....	23
Figura 7- Kit de monitoramento.....	24
Figura 8 - Cartão de memória SDHC.....	24
Figura 9- Estrutura dos dados armazenados.....	25
Figura 10- Comportamento médio diário da Temperatura do Ar.....	29
Figura 11- Comportamento médio diário da Umidade Relativa do Ar.....	30
Figura 12 - <i>Boxplot</i> do comportamento mensal da Temperatura do Ar.....	31
Figura 13- <i>Boxplot</i> do comportamento mensal da Umidade relativa do Ar.....	32
Figura 14- Regressão Linear para Temperatura e Umidade do Ar (AM2302 x INMET)	33
Figura 15- Regressão Linear para Temperatura e Umidade do Ar (AM2302 x SONDA)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores do Coeficiente de Determinação (R^2)	27
Tabela 2- Estatística Descritiva da Temperatura do Ar.....	28
Tabela 3- Estatística Descritiva da Umidade Relativa do Ar.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PM2.5	Partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros
PM10	Partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 micrômetros
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
SDHC	<i>Secure Digital High Capacity</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ONGS	Organizações não Governamentais
ENOS	Oscilação Sul- El Niño

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	16
1.1.1. Objetivo Geral.....	16
1.1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 Sensores de Baixo Custo no Monitoramento Climático.....	17
2.2 Variáveis Meteorológicas na Amazônia.....	19
3. METODOLOGIA.....	19
3.1 Área de estudo.....	19
3.1.1 Características de Santarém.....	20
3.2 Especificações das instalações das estações.....	21
3.3 Coleta de dados.....	21
3.3.1 Sensor AM2302.....	21
3.3.2 Termo- higrômetro (INMET-SONDA)	22
3.4 Tratamento dos dados.....	22
3.5 Projeto Cuidadores do Ar.....	23
3.5.1 Estrutura do Kit de Monitoramento.....	23
3.5.2 Saída de dados.....	25
3.6 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).....	25
3.7 Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA).....	26
3.8 Estatística descritiva.....	26
3.8.1 Análise de Regressão Linear Simples.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia, com sua magnitude e complexidade, é uma das regiões mais ricas em biodiversidade do planeta, desempenhando um papel crucial na regulação do clima global e na manutenção da diversidade biológica (SENA et al., 2023). No entanto, paradoxalmente, é também uma das áreas menos compreendidas e documentadas em termos de dados consistentes e abrangentes. A carência de informações robustas não apenas limita o avanço do conhecimento científico, mas também dificulta a formulação de políticas públicas eficazes e sustentáveis (CORREIA, 2010; CESAR et al., 2018; VALDEZ et al., 2020; KROKOSZ, 2021).

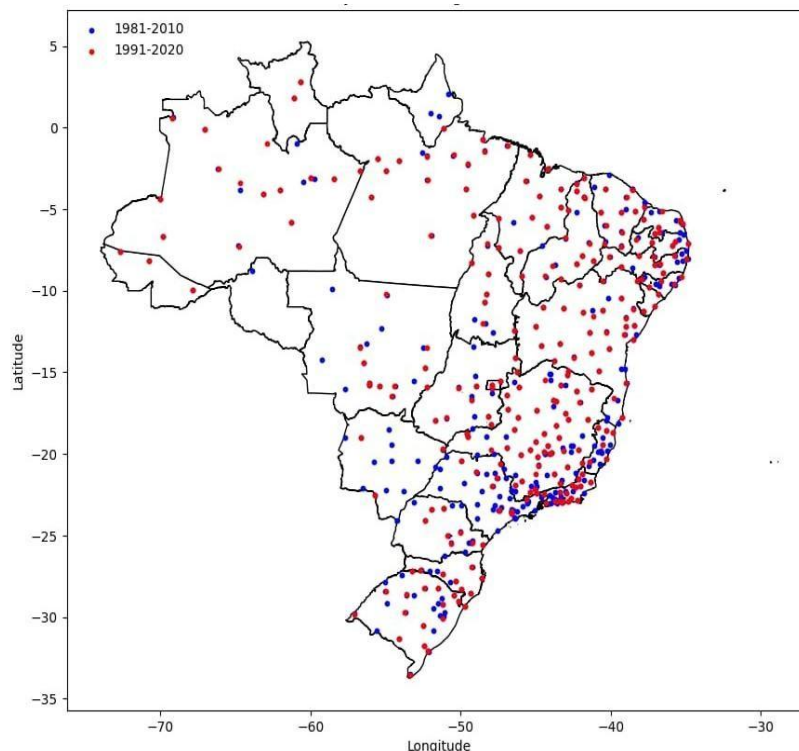
Um dos principais motivos para a realização de estudos sobre a consistência dos dados na Amazônia é a notável escassez de informações confiáveis e acessíveis. Essa lacuna é, em parte, resultado das dificuldades logísticas impostas pela vasta extensão territorial e pela diversidade de ecossistemas que caracterizam a região (DORIA, 2014). Fatores como a falta de integração entre diferentes fontes de dados, a fragmentação das iniciativas de coleta, a dimensão territorial e o financiamento insuficiente para pesquisas contribuem significativamente para a persistência dessas deficiências (MIRANDA et al., 2019). Esse cenário cria um paradoxo intrigante: embora a Amazônia seja objeto de interesse global devido à sua importância ambiental (PÉREZ, 2024), ainda há muito a ser descoberto sobre os processos e dinâmicas que ocorrem em seu interior.

É fundamental reconhecer que a Amazônia não é uma entidade homogênea, mas sim um conjunto de diversas "Amazônias" que coexistem e interagem de maneiras complexas (BRANDÃO, 2019). Essa diversidade se manifesta na variedade de biomas, culturas e contextos socioeconômicos presentes na região. Por exemplo, as áreas de várzea possuem características ecológicas e dinâmicas sociais distintas das regiões de terra firme (SILVA, 2014). Além disso, as práticas tradicionais de populações indígenas e comunidades ribeirinhas diferem significativamente das atividades econômicas predominantes em áreas urbanizadas ou em frentes de desmatamento (BARTOLI, 2016). Essa multiplicidade torna ainda mais desafiador coletar e analisar dados que representem adequadamente a complexidade da região.

Os dados ambientais são um aspecto crítico nesse contexto, pois são essenciais para monitorar a saúde dos ecossistemas, avaliar os impactos das atividades humanas e orientar ações de conservação e desenvolvimento sustentável (CAMPANELLI, 2022). No entanto, a disponibilidade e a qualidade desses dados frequentemente são insuficientes. Muitas vezes, as séries temporais são descontínuas ou restritas a áreas específicas, não proporcionando uma visão abrangente da região. Além disso, a falta de padronização e de infraestrutura adequada para coleta e armazenamento de dados dificulta a comparação entre diferentes estudos e iniciativas (PORTER, 2004). Essa situação é agravada por desafios técnicos, políticos e geográfico.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mantém uma rede de mais de 700 estações meteorológicas espalhadas pelo Brasil, coletando dados essenciais para monitorar o clima. As estações automáticas registram informações a cada hora, enquanto as convencionais operam três vezes ao dia. Esses dados são processados e compartilhados globalmente via satélite (INMET, 2025). No entanto, a região Amazônica conta com uma cobertura bem mais limitada de estações meteorológicas quando comparada às demais áreas do Brasil (Figura 1). Essa disparidade na distribuição das estações ocorre por diversos fatores, como a vastidão territorial da Amazônia, a dificuldade de acesso a certas áreas, a escassez de equipamentos e as condições climáticas adversas (MOTA et al., 2015).

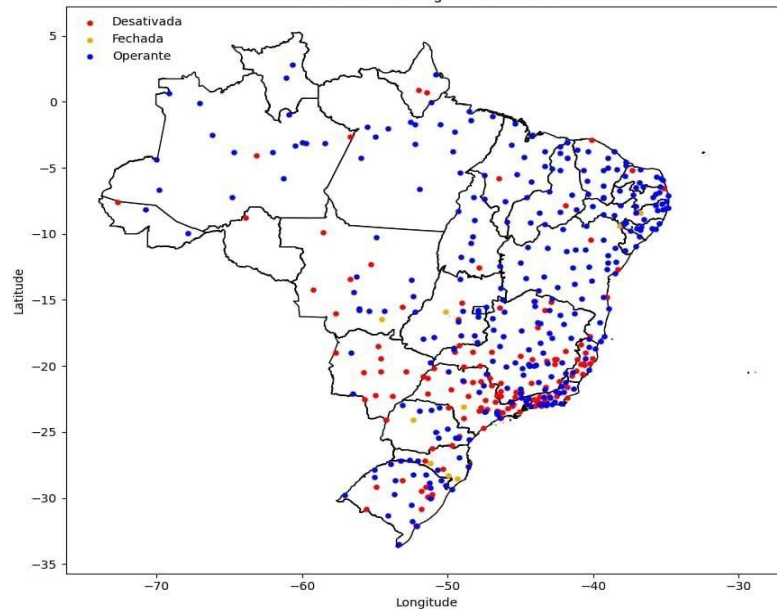
Figura 1- Estações meteorológicas do INMET



Fonte: INMET (2025).

O INMET enfrenta um período de sucateamento, com estações meteorológicas desativadas (Figura 2 e 3), desligamento significativo de funcionários e cortes de recursos, comprometendo a cobertura do monitoramento atmosférico em todo o país (DE ANDRADE, 2024). De acordo com Cristaldo et al. (2017), a rede de estações meteorológicas no Brasil ainda é escassa, deixando muitas áreas sem cobertura adequada. Em razão disso, estações alternativas de baixo custo surgem como uma solução prática e acessível para preencher essas lacunas, garantindo mais dados e um monitoramento climático mais amplo e eficiente (DE ANDRADE, 2024).

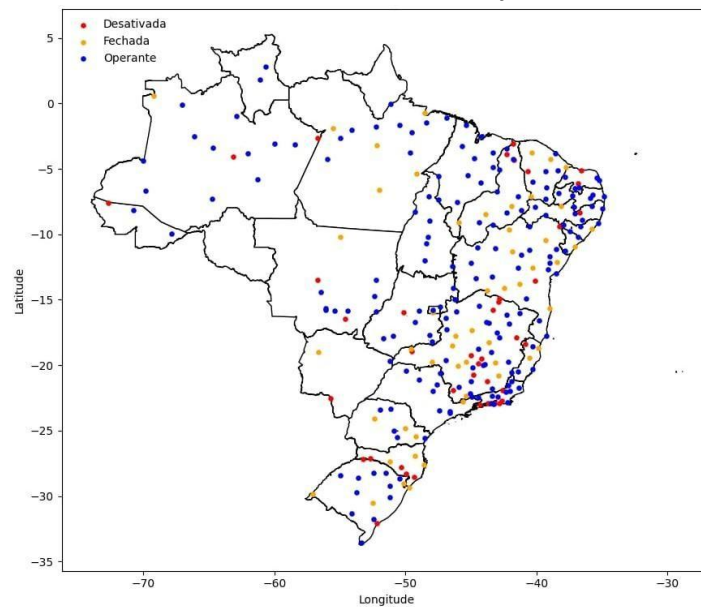
Figura 2- Estações do INMET de acordo com sua situação- Normal climatológico: 1981-2010



Fonte: INMET (2025).

