

RECONDICIONAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM PLUVIÔMETRO DE BÁSCULA

João Guilherme Carvalho Roberto¹, Sérgio Rodrigo Maggion Melim¹, Laos Alexandre Hirano¹

¹Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciência e Tecnologia, Laboratório de Prototipagem de Sistemas Embarcados – LAPSE, Poços de Caldas, Brasil

Resumo: O presente trabalho apresenta um procedimento para recondicionar um pluviômetro com aquisição eletrônica com interface obsoleta. Uma placa de prototipagem ESP8266 foi utilizada para monitorar os pulsos produzidos em um *Reed Switch* acoplado à balsa deste dispositivo. O pluviômetro foi submetido a diferentes intensidades de chuva simuladas, resultando em erros relativos de 5%, 6% e 9% para intensidades de até 30mm/h, até 60mm/h e até 90mm/h, respectivamente. Essas variações estão dentro da faixa de precisão aceitável, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (OMM), que pode variar de 10% a 30% para intensidades de chuva superiores a 25 mm/h.

Palavras-chave: ESP8266; pluviômetro; recondicionamento; baixo custo

INTRODUÇÃO

A análise de dados meteorológicos é fundamental para diversos setores da sociedade, desde a agricultura e a gestão de recursos hídricos até o planejamento urbano e a prevenção de desastres naturais. A pluviometria, que mede a quantidade de precipitação em um determinado local e período, é uma ferramenta crucial para essa análise, fornecendo informações valiosas sobre os padrões de chuva e a disponibilidade de água (Romioto, 2020).

Pluviômetros modernos, como os de balsa, oferecem alta precisão e capacidade de registro automático de dados. No entanto, seu custo elevado pode ser um obstáculo para sua ampla implementação, especialmente em países em desenvolvimento. Uma alternativa promissora é o recondicionamento de pluviômetros obsoletos, integrando tecnologias modernas de baixo custo para revitalizar esses instrumentos (Silva et al., 2016).

O presente trabalho teve como objetivo recondicionar um pluviômetro de balsa RainWise obsoleto. A balsa original estava danificada, mas a carcaça com a área de coleta, conforme na Figura 1, e o sensor Reed Switch puderam ser reaproveitados. O instrumento original era limitado à operação com o sistema operacional Windows 98 e não possuía interface para comunicação remota de dados.

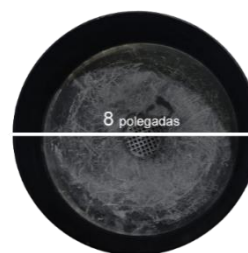


Figura 1. Vista da parte superior da carcaça, evidenciando a área de coleta.

Os objetivos específicos deste trabalho foram: integrar um microcontrolador ESP8266 ao sistema de medição do pluviômetro, desenvolver um servidor web para visualização e exportação de dados coletados, implementar um sistema de gerenciamento de bateria integrado ao dispositivo, criar um canal para integração de outros sensores, como termohigrômetros e sensores de umidade do solo e aprimorar a mecânica da balsa para garantir maior precisão e confiabilidade nas medições.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram testadas quatro básculas para determinar a mais adequada para o pluviômetro recondicionado. A primeira era a balsa original em plástico PET, que apresentava deterioração significativa em sua superfície interna. A segunda balsa foi a original revestida com uma manta de Teflon, fixada com cola à base de cianoacrilato, para proporcionar um escoamento de água mais uniforme. A terceira balsa foi impressa em PLA e tratada com clorofórmio, aplicado diretamente na superfície com um pincel para suavizar as ranhuras da impressão 3D. Por fim, a quarta balsa, impressa em ABS, foi

submetida a um tratamento com vapor de acetona. Esse processo envolveu a instalação da balança em uma câmara contendo papel absorvente embebido em acetona, o que permitiu a volatilização e condensação da acetona nas paredes da balança, resultando em uma superfície mais lisa e uniforme.

As balanças foram submetidas a testes de calibração, retenção de água e resistência térmica. Os resultados desses testes foram utilizados para determinar a balança mais adequada para o pluviômetro recondicionado.