Estações fechadas e desativadas diferem no status operacional: as fechadas ainda possuem infraestrutura, mas suas atividades de monitoramento estão suspensas temporariamente, enquanto as desativadas não operam mais e geralmente não têm mais infraestrutura. Na Figura 3, observa-se o aumento das estações fechadas, indicando uma suspensão temporária em vez de um encerramento definitivo.

Figura 3- Estações do INMET de acordo com sua situação- Normal climatológico: 1981-2020



Fonte: INMET (2025).

No contexto atual, marcado pela urgência crescente de enfrentar questões ambientais globais, como as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade, é imprescindível superar essas lacunas de dados (BAI et al., 2018). A resolução desses desafios exige não apenas investimentos significativos em infraestrutura, mas também a construção de redes colaborativas (NASCIMENTO, 2016). Nesse sentido, estudos que explorem a consistência e a qualidade dos dados ambientais na região são não apenas relevantes, mas indispensáveis para embasar decisões informadas e eficazes (FISCHMANN et al., 2000).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Verificar a consistência de dados meteorológicos obtidos por um sensor de baixo custo (AM2302) localizado em Santarém, por meio de informações coletadas em sistemas de referência situados em uma área de menor influência urbana, para o período de 2023.

1.1.2 Específicos

- Comparar os dados do sensor de baixo custo com registros de sistemas de alta precisão, como a rede Sonda e o Inmet, para identificar correlações e divergência;
- Avaliar a qualidade dos dados gerados por sensores de baixo custo, utilizando métodos de análise estatística.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sensores de Baixo Custo no Monitoramento Climático

Sensores de baixo custo vêm ganhando destaque como uma alternativa viável para o monitoramento ambiental, especialmente em regiões onde recursos financeiros e logísticos são limitados (PEREIRA, 2019). Projetados para medir variáveis como temperatura, umidade, qualidade do ar e pressão atmosférica, esses dispositivos apresentam custos significativamente inferiores aos instrumentos tradicionais de referência. Embora sua precisão e confiabilidade sejam menores em alguns aspectos, sua acessibilidade e portabilidade os tornam ferramentas indispensáveis para diversas aplicações (KIZITO et al., 2008; KOJIMA et al., 2016; GONZÁLEZ-TERUEL et al., 2019).

Uma das maiores contribuições desses sensores é a democratização do acesso a dados ambientais. Segundo Lewis & Schneidemesser et al. (2018), sua utilização permite que comunidades, organizações não governamentais (ONGs) e pesquisadores com recursos limitados monitorem variáveis ambientais de forma independente e em larga escala. Além disso, sua estrutura compacta e leve facilita a instalação em áreas remotas, onde o uso de equipamentos tradicionais seria inviável (GUPTA et al., 2010).

Ainda assim, alguns desafios acompanham a adoção dessa tecnologia. Estudos, como o de Silva et al. (2024), apontam que fatores como condições ambientais extremas, calibração inadequada e limitações tecnológicas nos componentes podem afetar a precisão dos dados gerados. A vida útil reduzida e a necessidade de manutenção frequentes também são restrições importantes (STEIN; KÜHN, 2018). No entanto, iniciativas recentes têm demonstrado que, com validação e calibração adequadas, esses sensores podem fornecer dados confiáveis para diferentes propósitos (SEIXAS, 2024).

Exemplos práticos incluem a pesquisa de Palmieri (2009), que desenvolveu um sistema automatizado de baixo custo para monitorar variáveis como temperatura e umidade relativa do ar. O estudo utilizou o microcontrolador "Basic Step 1", que controlava um circuito eletrônico responsável por coletar e armazenar dados climáticos em um dispositivo de memória flash com conexão USB (um "pen drive"). Foram empregados os sensores LM35 e HIH 4000, responsáveis por medir a temperatura e a umidade relativa do ar, respectivamente. Ao comparar os dados obtidos pelo protótipo com os de duas estações convencionais, foram observadas correlações lineares fortes para a temperatura do ar, com R^2 de 0,8246 e 0,8986. Para a umidade relativa do ar, a correlação foi muito forte no primeiro posto ($R^2 = 0,9198$), mas fraca no segundo. Como o sensor utilizado apresentava um erro de 2%, enquanto os resultados indicaram um erro de 16,08% no segundo posto, concluiu-se que o sensor convencional desse local estava descalibrado. Dessa forma, o sistema desenvolvido foi validado em termos de funcionalidade, já que os dados coletados mostraram alta similaridade com as séries obtidas pelas estações meteorológicas convencionais.

De forma similar, Faria et al. (2014) criaram um sistema de código aberto para a captação e armazenamento de informações sobre temperatura e umidade relativa do ar. O protótipo foi construído com base na plataforma microcontrolada Arduino Uno rev. 3, utilizando o sensor RHT03 e um *shield sdcard* para o armazenamento dos dados. A validação do sistema foi realizada por meio da análise da correlação entre os valores máximos e mínimos registrados pelo sistema de baixo custo e um sistema convencional. Na comparação entre os dados coletados pelo sistema de baixo custo e o convencional, os coeficientes de R^2 para temperatura máxima e mínima demonstraram uma correlação muito forte. Para a temperatura máxima, o R^2 foi de 0,99 em ambiente protegido e 0,94 em campo. Já para a temperatura mínima, o R^2 foi de 0,98 em ambiente protegido e 0,96 em campo. No caso da umidade relativa do ar em ambiente protegido, não foi observada uma correlação forte, o que indicou uma possível falha na calibração do sistema convencional, possivelmente devido ao tempo prolongado de uso ou à acumulação de poeira no sensor. Entretanto, em campo, a umidade relativa do ar apresentou uma correlação linear forte, com R^2 de 0,80. Dessa forma, exceto para a umidade relativa em ambiente protegido, os resultados de correlação foram considerados fortes ou muito fortes, validando o funcionamento do sistema desenvolvido.

Esses sensores oferecem uma solução prática e econômica para ampliar redes de monitoramento em regiões onde a instalação de equipamentos convencionais apresenta desafios logísticos e financeiros (RATTS et al., 2019; KOJIMA et al., 2016). Além disso, possibilitam o monitoramento em tempo real, contribuindo para o acompanhamento de variáveis ambientais e climáticas de maneira mais acessível e abrangente (SEIXAS, 2024).

Na agricultura, essa tecnologia tem sido particularmente útil, permitindo tomadas de decisão mais precisas e o manejo eficiente da produção (DA SILVA, 2024). Como observado por Visser et al. (2021), sua implementação auxilia na gestão sustentável dos recursos naturais e promove avanços significativos na sustentabilidade econômica e ecológica. Isso é especialmente relevante em áreas de difícil acesso ou com condições climáticas instáveis, onde a utilização de sensores de baixo custo contribui para a otimização de recursos e a adoção de práticas mais sustentáveis.

O desenvolvimento de soluções que integram sensores a plataformas digitais e transmitem dados pela internet, como demonstrado por Holz (2019) e Teixeira (2018), representa um avanço significativo no monitoramento ambiental. Essa integração possibilita a coleta e análise contínuas de dados, ampliando o entendimento sobre impactos das atividades humanas e variações climáticas (DOS SANTOS, 2023). Assim, os sensores de baixo custo emergem como ferramentas essenciais para pesquisas ambientais e o desenvolvimento de políticas voltadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas (CHOI et al., 2018; KADIR; EFENDI; ROSA, 2018; MUDULI; MISHRA; JANA, 2018; MÖRTH et al., 2020; WANG et al., 2020).

2.2 Variáveis Meteorológicas na Amazônia

As variáveis meteorológicas exercem um papel central na regulação dos processos naturais na Amazônia, influenciando diretamente os equilíbrios biológicos e físicos dos ecossistemas (SILVA, 2013). Entre essas variáveis, destacam-se a temperatura e a umidade relativa do ar, que interagem de maneira complexa para moldar o funcionamento ecológico da região (SILVA, 2017).

A temperatura é um dos principais fatores ambientais, cuja variação diária, sazonal e anual influencia diretamente o desenvolvimento, a adaptação e o desempenho de espécies vegetais e animais, moldando seus comportamentos e interações ecológicas (SCORIZA, 2014). Pequenas variações térmicas podem afetar processos como fotossíntese, evapotranspiração e comportamento animal (ALVES, 2019). Conforme o sexto relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), a elevação média da temperatura global influencia a dinâmica das chuvas e intensifica eventos extremos, afetando de maneira significativa regiões tropicais como a Amazônia.

A umidade relativa do ar, por sua vez, é crucial para a manutenção do balanço hídrico na região (ROCHA et al., 2015). Ela está intrinsecamente ligada aos processos de evapotranspiração, que promovem a formação de nuvens e a regulação do clima (REIS et al., 2017). A floresta amazônica é responsável por emitir grandes volumes de vapor d'água para a atmosfera, influenciando tanto o clima local quanto os padrões de precipitação em outras regiões distantes da própria Amazônia (MARENGO, 2018).

Conforme o IPCC (2021) e a *World Meteorological Organization* (WMO) (2024), a Amazônia enfrenta uma crescente vulnerabilidade diante das mudanças climáticas globais. Alterações na temperatura e na umidade podem modificar padrões de precipitação e, conseqüentemente, afetar a disponibilidade hídrica (MARENGO, 2018). Estima-se que, entre 2023 e 2027, a temperatura média global da superfície terrestre oscile entre 1,1°C e 1,8°C acima dos níveis registrados no período de 1850 a 1900 (WMO, 2023).

Em cenários de elevadas emissões de gases de efeito estufa, projeta-se que o aquecimento na Amazônia possa atingir até 6°C até o final do século XXI (SALAZAR et al., 2007). Ademais, essas alterações têm o potencial de intensificar a ocorrência de eventos extremos, tais como enchentes e secas (CORREIA et al., 2007; ROCHA et al., 2009; SATYAMURTY et al., 2013). Assim, compreender as variáveis meteorológicas e suas interações torna-se essencial para a formulação de estratégias de adaptação e mitigação.