A balança foi calibrada com 9,7 ml de água (equivalente a 0,3 mm de chuva) utilizando uma pipeta graduada de 20 ml. O parafuso de calibração, destacado na Figura 2, tem a função de ajustar a altura mínima do movimento de tombamento da balança. Esta altura determina o volume de água acumulada necessária para alternar sua posição.

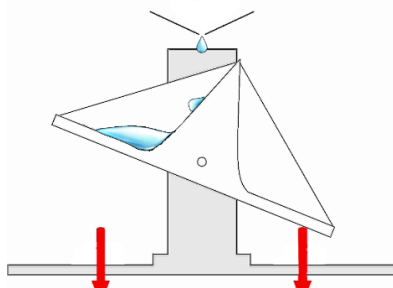


Figura 2. Parafusos de calibração

Para avaliar o erro, intensidades diferentes de chuva foram simuladas utilizando uma bomba peristáltica, modelo Solab SI d64. As intensidades foram ajustadas para corresponder a 16,21 mL/min (30 mm/h), 32,42 mL/min (60 mm/h) e 48,63 mL/min (90 mm/h), alinhadas com os padrões comumente adotados no mercado para a avaliação desses instrumentos.

A Figura 3 ilustra a configuração experimental, onde a área "A" representa o pluviômetro e o recipiente de coleta, a área "B" indica a localização da bomba peristáltica, e a área "C" abriga o recipiente com água, servindo de fonte para a bomba. Uma mangueira conecta os recipientes das áreas "A" e "C", mantendo o nível de água.

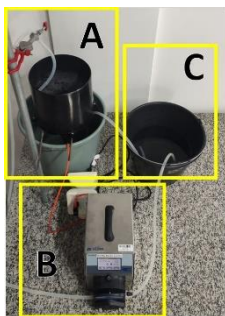


Figura 3. Configuração experimental.

Este procedimento foi realizado em triplicata e foram considerados incertezas por desvio padrão.

Uma etapa fundamental deste projeto foi a montagem do circuito para o sistema do pluviômetro, conforme a Figura 4.

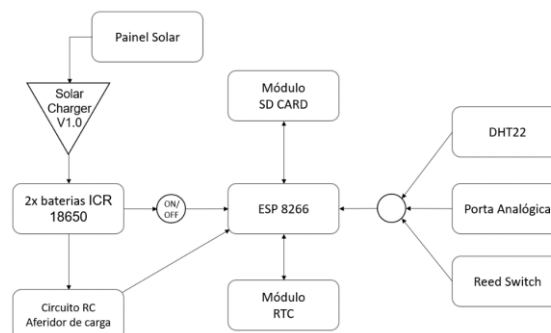


Figura 4. Esquema em blocos do circuito

O circuito foi projetado em torno do módulo ESP8266, o qual integra-se ao reed switch responsável por medir a chuva. A cada oscilação da balança equipada com um ímã, o reed switch gera um pulso que é contabilizado.

Além disso, o circuito inclui outros módulos e sensores: um módulo SD card que armazena os dados em um cartão micro SDHC de 32GB, um RTC (Real Time Clock) PCF8563 que garante a precisão do tempo nos registros e um sensor DHT22 que afere a temperatura e umidade do ar.

O módulo de bateria foi integrado a duas baterias ICR 18650, cada uma com capacidade de 2600mAh. As baterias foram conectadas a um Sistema de gerenciamento de bateria (BMS) 1S e a uma placa fotovoltaica de 6V com 6W de potência. Essa configuração foi dimensionada para garantir a operação do protótipo por 3 dias consecutivos, mesmo em condições de baixa exposição solar.

Um dos desafios deste projeto foi medir a tensão da bateria utilizando uma porta digital disponível no ESP8266. Para isso, foi implementada uma solução utilizando um circuito RC (Resistor-Capacitor), conforme ilustrado na Figura 5. O objetivo não era obter uma medida precisa, mas sim uma estimativa do nível da bateria.

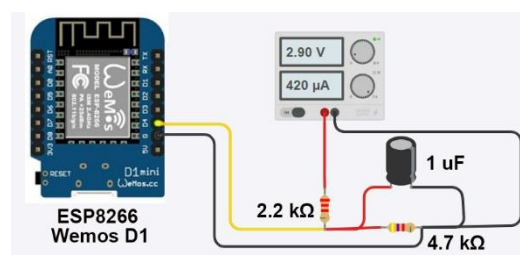


Figura 5. Sistema de medição de carga por circuito RC.