3. METODOLOGIA

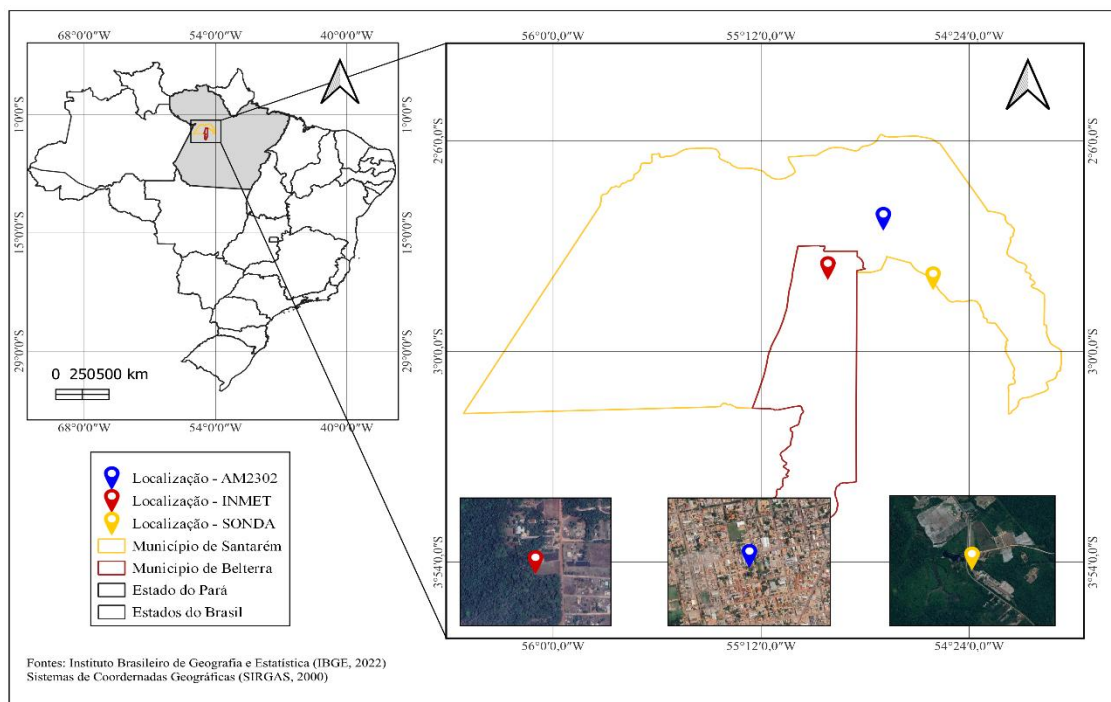
3.1 Área de estudo

O município de Santarém no estado do Pará, possui população estimada em 2024 de 357.311 habitantes com densidade demográfica de 18,55 hab./km² e área territorial de 17.898.389 km² (IBGE, 2024).

3.1.2 Características de Santarém

Santarém (Figura 4), localizada no estado do Pará, destaca-se como um dos mais importantes centros urbanos, econômicos, comerciais e culturais da região. É a terceira cidade mais populosa do estado, superada apenas por Belém e Ananindeua. Sua posição estratégica na confluência dos rios Tapajós e Amazonas contribui para sua relevância histórica, econômica e ambiental na região. Fundada em 22 de junho de 1661, Santarém é uma das cidades mais antigas da região amazônica e figura entre os municípios incluídos no plano das cidades históricas do Pará. Com um legado cultural significativo, sua trajetória combina elementos históricos com uma rica diversidade sociocultural, consolidando-se como uma referência tanto no estado quanto na região amazônica. O título poético de "Pérola do Tapajós" reflete não apenas sua beleza natural, mas também seu papel de destaque no contexto regional. Entre seus principais atrativos naturais, destacam-se as águas cristalinas do Rio Tapajós, que formam praias de grande beleza, somando mais de 100 quilômetros que se assemelham a cenários litorâneos. Alter do Chão, conhecida como "Caribe Brasileiro," é um exemplo emblemático, reconhecida internacionalmente pelo jornal inglês *The Guardian* como uma das praias mais bonitas do Brasil e a mais impressionante de água doce no mundo (SILVA, 2018).

Figura 4 - Área de estudo



Fonte: Autora (2025).

3.2 Especificações das instalações das estações

As estações de monitoramento estão instaladas em três locais distintos, considerando diferentes características geográficas e níveis de interferência humana. A estação com sensor de baixo custo está instalada no bairro Caranazal, em Santarém, uma área urbana densamente ocupada, sujeita a intenso tráfego e atividades humanas. Já as estações do INMET e SONDA estão em áreas rurais: a rede SONDA foi instalada na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará, enquanto a estação do INMET está localizada em Belterra, ambas regiões afastadas dos centros urbanos, com características naturais e menor impacto humano. Vale ressaltar que os dados da estação do INMET em Belterra, cidade vizinha a Santarém, foram utilizados por ser a estação oficial mais próxima de Santarém, já que a estação instalada em 2015 não está disponibilizando dados atualmente.

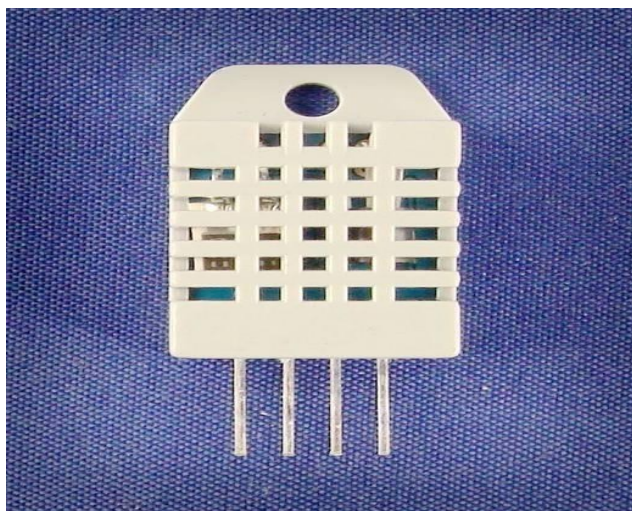
3.3 Coleta de dados

A coleta de dados ambientais foi feita utilizando o kit de monitoramento do Projeto Rede Piloto de Inovação no Monitoramento da Qualidade do ar na região Oeste do Pará – Cuidadores do Ar, através do sensor AM2302 (Umidade e Temperatura). Os dados do sistema de referência foram obtidos por meio do banco de dados do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais- SONDA e do Instituto Nacional de Meteorologia- INMET. Os dados foram coletados para o período de janeiro a dezembro, totalizando 12, meses.

3.3.1 Sensor AM2302

O AM2302, é um sensor utilizado para medições de temperatura e umidade relativa do ar, projetado para integração com microcontroladores de 8 bits de alto desempenho (AOSONG, 2015). Este dispositivo realiza leituras de temperatura entre -40°C e 80°C , com uma precisão de $0,5^{\circ}\text{C}$ (máximo de $1,0^{\circ}\text{C}$), e mede a umidade relativa em uma faixa de 0% a 99,9%, apresentando uma acurácia de 2,0%. Alimentado por uma fonte de 3,3 a 5,5 V, o sensor destaca-se por sua compatibilidade com plataformas eletrônicas de código aberto, como o Arduino (ARDUINO, 2015), o que facilita sua ampla aplicação em sistemas simples de monitoramento e controle de condições ambientais.

Figura 5 - Sensor AM2302



Fonte: LIU (2013).

Scarpa et al. (2017) e Martín-Garín et al. (2018) recomendam a utilização do sensor AM2302 para monitorar condições de temperatura ambiente e umidade relativa do ar em usos diversos, por possuir boa precisão e alta resolução (SHAKER & IMRAN, 2013), além de ser capaz de transmitir dados a uma distância superior a 20m (GANG et al., 2013).

3.3.2 Termo- higrômetro (INMET- SONDA)

O Termo-higrômetro, instalado em ambas as estações de referência, é um dispositivo versátil que funciona não apenas como um medidor de umidade, mas também como relógio e alarme, registrando os valores máximos e mínimos de temperatura e umidade relativa do ar ao longo do tempo, o que o torna uma ferramenta útil para monitorar condições ambientais (DA SILVA et al., 2019). Entre suas principais características, destacam-se a alta confiabilidade, a durabilidade e a facilidade de uso, tornando-o uma opção prática e eficiente para quem precisa acompanhar essas métricas no dia a dia (DA SILVA et al., 2019).

3.4 Tratamento dos dados

Para organizar os dados, foram calculadas médias diárias, reduzindo flutuações e simplificando a comparação ao longo do tempo. Pequenas lacunas nos dados foram preenchidas usando interpolação linear

$$y = y + (y - y) * \left(\frac{x_1 - x_1}{x_1 - x_1}\right)$$

onde y é o valor estimado para o ponto x_1 , que representa o valor interpolado da variável dependente y entre os pontos conhecidos; y e y são os valores de y nos pontos x_1 e x_1 , respectivamente, que são os pontos conhecidos utilizados para a interpolação; x_1 é o ponto onde se deseja estimar o valor de y , situado entre os pontos x_1 e x_1 . A interpolação linear de dados é um método utilizado para

construir e projetar novos conjuntos de informações com base em dados pontuais provenientes de uma amostragem consistente, adicionando diretamente a média da diferença entre os níveis observados e modelados, interpolando linearmente as variações no fundo das seções sem observação (BRÊDA et al., 2017).

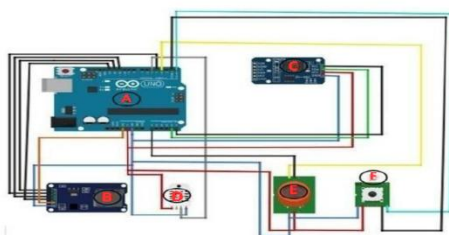
3.5 Projeto Cuidadores do Ar

O projeto Cuidadores do Ar é uma iniciativa científica que busca monitorar a qualidade do ar na região Oeste do Pará. Através do uso de sensores de baixo custo, são realizadas medições de parâmetros atmosféricos, como temperatura e umidade relativa do ar, além da concentração de material particulado (PM2.5 e PM10), gerando dados relevantes para análises ambientais. A rede de monitoramento do projeto é composta por 25 pontos estratégicos de coleta, que permitem uma cobertura abrangente na geração de informações. Iniciado em 2022, o projeto conta com o financiamento da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA) e é desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Seu objetivo principal é subsidiar a construção de indicadores de qualidade do ar no município de Santarém.

3.5.1 Estrutura do Kit de Monitoramento

Para otimizar a montagem dos sensores de baixo custo e dos demais componentes do sistema, foi utilizado um compartimento elétrico como estrutura principal. Na parte externa do compartimento, foram instalados o sensor AM2302, responsável pela medição de temperatura e umidade do ar, e o sensor MQ-135, utilizado para a detecção de gases tóxicos e o sensor de material particulado SDS011, juntamente com a placa de prototipagem Arduino Uno, à qual todos os sensores estão conectados. Adicionalmente, um tubo plástico foi integrado ao dispositivo, com a finalidade de garantir um fluxo constante de ar para o interior do sistema. A interligação dos componentes foi realizada por meio de cabos condutores conhecidos como *jumpers*, assegurando a funcionalidade do sistema (ALMEIDA, 2023).

Figura 6 - Estrutura do kit de monitoramento



Fonte: Almeida (2023).

- A: Arduino Uno R3;
- B: Módulo de Cartão SD e Cartão de Memória; C: *Real Time Clock* RTC DS3231 com bateria 2032;
- D: Sensor de Umidade e Temperatura AM2302;
- E: Sensor de gás MQ-135;
- F: Sensor de Material Particulado SDS011.

As variáveis monitoradas na rede implementada pelo projeto incluem a concentração de gases tóxicos (sensor MQ-135), os níveis de material particulado fino PM2.5 e PM10 (sensor SDS011), a temperatura do ar e a umidade relativa do ar (sensor AM2302), conectados a um Arduino Uno, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7- Kit de monitoramento



Fonte: Autora (2025).

Os dados são armazenados em um cartão de memória do tipo Secure Digital High Capacity (SDHC), com capacidade de 8 GB e velocidade de leitura de 20 megabytes por segundo (MB/s), mostrado na Figura 8.

Figura 8- Cartão de memória SDHC



Fonte: Autora (2025).

3.5.2 Saída de dados

A saída de dados é em formato de texto (.txt), apresentando os dados brutos. A Figura 9 exhibe a estrutura dos dados armazenados no cartão SDHC do conjunto de monitoramento. É essencial destacar que o uso de dados brutos demanda procedimentos adicionais em processamento, como pré-processamento e limpeza dos registros, para torná-los aptos às análises específicas pretendidas. Estas etapas têm como objetivo eliminar possíveis inconsistências nos dados brutos, garantindo, assim, a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos.

Figura 9- Estrutura dos dados armazenados

```

2023/10/30;13:49:42
Umidade: 0.0%; Temperatura: 0.0°C; Gas Detectado;;P10: 0.00;
-----
2023/10/30;13:49:48
Umidade: 55.1%; Temperatura: 36.8°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 8.30;P10: 16.60;
-----
2023/10/30;13:49:53
Umidade: 56.0%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.50;P10: 24.40;
-----
2023/10/30;13:49:58
Umidade: 55.7%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.60;P10: 22.90;
-----
2023/10/30;13:50:3
Umidade: 55.7%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.60;P10: 21.20;
-----
2023/10/30;13:50:8
Umidade: 55.7%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.80;P10: 20.80;
-----
2023/10/30;13:50:13
Umidade: 55.7%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.70;P10: 21.50;
-----
2023/10/30;13:50:18
Umidade: 55.8%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 9.70;P10: 20.50;
-----
2023/10/30;13:50:23
Umidade: 55.9%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.10;P10: 19.90;
-----
2023/10/30;13:50:29
Umidade: 55.9%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.20;P10: 18.90;
-----
2023/10/30;13:50:34
Umidade: 55.7%; Temperatura: 36.7°C; Nao tem gas no ambiente;P2.5: 10.30;P10: 19.30;

```

Fonte: Autora (2025).

3.6 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), vinculado ao Ministério da Agricultura e Pecuária, tem como missão agregar valor à produção nacional por meio do fornecimento de informações meteorológicas confiáveis e aplicáveis. Para isso, realiza o monitoramento, análise e previsão do tempo e clima, baseando-se em pesquisas aplicadas, parcerias estratégicas e disseminação de conhecimento, com foco em resultados práticos. Entre suas atribuições, destacam-se a elaboração e divulgação diária de previsões do tempo, avisos meteorológicos e boletins especiais; a execução de estudos climatológicos aplicados à agricultura e atividades correlatas; a coordenação de programas de pesquisa agrometeorológica e de monitoramento de mudanças climáticas (INMET, 2025). O Sistema de Coleta e Distribuição de Dados Meteorológicos é composto por uma infraestrutura robusta e diversificada, capaz de monitorar variáveis como temperatura, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação, entre outras. Essa rede inclui estações de

sondagem de ar superior (radiossondas), estações meteorológicas de superfície operadas manualmente e a maior rede de estações automáticas da América do Sul (INMET, 2025). Para este estudo, os dados utilizados foram obtidos da estação 82246, localizada em Belterra, distante aproximadamente 49 km de Santarém.

3.7 Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA)

A rede SONDA é uma iniciativa desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em colaboração com parceiros estratégicos. Essa rede é dedicada ao monitoramento de variáveis ambientais, com ênfase especial no estudo de fontes de energia renovável, como a energia solar e a eólica, operando por meio de uma ampla rede de estações de medição, estrategicamente distribuídas em diversas regiões do território brasileiro, garantindo a cobertura e a representatividade dos dados coletados (INPE, 2012). A rede de monitoramento é composta por radiômetros, que avaliam a radiação solar, e pelo sistema AERONET, utilizado para quantificar aerossóis e vapor d'água na atmosfera, parâmetros essenciais para o estudo de fenômenos climáticos e eventos como queimadas. Além desses, estão integrados equipamentos específicos, como barômetros para medição da pressão atmosférica, termo-higrômetros para registro da temperatura e umidade relativa do ar, e pluviômetros para monitoramento da precipitação. Complementando o sistema, sensores como o Imageador *All Sky* fornecem imagens para a identificação de nuvens (INPE, 2012). A rede está localizada na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), às margens da Rodovia Santarém–Curuá-Una (PA-370), aproximadamente 40 km de distância do município de Santarém.

3.8 Estatística descritiva

A estatística descritiva foi empregada nesta pesquisa para organizar, resumir e apresentar os dados coletados de maneira clara e objetiva. Serão utilizadas medidas como mínimo, máximo, média e desvio padrão, que é uma medida estatística que quantifica o grau de variação ou dispersão dos dados em torno da média, indicando quão homogêneos ou heterogêneos são os valores dentro de um conjunto: quanto maior o desvio padrão, mais os dados se distanciam da média, evidenciando uma maior variabilidade (LIMA, 2019), além de representações gráficas, facilitando a visualização e interpretação dos resultados.

3.8.1 Análise de Regressão Linear Simples

A regressão linear simples é um modelo estatístico usado para prever o comportamento de uma variável quantitativa (variável dependente ou Y) a partir de uma ou mais variáveis relevantes (variáveis

independentes ou X) informando sobre a margem de erro dessas previsões, quando existe apenas uma variável X, o modelo designa-se por regressão linear simples (MRLS) (YAMAUTI, 2013). Para se estimar o valor esperado, usa-se um modelo a partir do qual se determina a relação entre ambas as variáveis

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$$

onde Y_i é a variável explicada (dependente); é o valor que se quer atingir; β_0 é uma constante que representa o ponto onde a reta de regressão intercepta o eixo vertical; β_1 é outra constante, que representa a inclinação da reta; X_i a variável explicativa (independente), representa o fator explicativo na equação; ϵ_i é o termo que inclui todos os fatores residuais mais os possíveis erros de medição. Eles devem ser distribuídos de forma normal, apresentar uma variância constante (σ^2 , que ainda é desconhecida), serem independentes entre si e não sofrerem influência da variável explicativa (AGUIAR, 2014). No modelo de regressão linear simples, o R^2 representa o coeficiente de determinação. Um valor elevado do coeficiente de correlação implica um valor elevado de r (que varia entre -1 e 1). O R^2 também pode ser interpretado como a porcentagem da variação total de Y em torno da sua média que é explicada pela variável independente (no caso da regressão simples) (AGUIAR, 2014). Neste trabalho, foi aplicada a regressão linear utilizando a biblioteca `scipy.stats` do Python versão 3.11. O coeficiente angular, o coeficiente de determinação (R^2) e o p -valor foram calculados para cada uma das variáveis. O nível de significância adotado foi de 5% ($\alpha = 0,05$).

Tabela 1- Valores do Coeficiente de Determinação (R^2)

COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2)	INTERPRETAÇÃO
0,00 - 0,19	Fraca ou nenhuma relação entre as variáveis
0,20 - 0,39	Relação baixa, com pouca explicação da variabilidade dos dados
0,40 - 0,59	Relação moderada, explicando parte considerável da variabilidade
0,60 - 0,79	Relação forte, com boa explicação dos dados pelo modelo
0,80 - 1,00	Relação muito forte, indicando que o modelo explica grande parte da variabilidade

Fonte: Adaptado de Martins (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 2 e 3 mostram a análise descritiva da temperatura e umidade relativa do ar para os dados do AM2302, INMET e SONDA. Em relação à temperatura, o sensor AM2302 registrou a maior média (32,2°C) e a maior variabilidade, com um desvio padrão de 1,75, enquanto INMET e SONDA

apresentaram médias próximas a 26°C e menor dispersão (1,01 e 1,67, respectivamente). Para a umidade, o AM2302 teve a menor média (72,6%), enquanto INMET e SONDA registraram valores mais altos (93,6% e 97,5%). Apesar das diferenças nas médias, os desvios padrões foram próximos (AM2302: 5,62; INMET: 5,59; SONDA: 5,77), indicando uma dispersão semelhante entre os sensores. Estudos de Steinmetz et al. (2007), Alvez et al (2020) e Guimaraes et al. (2023) destacam que sensores de baixo custo tendem a subestimar valores devido a calibração, qualidade dos materiais e a falta de proteção contra interferências ambientais.

Tabela 2 – Estatística Descritiva da Umidade Relativa do Ar.

DESCRITIVAS	AM2302	INMET	SONDA
<i>MÍNIMO</i>	59,9	74,1	78,2
<i>MEDIANA</i>	72,6	91,4	95,5
<i>DESVIO PADRÃO</i>	5,62	5,59	5,77
<i>MÉDIA</i>	72,6	93,6	97,5
<i>MÁXIMO</i>	87,0	98,5	100

Assim, percebe-se que as temperaturas ficaram bem próximas da média, mostrando pouca variação. Já a umidade relativa do ar teve oscilações maiores, com valores mais dispersos. Isso indica que, enquanto as temperaturas foram estáveis, a umidade variou de forma mais significativa. Uma das explicações pode ser à sua sensibilidade a fatores como evaporação e mudanças rápidas no ambiente como a direção dos ventos (MASIERO, 2013).

Tabela 3- Estatística Descritiva da Temperatura do Ar.