O circuito RC funciona da seguinte maneira: a porta digital é conectada ao terminal positivo de um capacitor que é carregado pela tensão da bateria. O tempo que a porta leva para atingir o estado "HIGH" (saturação) é medido para diferentes níveis de tensão da bateria (entre 2,9V e 4,2V). Com essas medidas, foi possível realizar uma análise de regressão linear e obter uma função que estima o nível de tensão da bateria com base no tempo de saturação da porta.

Para garantir a confiabilidade e robustez do circuito, uma Placa de Circuito Impresso (PCB), ilustrada na Figura 6, foi confeccionada para comportar os componentes.

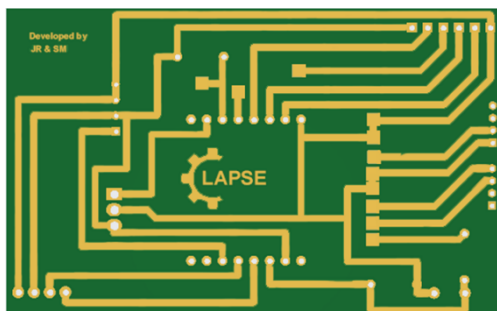


Figura 6. Desenho do circuito da PCB.

Após a fabricação da PCB, foram realizados testes com os sensores e módulos que a compõem.

O sensor digital DHT22, um componente opcional, foi avaliado em termos de comunicação com o ESP8266 e obtenção de leituras.

A porta analógica do sistema foi testada com o sensor capacitivo de umidade de solo Moisture V1.2, analisando sua comunicação com o ESP8266 e a obtenção de leituras.

A comunicação de dados foi planejada para ser realizada por meio de uma página HTML criada pelo ESP8266, configurado como um Access Point, estabelecendo uma rede WiFi dedicada. A página HTML permite ao usuário baixar os dados coletados, que incluem registros de chuva, temperatura/umidade, nível da bateria e leituras do sensor analógico. Além disso, o usuário pode ajustar parâmetros operacionais como data/hora, alterar a função de calibração do sensor analógico, ativar/desativar o sensor DHT22, limpar registros e alterar o intervalo de coleta dos sensores.

Testes de conectividade foram realizados aumentando gradativamente a distância em relação a uma parede como obstáculo, avaliando a estabilidade e verificando se é possível obter os dados registrados.

O algoritmo do código, representado na Figura 7, define a sequência de ações que o dispositivo realiza para coletar dados, gerenciar a interface web e interagir com o usuário.

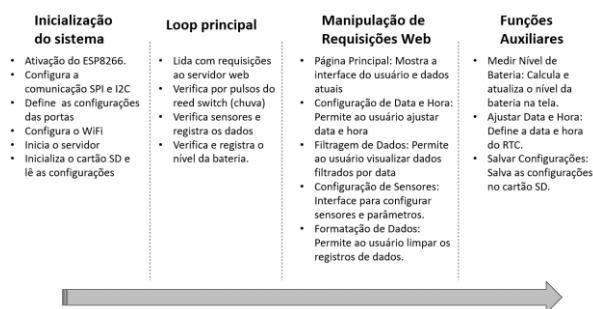


Figura 7. Algoritmo do código.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação da balança original revelou problemas significativos, incluindo deterioração da superfície interna e complicações devido a retenção de água, como pode ser observado na Figura 8. O volume de água acumulada foi destacado pelos autores para fins de ilustração. Esses danos comprometeram a precisão das medições, pois a água não escoava uniformemente durante o processo de inversão da balança.



Figura 8. Pluviômetro aberto evidenciando retenção parcial da água durante o escoamento.

Além dos danos à superfície interna, a baixa massa da balança original, tornava-a sensível a pequenas trepidações e instável quando a água se aproximava do volume necessário para a inversão, dificultando o ajuste fino de calibração.

Durante a fixação do Teflon na balança original, verificou-se problemas de aderência entre os materiais, particularmente nas extremidades da estrutura, como ilustrado na Figura 9.