DESCRITIVAS	AM2302	INMET	SONDA
<i>MÍNIMO</i>	27,3	23,8	22,6
<i>MEDIANA</i>	32,0	26,3	26,8
<i>DESVIO PADRÃO</i>	1,75	1,01	1,67
<i>MÉDIA</i>	32,2	26,2	26,5
<i>MÁXIMO</i>	35,1	28,9	30,8

O gráfico de temperatura média diária (Figura 10) ao longo de 2023 evidencia a influência da urbanização na variação térmica capturada por três fontes distintas: o sensor AM2302 (representado

pela linha azul) instalado em zona urbana, Rede SONDA (linha laranja) e os dados do INMET (linha verde), ambos instalados em zonas afastados do centro da cidade. O sensor AM2302 registra dias de temperaturas consistentemente mais elevadas, variando entre 27 e 35°C, o que pode indicar influências externas, como resposta térmica a condições específicas ou até mesmo posicionamento do sensor (SCHRODER, 2015). Por outro lado, os dados do SONDA e do INMET apresentam valores mais próximos, oscilando entre 23 e 30°C. Ao longo do ano, observa-se uma tendência de aumento nas temperaturas registradas pelos sensores que pode refletir um padrão sazonal, influenciados por fenômeno como o El Niño, conforme documentado no boletim do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023).

As diferenças entre as séries de dados destacam a importância de fatores como a localização dos sensores, as condições de instalação e a calibração dos equipamentos, reforçando a importância para precisão nas estimativas (JIMÉNEZ, 2018). A literatura sugere que sensores de baixo custo costumam apresentar valores superestimados, e vários estudos exploram as causas por trás dessas diferenças. Silva et al. (2012) apontam que essa tendência pode estar ligada às limitações em obter dados em determinados níveis. Monteiro et al. (2019) destacam a importância de incluir novas variáveis para resultados mais precisos, especialmente para áreas com grandes variações de temperatura, umidade e nebulosidade ao longo do tempo e do espaço.

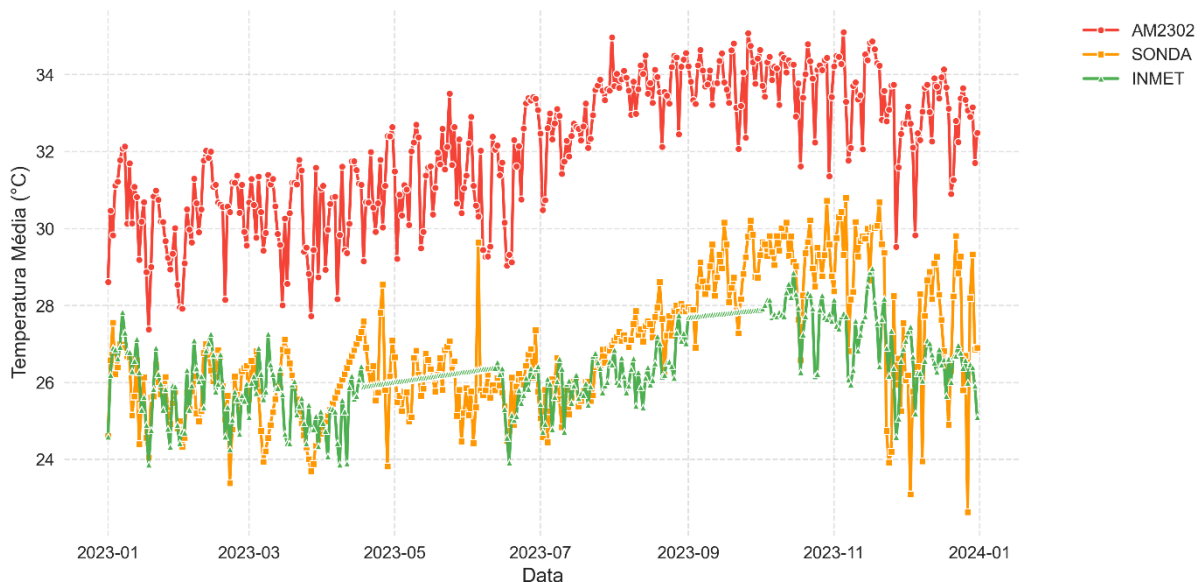


Figura 10 - Comportamento médio diário da Temperatura do Ar no período de estudo.

Na Figura 11, é apresentado um gráfico que retrata a variação diária da umidade relativa do ar ao longo de 2023. Observa-se que a rede SONDA (linha laranja) frequentemente atinge 100%, o que pode indicar saturação do sensor, que ocorre quando a potência de saída atinge seu limite máximo de detectar e registrar informações dentro de uma determinada faixa de comprimento de onda, não

sendo capaz de processar ou armazenar dados adicionais, o que pode resultar em distorções ou perda de qualidade nas medições (VASCONCELOS, 2023).

Os dados do INMET (linha verde), mostram uma leve tendência decrescente ao longo do ano, possivelmente associada à variabilidade sazonal, como o impacto de períodos de estiagem ou mudanças nos padrões atmosféricos regional associado a oscilação sul-El niño (ENOS), que por sua vez, podem alterar os regimes de circulação atmosférica, modificando taxas de precipitação, temperatura e umidade do ar, provocando eventos de extrema seca ou excesso de chuva (CAI et al., 2020; GRIMM et al., 2020). O sensor AM2302 (linha azul), registra valores significativamente mais baixos e altamente variáveis, oscilando entre 59% e 87%, o que pode ser explicado por sua sensibilidade e tempo de resposta mais lento, podendo subestimar picos de umidade (BORGES, 2021). A discrepância entre as séries de dados sugere que fatores como tempo de exposição, ventilação, radiação solar influenciam diretamente as medições.

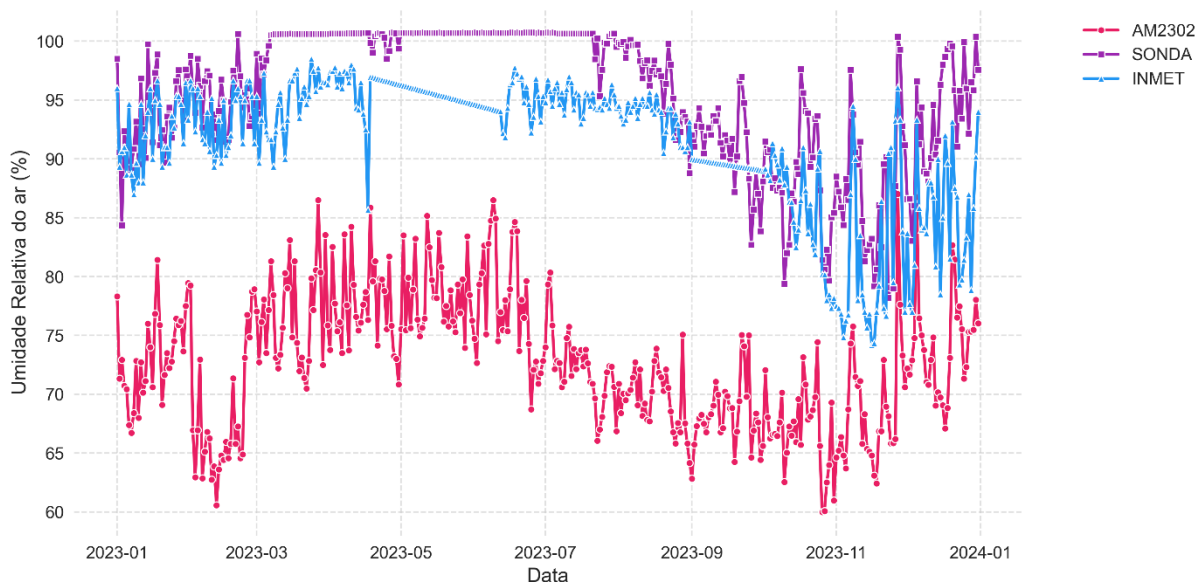


Figura 11- Comportamento médio diário da Umidade Relativa do Ar período de estudo.

Na Figura 12, o *boxplot* ilustra o comportamento mensal da Temperatura do Ar ao longo de 2023, comparando o sensor de baixo custo instalado em área urbana (AM2302) com dados de referência localizados em ambientes mais arborizados e afastados (INMET e SONDA). Em ambos os casos, observa-se uma sazonalidade, com temperaturas mais baixas entre janeiro e maio, período associado às chuvas, e um aumento gradual entre junho e novembro, característico da estação seca a (JAYORO, 2011).

No sensor localizado na zona urbana, a temperatura média foi de 32,2°C. Já os sensores de referência, situados em áreas mais verdes, registraram médias mais amenas, oscilando entre 26,2 °C

(INMET) e 26,5°C (SONDA). Essa diferença pode ser atribuída ao efeito de ilha de calor urbana, onde a concentração de superfícies pavimentadas, como concreto e asfalto, e a menor presença de vegetação favorecem a retenção de calor (DE SOUSA et al., 2020). Estudos realizados por pesquisadores como Morris e Simmonds (2000), Stewart (2000), Voogt e Oke (2003), Arnfield (2003) e Amorim (2011) evidenciaram que a atmosfera das áreas urbanas apresenta características distintas em comparação com as áreas rurais, especialmente no que diz respeito às variações de temperatura.

Além disso, os sensores de referência apresentam uma amplitude térmica ligeiramente maior, o que reflete a influência da vegetação na regulação térmica, promovendo noites mais frescas e dias menos extremos (AMORIM, 2019). Apesar das diferenças nos valores absolutos, a tendência sazonal é semelhante em ambos os conjuntos de dados, indicando que, embora a localização dos sensores influencie as medições, todos os dispositivos capturam de forma consistente o comportamento da sazonalidade mensal da variável.

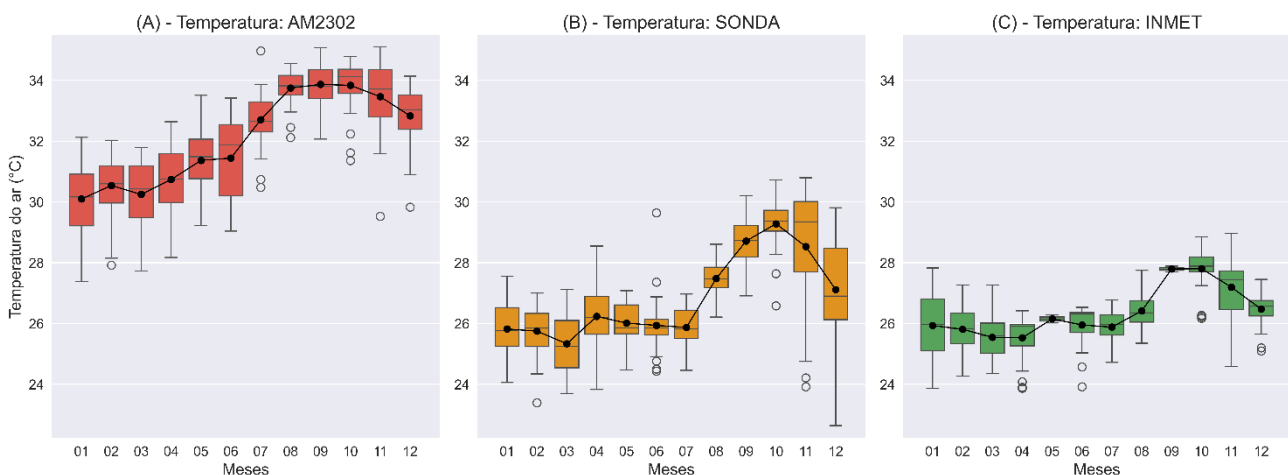


Figura 12- *Boxplot* do comportamento mensal da Temperatura do Ar no período estudado.

Na Figura 13, o *boxplot* ilustra a variação sazonal da umidade do ar ao longo de 2023, comparando o sensor de baixo custo instalado em área urbana (AM2302) com sensores de referência localizados em ambientes mais arborizados e afastados (INMET e SONDA). Em ambos os casos, é possível identificar um padrão sazonal bem-marcado, com umidades mais altas entre janeiro e abril, período associado às chuvas, e uma queda gradual a partir de maio, atingindo os valores mais baixos entre julho e outubro, meses tradicionalmente mais secos.

Nos sensores de referência, a umidade média variou 93,6% (INMET) e 97,5% (SONDA), que de acordo com Fisch et al. (1998), a persistência desses níveis elevados de umidade ao longo do ano pode ser atribuída à presença da densa cobertura florestal da região, enquanto o sensor AM2302 registrou valores consistentemente mais baixos, com uma média de 72,6%. Essa diferença pode ser

explicada pelo efeito da urbanização, onde a presença de superfícies pavimentadas e construídas, combinada com o intenso fluxo de veículos e pessoas, sugere que a cobertura do solo por estruturas urbanas densas exerce influência significativa nas variações termo higrométricas dos ambientes urbanos (DE FÁTIMA FERREIRA et al., 2015).

Além disso, nos dados do SONDA, observam-se inconsistências em alguns meses, possivelmente devido a falhas na coleta ou no armazenamento das informações, o que pode ter impactado a continuidade dos resultados em determinados períodos. Apesar das diferenças nos valores absolutos, a tendência sazonal se mantém semelhante entre os sensores, reforçando a confiabilidade do sensor de baixo custo em capturar a dinâmica climática anual, mesmo em um contexto urbano com características distintas das áreas mais campestre.

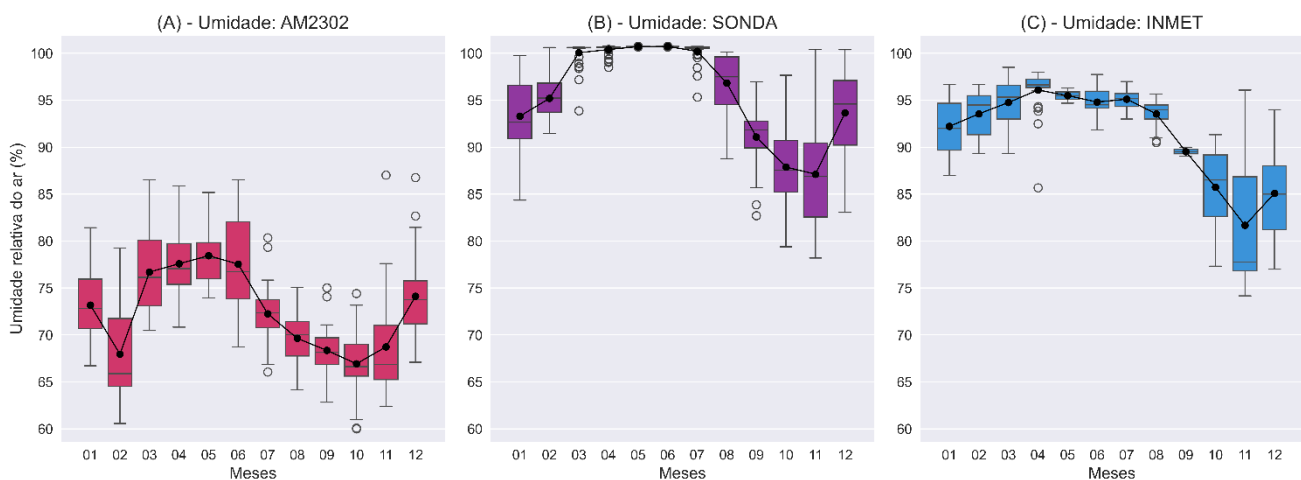


Figura 13- *Boxplot* do comportamento mensal da Umidade Relativa do Ar no período estudado.

Os resultados da regressão linear para temperatura e umidade do ar entre o sensor AM2302 e o os dados do INMET são indicados na Figura 14. No primeiro gráfico (Figura 14A) observa-se o coeficiente angular de 0,4114 sugere que a temperatura medida pelo INMET varia de forma menos intensa em relação ao sensor AM2302, o que pode refletir diferenças na sensibilidade dos dispositivos ou nas condições ambientais em que estão instalados. O coeficiente de determinação (R^2) de 0,5019 indicando uma relação moderada, significando que cerca de 50% da variação na temperatura registrada pelo INMET pode ser explicada pelos valores medidos pelo sensor de baixo custo AM2302 e uma relação estatisticamente significativa entre ambos os sensores (p -valor = $6,73 \times 10^{-57}$).

No segundo gráfico (Figura 14B) que compara as medições de umidade relativa do ar, também é observada uma relação estatisticamente significativa entre ambos os sensores (p -valor = $5,24 \times 10^{-24}$). O coeficiente angular de 0,4928, indica que, para cada 1% de aumento na umidade medida pelo sensor AM3202, a umidade registrada pelo INMET aumenta, em média, 0,4928%. Esse resultado sugere que o sensor de baixo custo tende a captar variações de umidade com menor amplitude em comparação ao

INMET. O coeficiente de determinação é mais fraco, com um R^2 de apenas 0,2455 (24%), indicando uma baixa relação entre a variabilidade dos dados.

Essa baixa relação sugere que o sensor AM2302 tem menor confiabilidade para medir a umidade, possivelmente devido a suas limitações técnicas ou à influência de fatores ambientais, como o efeito de ilha de calor urbana e variações microclimáticas típicas de áreas urbanas (COSTA et al., 2013). Em ambos os gráficos, a inclinação positiva da reta de regressão mostra que, à medida que os valores do AM2302 aumentam, os valores do INMET também tendem a subir.

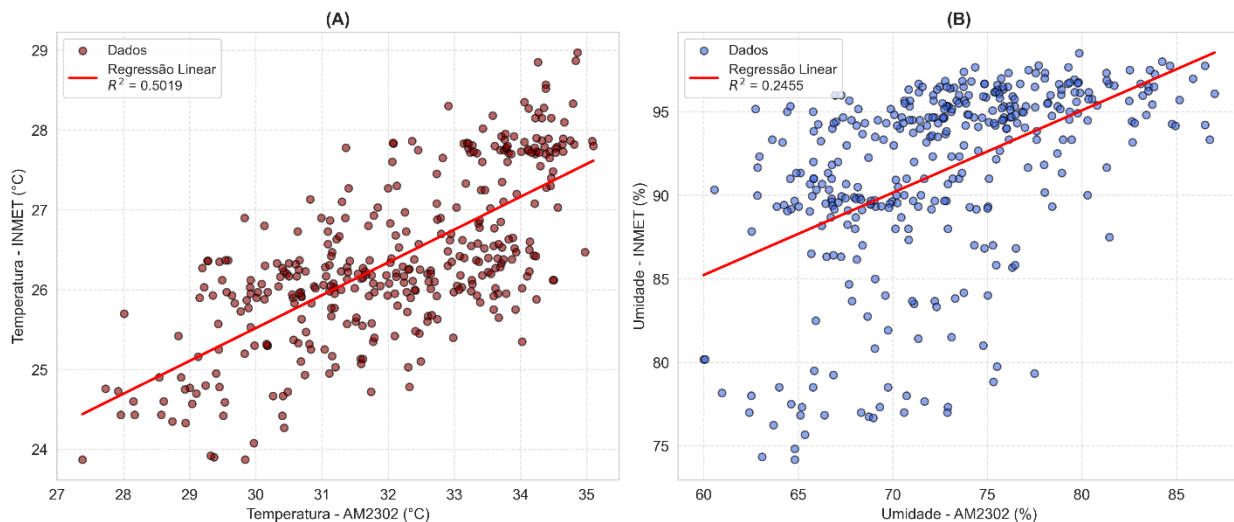


Figura 14- Regressão Linear para Temperatura e Umidade do Ar (AM2302 x INMET).

Os resultados da regressão linear para temperatura e umidade do ar entre o sensor AM2302 e os dados do Termo-higrômetro (SONDA) são indicados na Figura 15. No primeiro gráfico (Figura 15A), há uma relação estatisticamente significativa entre ambos os sensores (p -valor= $3,96 \times 10^{-49}$). O coeficiente angular de 0,6430 significa que, para cada 1°C de aumento na temperatura medida pelo AM2302, a temperatura registrada pelo SONDA aumenta, em média, $0,6430^\circ\text{C}$. Isso sugere que o sensor AM2302 capta as variações de temperatura de forma semelhante às medições do SONDA, mas com uma leve tendência a registrar valores um pouco menores. É possível observar um coeficiente de determinação (R^2) de 0,4505. Isso significa que cerca de 45% da variação na temperatura registrada pelo SONDA pode ser explicada pelos valores medidos pelo sensor de baixo custo AM2302.

Já no segundo gráfico (Figura 15B), que compara as medições de umidade relativa do ar, também é observa-se a uma relação estatisticamente significativa entre ambos os sensores (p -valor = $2,54 \times 10^{-43}$). O coeficiente angular de 0,6564 indica que, para cada 1% de aumento na umidade medida pelo sensor AM2302, a umidade registrada pelo SONDA aumenta, em média, 0,6564%. O coeficiente de determinação é de 0,4086 (40%). Observa-se a rede SONDA frequentemente atinge valores próximos de 100%, indicando uma limitação do equipamento ou um efeito de saturação em condições

de alta umidade, uma falha na calibração do sistema convencional devido ao longo tempo de uso e/ou pela presença de poeira no componente (FARIA et al., 2014). Embora o sensor AM2302 apresente valores compatíveis em algumas faixas, a dispersão dos dados sugere que as diferenças nas medições devem ser consideradas. A inclinação positiva das retas de regressão em ambos os gráficos indica que, apesar das diferenças, há uma tendência de aumento conjunto entre os valores dos dois sensores.