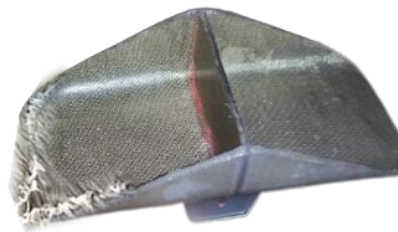


Figura 9. Teflon descolando da balança original.

Os parafusos de ajuste, destacados na Figura 10, revelaram uma falha técnica, acumulando água em suas cabeças e gerando uma aderência não intencional com a superfície externa da balsa. Essa retenção interferia no movimento oscilatório da balsa, comprometendo a precisão da medição.



Figura 10. Pluviômetro aberto destacando parafusos de calibração.

Para minimizar os efeitos da retenção de água nos parafusos, as básculas impressas em 3D foram projetadas com um comprimento longitudinal aumentado, seguindo as dimensões do esquema apresentado na Figura 11.

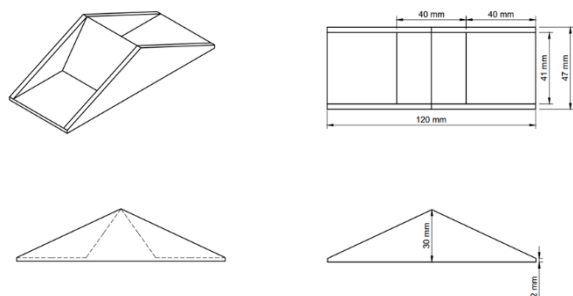


Figura 11. Projeto da nova balsa.

A confecção inicial do protótipo da balsa foi realizada empregando o PLA e o tratamento com clorofórmio, como mostrado na Figura 12.



Figura 12. Protótipo inicial da balsa em PLA tratada com clorofórmio.

O PLA, devido à sua natureza higroscópica e biodegradável, apresentou problemas durante os testes, comprometendo sua durabilidade e precisão. Por isso, optou-se pela balsa impressa em ABS, Figura 13, um material mais adequado para a aplicação devido à sua maior resistência à umidade e melhores resultados nos testes realizados.



Figura 13. Balsa em ABS após o tratamento com acetona.

Após a construção da balsa em ABS, foram conduzidos testes para avaliar o seu desempenho. Os dados coletados durante os testes são apresentados na Figura 14, gerada pelo próprio sistema.

Leituras para 11/2023

20/11/2023 às 1h foi registrado 28.800mm de chuva
 20/11/2023 às 2h foi registrado 28.500mm de chuva
 20/11/2023 às 3h foi registrado 28.500mm de chuva
 20/11/2023 às 4h foi registrado 28.500mm de chuva
 20/11/2023 às 5h foi registrado 28.500mm de chuva
 20/11/2023 às 1h foi registrado 56.400mm de chuva
 21/11/2023 às 2h foi registrado 56.400mm de chuva
 21/11/2023 às 3h foi registrado 56.700mm de chuva
 21/11/2023 às 4h foi registrado 56.700mm de chuva
 21/11/2023 às 5h foi registrado 56.400mm de chuva
 22/11/2023 às 1h foi registrado 81.900mm de chuva
 22/11/2023 às 2h foi registrado 81.900mm de chuva
 22/11/2023 às 3h foi registrado 81.900mm de chuva
 22/11/2023 às 4h foi registrado 81.900mm de chuva
 22/11/2023 às 5h foi registrado 80.700mm de chuva

Figura 14. Dados coletados pela interface do sistema.

A análise quantitativa apresentada na Tabela 1 revela uma correlação entre a intensidade da chuva e o percentual de erro nas medições. À medida que a intensidade da chuva aumenta, observa-se também um aumento no erro de medição.

Tabela 1 - Análise dos erros percentuais do instrumento.

	Média das leituras (mm/h)	Limite de erro aleatório confiança de 95%	Erro sistemático	Erro total do instrumento	Erro relativo total
Vazão de 30mm/h	28,6	0,29	1,4	1,5	5%
Vazão de 60mm/h	56,5	0,33	3,5	3,5	6%
Vazão de 90mm/h	81,9	0,18	8,1	8,1	9%

Esses resultados corroboram estudos anteriores, como os de Alena et al. (1990), Marsalek (1981) e da Organização Meteorológica Mundial (1983), que atribuem essa discrepância à limitação mecânica da balsa em se reposicionar rapidamente após alternar a posição. Essa limitação leva à subestimação do volume real de chuva em eventos com altas intensidades.