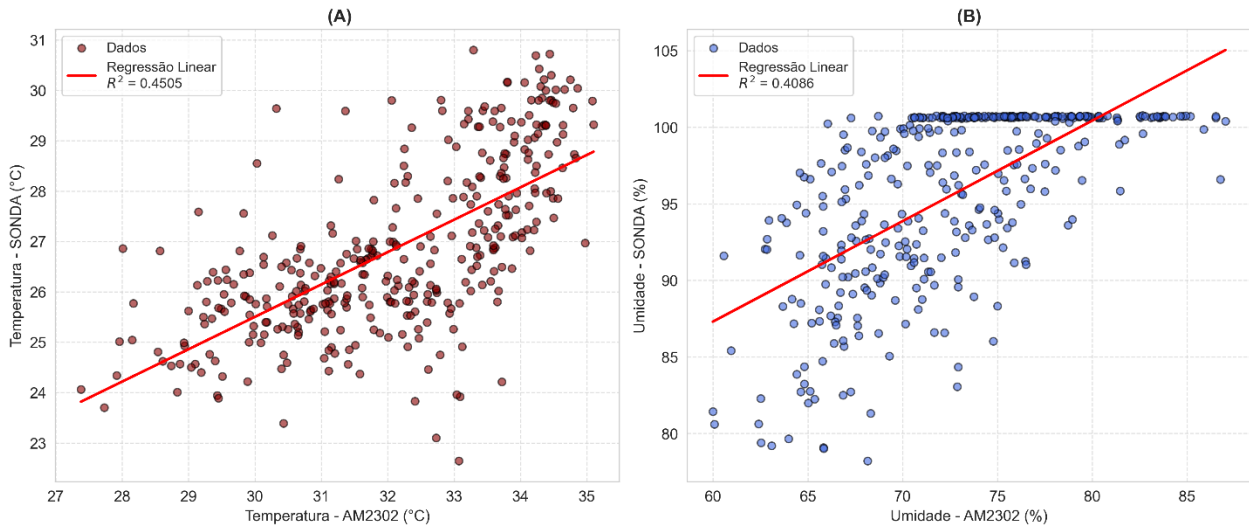


Figura 15- Regressão Linear para Temperatura e Umidade do Ar (AM2302 x SONDA).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados a partir dos dados ambientais obtidos pelo sensor de baixo custo AM2302 e sensores de referência (INMET e SONDA) mostraram que, apesar de apresentar variações em relação aos sensores de referência, o sensor AM2302 acompanha a mesma tendência geral ao longo do tempo. A análise sazonal comprovou sua eficiência em captar padrões da sazonalidade das variações ambientais, como a queda da temperatura e o aumento da umidade no período chuvoso, além do aquecimento e da redução da umidade na estação seca. As análises estatísticas revelaram relações significativas ($<0,05$) entre o AM2302 e os sensores de alta precisão, principalmente para temperatura. No entanto, a menor precisão para umidade sugere maior influência de fatores externos, como seu local de instalação. Assim, apesar de suas limitações, o AM2302 mostra consistência em detectar comportamento climático, destacando seu potencial para estudos de baixo custo. Dessa forma, os resultados confirmam que, embora o sensor de baixo custo apresente diferenças absolutas devido ao ambiente urbano em que está instalado, ele consegue acompanhar a variabilidade dos sensores de referência, captando a sazonalidade das mudanças climáticas. Isso demonstra que sensores de baixo custo pode ser úteis para monitoramento ambiental, desde que sejam aplicadas estratégias para reduzir as discrepâncias em relação a sensores padronizados. O estudo fornece subsídios para futuras pesquisas que busquem aprimorar o uso desses dispositivos, tornando-os alternativas viáveis para medições meteorológicas de baixo custo e acessíveis para diferentes aplicações.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Erick Frederico Kill. Calibração de sensores de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar no Distrito Federal. 2014.
- ALMEIDA, Domingas de Oliveira et al. Monitoramento da qualidade do ar por meio de um sensor de baixo custo no município de Santarém/Pa. 2023.
- ALVES, Ivy Miranda do Amaral et al. Ecologia térmica de anuros de altitude na Mata Atlântica: avaliando efeitos da altitude, térmica do ambiente e da performance sob diferentes temperaturas. 2019.
- ALVES, Péricles Vale et al. Uso do Arduíno como um sistema alternativo para medir radiação solar global e práticas educacionais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, p. e20190304, 2020.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V.; CARDOSO, R. S. Modelagem espacial da ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) - Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 16, p. 29–45, 2015.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor urbanas: métodos e técnicas de análise. *Revista Brasileira de Climatologia*, 2019.
- AOSONG. AM2302. Disponível em: < <http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>>.
- Acesso em: 10set. 2015.
- ARDUINO. Introduction. Disponível em: < <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acessado em: 10 set. 2015.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23: p. 1–26, 2003. DOI: 10.1002/joc.859.
- BAI, X.; DAWSON, R. J.; ÜRGE-VORSATZ, D.; DELGADO, G. C.; SALISU BARAU, A.; DHAKAL, S.; DODMAN, D.; LEONARDBSEN, L.; MASSON-DELMOTTE, V.; ROBERTS, D. C.; SCHULTZ, S. Six research priorities for cities and climate change. *Nature*, v. 555, n. 7694, p. 23–25, 1 mar. 2018.

BARTOLI, ESTEVAN. Cidades na Amazônia e o milieu urbano: reflexões a partir de sistemas locais territoriais em Parintins. PARINTINS, p. 16, 2016.

BORGES, Thiago de Souza. Sistema para automação e manejo da irrigação de baixo custo. 2021.

BRANDÃO, Luciana Costa. Vidas ribeirinhas e mudanças climáticas na Amazônia: ativando híbridos, friccionando conhecimentos e tecendo redes no contexto do Antropoceno. 2019.

BRÊDA, João Paulo Lyra Fialho et al. Assimilação de dados de altimetria espacial para ajuste da cota de fundo de um modelo hidráulico. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. Porto Alegre: ABRH, 2017], 2017.

CAI, W. et al. Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth and Environment*, v. 1, n.4, p. 215–231, 2020.

CAMPANELLI, Erick Dias et al. A relação saúde pública-meio ambiente e o biomonitoramento como ferramenta para a avaliação, promoção e conservação da saúde ambiental. 2022. Tese de Doutorado.

CESAR, F. C. R. et al. ESTRESSORES DA PÓS-GRADUAÇÃO: REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA. *Cogitare Enfermagem*, [S. l.], v. 23, n. 4, 2018.

CHOI, C.-S.; JEONG, J.-D.; LEE, I.-W.; PARK, W.-K. Lora based renewable energy monitoring system with open iot platform. In: 2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC). [S.l.: s.n.], 2018. p. 1–2.

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CÂNDIDO, L. A.; dos SANTOS, R. M. N; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, p. 39-43, 2007.

CORREIA, M. C. S. Levantamento das necessidades e requisitos bibliográficos dos pesquisadores da Faculdade de Ciência da Informação com vistas à adoção de um aplicativo para a automação de referências. 2010. Dissertação – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

COSTA, A. C. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P.; PORTELA, B. T. T.; SILVA, G. G. C.; COSTA, R. F., 2013. Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na Região Amazônica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 6, 478-487.

CRISTALDO, M. F. et al. Analysis and distribution of the rainfall monitoring network in a Brazilian Pantanal region. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 199-205, 2017.

DA COSTA DORIA, Carolina Rodrigues et al. O uso do conhecimento ecológico tradicional de pescadores no diagnóstico dos recursos pesqueiros em áreas de implantação de grandes empreendimentos. *Desenvolvimento e meio ambiente*, v. 30, p. 89-108, 2014.

DA SILVA, Albert Einstein Lima; DE SOUSA, Rita de Cassia Pompeu. Desenvolvimento de uma estação meteorológica em software e hardware aberto. *Journal of Media Critiques*, v. 10, n. 26, p. e64-e64, 2024.

DA SILVA, Thaís Rayane Gomes et al. Estimativa De Evapotranspiração De Referência Pelo Método De Hargreaves-Samani Através De Uma Estação Meteorológica De Baixo Custo. 2019.

DE ANDRADE, Allan Carlos; GALVANI, Emerson; DE SOUZA, Paulo Henrique. Performance de um sistema alternativo de monitoramento e coleta de dados meteorológicos. *E&S Engineering and Science*, v. 13, n. 4, p. 1-14, 2024.

DE FÁTIMA FERREIRA, Leilaine; CARRILHO, Silvio Tavares; MENDES, Paulo Cezar. Áreas verdes urbanas: uma contribuição aos estudos das ilhas de frescor. *Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium*, v. 6, n. 2, p. 101-120, 2015.

DE SOUZA, Camila Amparo; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; GUARALDO, Eliane.

Estudo bibliométrico sobre ilhas de calor urbanas e zonas climáticas locais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 26, 2020.

DOS SANTOS, Izaias Pereira. Rede de Sensores sem Sem Fio Baseado em IoT para a Coleta dos Dados Climáticos de Catalão, 2023.

FARIA, W. C.; MARTINS, F. B.; GOMES, E. L. B.; FREITAS, C. H. Sistema Open-Source para Coleta e Armazenamento de Dados Meteorológicos, 2014. Disponível em <http://tinyurl.com/pdeocr7> >. Acesso em 09 jan.2025.

FISCH, Gilberto; MARENCO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta amazônica*, v. 28, p. 101-101, 1998.

FISCHMANN, A. A., & ZILBER, M. A. (2000). Utilização de Indicadores de Desempenho para a Tomada de Decisões Estratégicas: um Sistema de Controle. *RAM. Revista De Administração Mackenzie*, 1(1), 10–25. <https://doi.org/10.1590/1678-69712000/administracao.v1n1p10-25>.

FÓRUM DE REFLEXÃO UNIVERSITÁRIA; UNICAMP. Desafios da pesquisa no Brasil: uma contribuição ao debate. *São Paulo em Perspectiva*, v. 16, n. 4, p. 15-23, 2002.

GANG, J.; WEN-QIANG, F.; PENG-FEI, H.; YUN-XUE, L. Design of multi-point wireless temperature and humidity sensor network based on NRF24101. *Information Technology Journal*, v.

12, n. 20, p. 5811–5817, 2013.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990.

GONZÁLEZ-TERUEL, Juan D. et al. Design and calibration of a low-cost SDI-12 soil moisture sensor. *Sensors*, v. 19, n. 3, p. 491, 2019.

GRIMM, A. M. et al. The combined effect of climate oscillations in producing extremes: the 2020 drought in southern Brazil. *Rbrh*, v. 25, p. 1–12, 2020.

GUIMARAES, D. P. et al. Monitoramento de baixo custo e alta qualidade dos dados de temperatura e umidade relativa do ar. 2023.

GUPTA, Sidhant; REYNOLDS, Matthew S.; PATEL, Shwetak N. ElectriSense: single-point sensing using EMI for electrical event detection and classification in the home. In: *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computing*. 2010. p. 139-148.

HOLZ, Edson (2019). Desenvolvimento de uma estação meteorológica microcontrolada para monitoramento de variáveis climáticas. Edson Holz, Evandro Campigoto; orientação de José Flávio Dums. Joinville, SC, 2019. 154 p.