Complementando a análise do sistema, o gráfico da Figura 15 apresenta os resultados do circuito RC utilizado para estimar a carga da bateria. O gráfico relaciona a carga da bateria com o tempo demandado para a porta digital do ESP8266 detectar o sinal "high" após o início do carregamento do capacitor.

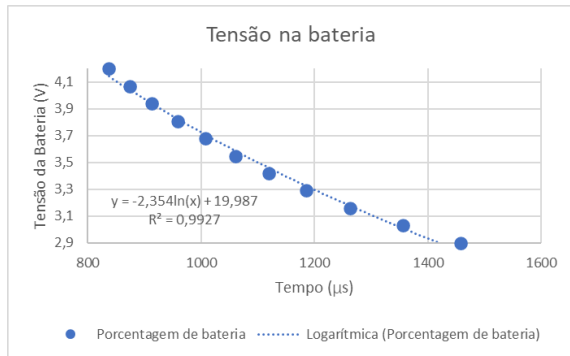


Figura 15. Dados experimentais do tempo de detecção de sinal high pelo ESP8266 com base na tensão de alimentação do circuito RC.

Essa análise permitiu estabelecer uma relação entre a média dos tempos de cinco ensaios e a tensão da bateria simulada na fonte. A função resultante oferece uma estimativa da tensão da bateria em função do tempo de carregamento e foi expressa pela Equação 1:

$$V(t) = -2,354 \ln(t) + 19,987 \quad (1)$$

Onde V é a tensão da bateria e t o tempo em microssegundos.

Embora o sistema de medição da carga da bateria não seja o foco principal do projeto, ele ofereceu uma visão valiosa sobre o comportamento da bateria ao longo do tempo.

Para facilitar a integração de sensores e a alimentação do sistema, o projeto conta com conectores estrategicamente posicionados. A área "A" da Figura 16 destaca o conector fêmea para o sensor DHT22, enquanto a área "B" apresenta o conector P2 fêmea para a conexão de sensores analógicos externos, ampliando as capacidades de monitoramento do dispositivo. A área "C" indica a entrada do conector para o painel solar, responsável por fornecer energia ao sistema.

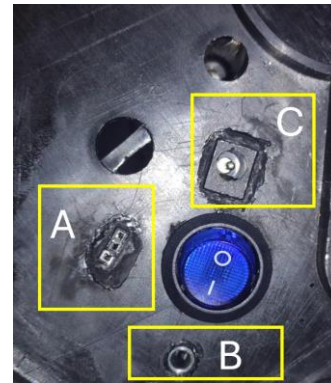


Figura 16. Disposição das conexões.

O sistema de monitoramento climático desenvolvido conta com uma interface de usuário acessível por meio de qualquer navegador web, conforme Figura 17, permitindo a visualização e o download dos dados coletados. A interface oferece opções de filtragem por data, possibilitando a análise de registros específicos de chuva, leituras do sensor DHT22, status da bateria e informações do sensor analógico opcional.



Figura 17. Interface: Página principal.

Após o desenvolvimento da interface e a construção do circuito, todos os componentes foram integrados à carcaça do equipamento, resultando em um sistema compacto e funcional para monitoramento climático. A integração foi finalizada com a instalação de um cap de 60mm de diâmetro, conforme ilustrado na Figura 18.



Figura 18 - Protótipo finalizado.

CONCLUSÃO

Em síntese, o sistema desenvolvido integrou com sucesso um microcontrolador para interpretar os pulsos do reed switch, garantindo medições precisas de precipitação. Além disso, a capacidade de integrar sensores adicionais aumentou a versatilidade do sistema.

A implementação de um servidor web no ESP8266 permitiu a fácil visualização e exportação dos dados coletados, além de suportar informações provenientes dos sensores adicionais. Os testes realizados em um ambiente controlado validaram a precisão do sistema, revelando um erro aceitável de 5% para chuvas de 30mm/h, 6% para 60mm/h e 9% para 90mm/h.

Com todos os objetivos alcançados, incluindo a integração eficaz de sensores adicionais, este projeto destaca a viabilidade de modernizar pluviômetros antigos de forma econômica e versátil. A expectativa é que o procedimento apresentado neste trabalho seja uma alternativa para recondicionar e modernizar pluviômetros sem comprometer a precisão e eficiência com versatilidade a um custo acessível.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Prototipagem de Sistemas Embarcados – LAPSE, ao Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva e ao Curso de Engenharia Ambiental da Unifal por ceder o instrumento utilizado neste estudo.

REFERÊNCIAS

- Alexander, Charles K. Fundamentos de circuitos elétricos. Porto Alegre: Amgh, 2013.
- Alena, T. R.; Appleton, J. S.; Serstad, W. H. Measurement accuracy enhancement of tipping bucket rain gauges at high rainfall rates. Preprints, Conf. on Operational Precipitation

Estimation and Prediction, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 16–111, 1990.

Ayoade, J. O. Introdução à Climatologia para os Trópicos. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 1996. 332 p.

Canevarollo, S. V., Jr. Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros (1st rep.). São Paulo: Artliber Editora, 2004.

De Oliveira, Samira Borba; Noronha, Tiago Baptista; Guimarães, Vinícius Tavares. Pluviômetro Automatizado de Código Aberto e Baixo Custo Utilizando a Plataforma Arduino. Revista Educar Mais, v. 3, n. 3, p. 70-76, 2019.

Espressif Systems. ESP8266: ESP8266EX. Shanghai: Espressif Systems, 2015. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Acesso em: 13 jul. 2023.

Grisson, F. et al. Desempenho de um pluviômetro digital em campo. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2017. p. 1-7.

Halliday, D.; Resnick, R.; Walker, J. Fundamentos de Física: Eletromagnetismo. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, [Ano de publicação]. vol. 3.

Humphrey, M. D.; Istok, J. D.; Lee, J. Y.; Hevesi, J. A.; Flint, A. L. A New Method for Automated Dynamic Calibration of Tipping-Bucket Rain Gauges. American Meteorological Society, 1997.

Kiehne, Heinz Albert. Battery technology handbook. CRC Press, 2003.

Mansano, V. M. et al. Calibração de pluviômetros de balança: metodologia para análise e correção de dados de campo. Calibration of tipping bucket rainfall gauges: a methodology for field data analysis and correction. In: XV Safety, Health and Environment World Congress. 2015. p. 19-22.

Marselek, J. Calibration of the tipping-bucket raingage. J. Hydrol., 53, 343–354, 1981.

Mehta, M. ESP8266: A Breakthrough in wireless sensor networks and internet of things. International Journal of Electronics and Communication Engineering & Technology, v. 6, n. 8, p. 7-11, 2015.

Quinde Pisco, Germán Kevin; Junco Vaca, Steven Israel. Desarrollo de un prototipo para la predicción de lluvias por medio de un pluviómetro con sistema de pesaje. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y



Físicas. Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Sanches, Rafael Grecco et al. Proposta de pluviômetro de baixo custo utilizando a plataforma de prototipagem Arduino. Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento, v. 1, p. 2024-2035, 2017.

Sevruk, Boris; Klemm, S. Catalogue of national standard precipitation gauges. World Meteorological Organization, 1989.

SILVA, Marcel; FRUETT, Fabiano. Monitoramento Ambiental através de Rede de Sensores Sem Fio de Baixo Custo. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, INPE, 2013.

SODERGARD, A. Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. Progress in polymer Science, p. 1123-1163, 2000.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. Sensores industriais: fundamentos e aplicações. 5. ed. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.

TINKERCAD. Tinkercad | From mind to design in minutes. Disponível em: <https://www.tinkercad.com/dashboard>.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia, Versão Digital 2. Recife, PE: INMET, 2006. 463 p.

Vuolo, J. H. Teoria dos Erros. [Local de publicação]: [Editora], 1996.

World Meteorological Organization. Guide to meteorological instruments and methods of observation. 5th ed. Geneva, Switzerland, 1983.

WMO - World Meteorological Organization. Annual report of the world meteorological organization. Genebra, Suíça: Wmo, 1985. 230 p

WMO - World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Genebra, Suíça: Wmo, 2008. 681p.