IBGE. Dados censitários. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

INMET- disponível em [Instituto Nacional de Meteorologia - INMET](#) acessado em 08 de fevereiro de 2025.

INPE. SONDA — Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. 2012. Disponível online: <http://sonda.ccst.inpe.br/>.

IPCC: Sumário para formuladores de Políticas. Em: *Mudanças do Clima 2021: A base da Ciência Física*, 2021.

JAYORO. Caracterização climática da zona rural de Presidente Figueiredo: plano de controle ambiental. Relatório Técnico, Presidente Figueiredo, 2011.

JIMÉNEZ, Anabel de los Ángeles Calva. Calibração do sensor de umidade do solo modelo YL-69 para manejo da irrigação. 2018.

KADIR, E. A.; EFENDI, A.; ROSA, S. L. Application of lora wan sensor and iot for environmental monitoring in riau province indonesia. In: *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*. [S.l.: s.n.], 2018. p. 281–285.

KIZITO, Fred et al. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor. *Journal of Hydrology*, v. 352, n. 3-4, p. 367-378, 2008.

KOJIMA, Yuki et al. Low-cost soil moisture profile probe using thin-film capacitors and a capacitive touch sensor. *Sensors*, v. 16, n. 8, p. 1292, 2016.

KROKOSZ, M. Plagiarism in articles published in journals indexed in the Scientific Periodicals Electronic Library (SPELL): a comparative analysis between 2013 and 2018. *International Journal for Educational Integrity*, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 1, dez. 2021.

LEWIS, Alastair C.; SCHNEIDEMESSER, Erika von et al. Low-cost sensors for the measurement of atmospheric composition: overview of topic and future applications. Geneva, mai. 2018. P. 1–60.

ISBN 9789263112156.

LIMA, Mirelle Tainá Vieira et al. Influência da temperatura e umidade sobre o conforto térmico bovino em Barbalha, Ceará. *Pubvet*, v. 13, p. 162, 2019.

LIU, Thomas. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302). Aosong Electronics Co., Ltd, 2013.

MARENGO, José A.; SOUZA JUNIOR, Carlos. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. São Paulo: ALANA, 2018.

MARTIN-GARIN, A.; MILLÁN-GARCÍA, J. A.; BAÑRI, A.; MILLÁN-MEDEL, J.; SALALIZARRAGA, J. M. Environmental monitoring system based on an open source platform and the internet of things for a building energy retrofit. *Automation in Construction*, v. 87, p. 201-214, 2018. MARTINS, E. G. M. Coeficiente de determinação. *Revista Ciência Elementar*, v. 6, n. 1, p. 24, 2018.

MASIERO, Erico; SOUZA, Léa Cristina Lucas de. Variação de umidade absoluta e temperatura do ar intraurbano nos arredores de um corpo d'água. *Ambiente Construído*, v. 13, p. 25-39, 2013.

MIRANDA, Cynthia Mara; SANTI, Vilso Junior; FONSECA, Lucas Milhomens. Os (des) caminhos da pesquisa em comunicação na Amazônia. *Comunicação Midiática*, v. 14, n. 1, p. 69-80, 2019.

MONTEIRO, Ana Flávia Martins; MARTINS, Fabrina Bolzan. Estimativa da radiação solar global para Viçosa (MG) com dados de entrada de fácil medição. *Revista Hipótese*, p. 385-398, 2019.

MORRIS, C.J.G.; SIMMONDS, I. Associations between varying magnitudes of the urban heat island and the synoptic climatology in Melbourne, Australia. *International Journal of Climatology*, v. 20, n. 15, p. 1931-1954, 2000.

MÖRTH, O.; EDER, M.; HOLZEGGER, L.; RAMSAUER, C. Iot-based monitoring of environmental conditions to improve the production performance. *Procedia Manufacturing*, v. 45, p. 283–288, 2020. ISSN 2351-9789. Learning Factories across the value chain – from innovation to service – The 10th Conference on Learning Factories 2020.

MOTA, Alex Dos Santos; BUENO, Luis Fernando; MOREIRA, Tony Vinicius Sampaio. Dados e informações geoespaciais para análise territorial e ambiental na Amazônia Legal no Brasil. *Revista Geográfica Venezolana*, v. 56, n. 2, p. 249-267, 2015.

MUDULI, L.; MISHRA, D. P.; JANA, P. K. Application of wireless sensor network for environmental monitoring in underground coal mines: A systematic review. *Journal of Network and Computer Applications*, v. 106, p. 48–67, 2018. ISSN 1084-8045.

NASCIMENTO, Marilene Batista da Cruz. Iniciação científica em redes colaborativas e formação universitária de qualidade: a perspectiva do egresso (2007-2013). 2016.

PALMIERI, A. M. (2009). Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para coleta e armazenamento de dados de variáveis climáticas: aplicações no ambiente agrícola. Dissertação [USP - online]. pp. 24-25. Disponível em < <http://tinyurl.com/npazy9s> >. Acesso em 09 jan.2025.

PEREIRA, Maria Cristina Santana et al. EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA LEVANTAMENTO DE NÍVEL DA ÁGUA EM SISTEMAS DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E CORPOS D'ÁGUA. Nuvem de Pontos Usando Sensores Inerciais e LiDAR. repositório. ufc. br, 2019.

PÉREZ, Adriana Aguiar. Ouro (i) legal: determinação estrutural sobre os países amazônicos: structural determination on Amazonian countries. *Revista Em Pauta: teoria social e realidade contemporânea*, n. 55, 2024.

PORTER, Michael E. *Estratégia competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência*. 9ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

Ratts, L., Landskron, G. R., Meus, L. D., Soilo, A. V., Alberto, C. M., Beutler, A. N. (2019). Desenvolvimento e calibração de sensores de baixo custo para a medição da umidade do solo. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 10(2).

REIS, George Pereira; DE OLIVEIRA MORAES, Elias. Variação da umidade relativa do ar no coração da floresta Amazônica, um estudo de caso no município de Coari (AM) durante o ano de 2015. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v. 1, p. 2479-2486, 2017.

ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; SHUTTLEWORTH, J. Evapotranspiration. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Orgs.). Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph Ser, vol. 186. Washington, D.C.: American Geophysical Union Books, 2009. p. 261-272.

ROCHA, Vinícius Machado; CORREIA, Francis Wagner Silva; FONSECA, Paula Andrea Morelli.

Reciclagem de precipitação na Amazônia: Um estudo de revisão. Revista brasileira de meteorologia, v. 30, p. 59-70, 2015.

SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. Geophysical Research Letters, v.34, n.9, p. L09708, 2007.

SATYAMURTY, P.; da COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years. Theoretical and Applied Climatology, v. 111, n. 1-2, p.195-209, 2013.

SCARPA, M.; RAVAGNIN, R.; SCHIBUOLA, L.; TAMBANI, C. Development and testing of a platform aimed at pervasive monitoring of indoor environment and building energy. Energy Procedia, v. 126 p. 282-288, 2017.

SCHRODER, Thomas et al. Influência de métodos de coleta de dados espectrorradiométricos sob índices de vegetação em eucalipto. Revista Eletrônica de Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 3, p. 690-701, 2015.

SCORIZA, Rafael Nogueira; MÁRQUEZ PIÑA-RODRIGUES, Fatima Conceição. Influência da precipitação e temperatura do ar na produção de serapilheira em trecho de Floresta Estacional em Sorocaba, SP. Floresta, v. 44, n. 4, 2014.

SEIXAS, Marina de Rosso et al. Projeto e construção de um veículo de superfície não tripulado, para o monitoramento dos parâmetros físico-químicos de corpos hídricos. 2024.

SENA, Reinaldo; MORGADO, Elsa. Desmatamento Na Amazônia: Causas, Consequências E Soluções. Ricts| Revista Internacional de Ciências, Tecnologia e Sociedade, v. 6, n. 2, p. 71-82, 2023.

SILVA, A. F.; JATOBÁ, L. Relação clima-solo-planta na análise integrada de paisagens. 2017.

SILVA, Adriana Cláudia Câmara da et al. Influência de variáveis climáticas na pesca artesanal de Macau-RN. 2013.

SILVA, C. R. da.; SILVA, V. J. da.; ALVES JÚNIOR, J.; CARVALHO, H. P. Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16, p.281-288, 2012.

SILVA, Irenildo Costa da et al. Sustentabilidade dos sistemas de uso da terra no assentamento agroextrativista do Anauerapucu-AP. 2014.

SILVA, Sandra Maria Sousa da et al. Turismo, sustentabilidade e capital social em uma vila amazônica: o caso de Alter do Chão (Santarém, Pará, Brasil). 2018. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Oeste do Pará.

SILVA, W. R. F., MENDES, K. G., & FERREIRA, R. DOS S. (2024). Desenvolvimento de uma estação meteorológica a partir de materiais reutilizados e sensores de baixo custo. *Revista Brasileira De Ensino De Física*, 46, e20230337. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0337>.

STEIN, T., & KÜHN, P. (2018). Challenges and limitations of low-cost sensors in environmental monitoring. *Sensors and Actuators A: Physical*, 273, 123-135.

STEINMETZ, SILVIO et al. Desempenho de um termômetro digital de baixo custo para medir a temperatura do solo. 2007.

STEWART, I. D. Influence of meteorological conditions on the intensity and form of the urban heat island in Regina. *The Canadian Geographer*. v. 3, n. 44, p. 271-285, 2000.

TEIXEIRA, David Martins (2018). Sistema Autônomo De Caracterização De Dados Necessários Para A Implantação De Aerogeradores.

VALDEZ, D. et al. Improving open and rigorous science: ten key future research opportunities related to rigor, reproducibility, and transparency in scientific research. *F1000Research*, [S. l.], v. 9, p. 1235, 14 out. 2020.

VASCONCELOS, Francisco Willame Coelho de. Estudo e desenvolvimento de sensores interferométricos de fibras ópticas com nanopartículas de ferrita de cobalto como elemento sensor. 2023.

VISSER, Martine et al. Saving water at Cape Town schools by using smart metering and behavioral change. *Water Resources and Economics*, v. 34, p. 100175, 2021.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*. v. 3, n. 86, p. 371-384, 2003.

WANG, D.; HU, H.; YANG, H.; ZHENG, K. A real-time lora-based iot system for intelligent meteorological monitoring. In: 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC). [S.l.: s.n.], 2020. p. 921–925.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of the Global Climate 2023. WMO-No. 1347. ISBN 978-92-63-11347-4. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). WMO Global Annual to Decadal

Climate Update (Target years: 2023-2027) 2023.

YAMAUTI, M. M. Regressão Linear Simples nos livros de Estatística para cursos de Administração: um estudo didático. Dissertação apresentada no programa de pós graduação em Educação Matemática. São Paulo: 2013.