

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**LORENNNA WISNIEWSKI PELETTI**

**EXPERIÊNCIA COM A UTILIZAÇÃO DE PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO  
METEOROLÓGICA ALTERNATIVA**

**CURITIBA**

**2020**

**LORENNNA WISNIEWSKI PELETTI**

**EXPERIÊNCIA COM A UTILIZAÇÃO DE PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO  
METEOROLÓGICA ALTERNATIVA**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo no curso de graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

**CURITIBA**

**2020**

**TERMO DE APROVAÇÃO****LORENNNA WISNIEWSKI PELETTI****EXPERIÊNCIA COM A UTILIZAÇÃO DE PROTÓTIPO DE ESTAÇÃO  
METEOROLÓGICA ALTERNATIVA**

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo no curso de graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:



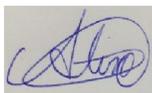
---

Orientador Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza  
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola  
Setor de Ciências Agrárias



---

Doutoranda: M.Sc. Stefanie Lais Kreutz Rosa  
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola  
Setor de Ciências Agrárias



---

Doutoranda: M.Sc. Aline Aparecida do Santos  
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola  
Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 11 de setembro de 2020

## DEDICATÓRIA

*“A distância mais longa a ser percorrida é aquela entre a cabeça e o coração”*

Thomas Merton

Dedico este trabalho de conclusão de curso à minha família, aos meus amigos e a todos que amo e que, ao longo desse caminho, me ajudaram e incentivaram de alguma forma a chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

- Em especial agradeço à Deus por abençoar cada passo dessa caminhada;
- Agradeço à Universidade Federal do Paraná, que me proporcionou esse aprendizado e um curso de graduação de alto nível;
- Agradeço à Coordenação do Curso de Engenharia Agrônômica, pelo apoio ao decorrer de toda a trajetória e o sucessível desejo de sempre atender da melhor maneira todos os alunos;
- Agradeço ao meu orientador, Prof. Jorge Luiz Moretti de Souza, por todo o apoio, orientação e disponibilidade para a realização desse trabalho;
- Agradeço aos colegas do Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA), em especial à Stefanie Lais Kreutz Rosa e Denis Pinheiro da Silva, pela ajuda e apoio no desenvolvimento deste trabalho;
- Agradeço aos meus amigos Bruna Filter, Giovana Moretti, James Yu, João Pedro e Priscila Chek pelo companheirismo, sempre me apoiando e que deixaram essa caminhada muito mais leve;
- Agradeço a minha família, meus pais, Marcia Peletti e Jaime Peletti, que estiveram sempre presentes, me amparando e dando suporte nos momentos mais difíceis durante essa jornada e toda a minha vida;
- Por fim agradeço a todos aqueles que me ajudaram, incentivaram e de alguma maneira contribuíram para essa conquista.

## RESUMO

Realizou-se inicialmente no presente trabalho uma revisão bibliográfica sobre Estações Meteorológicas de Superfície (EMS) e Alternativas, bem como o processo de calibração e validação destes sistemas. Também foi descrito e testada a funcionalidade e confiabilidade de dois protótipos de Estação Meteorológica Alternativa, desenvolvidos para finalidades didáticas e científicas. Um manual didático/explicativo foi desenvolvido com a finalidade de auxiliar usuários dos protótipos. Por fim, foi realizado um teste de calibração e validação da Estação Meteorológica Alternativa considerando as variáveis climáticas temperatura ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ) do ar, na cidade de Curitiba, Estado do Paraná. Para calibração da estação foram utilizados os dados medidos entre 31/10/2019 e 05/11/2019, e para a validação foram utilizados dados medidos entre 05/11/2019 e 11/11/2019. Para comparação dos valores de  $T$  e  $UR$  medidos nas estações Automática e Alternativa foram realizadas análises de regressão linear e avaliado a raiz quadrada do erro quadrado médio ( $RMSE$ ), coeficiente determinação ( $R^2$ ) e índice de concordância (" $d$ "). Os resultados indicaram que Estações Convencionais podem ser substituídas por Automáticas, e em situações especiais essas podem ser substituídas por Estações Alternativas, que têm custo muito inferior. O desenvolvimento de uma Estação Alternativa não é simples, requerendo conhecimento na área, empresas confiáveis e materiais de qualidade. O processo de calibração e validação indicou boa correlação entre as associações nas leituras das variáveis medidas. Entretanto, os resultados não devem ser extrapolados para meses não analisados ou períodos maiores, como sazonais ou anuais.

Palavras-chave: Métodos alternativos. Dados meteorológicos. Calibração. Validação.

## ABSTRACT

A bibliographic review on Surface Meteorological Stations (EMS) and Alternatives, as well as the calibration and validation process of these systems, were initially carried out in the present study. It was also described and tested the functionality and reliability of two prototypes of Alternative Meteorological Station, developed for didactic and scientific purposes. A didactic/explanatory manual was developed to help users of the prototypes. Finally, a calibration and validation test of an Alternative Meteorological Station was carried out considering the climatic variables temperature ( $T$ ) and relative humidity ( $UR$ ) of the air, in the city of Curitiba, Paraná State. Data measured on October 31, 2019 to November 5, 2019 was used for calibration of the Alternative Station, and data measured on November 5, 2019 to November 11, 2019 was used for its validation. The values of  $T$  and  $UR$  measured at the Automatic and Alternative Stations were compare in linear regression analyzes and evaluated with the square root of the mean square error ( $RMSE$ ), determination coefficient ( $R^2$ ) and agreement index (" $d$ "). The results indicated that Conventional Stations can be replaced by Automatic Stations, and in special situations these last ones can be replaced by Alternative Stations, which have a much lower cost. The development of an Alternative Station is not simple, requiring knowledge in the area, reliable companies and quality materials. The calibration and validation process indicated good correlation between associations in the readings of the measured variables. However, results should not be extrapolated to months not analyzed or longer periods, such as seasonal or annual.

**Keywords:** Alternative methods. Meteorological data. Calibration. Validation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

		Página
FIGURA 1	ESQUEMA ELÉTRICO DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA DESENVOLVIDA PELA EMPRESA DE ENGENHARIA, CONTENDO ENTRADA USB, MICROCONTROLADOR MSP, REGULADOR DE TENSÃO, CAPACITORES, RESISTORES E SENSORES BMP180 E DHT22.....	11
FIGURA 2	ESQUEMA DA PLACA DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA DESENVOLVIDA PELA EMPRESA DE ENGENHARIA, CONTENDO ENTRADA USB, MICROCONTROLADOR MSP, REGULADOR DE TENSÃO, CAPACITORES, RESISTORES E SENSORES BMP180 E DHT22 .....	11
FIGURA 3	VISTA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS: a) ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DO SIMEPAR; E, b) ESTAÇÃO AUTOMÁTICA ALTERNATIVA TESTADA .....	13
FIGURA 4	VISTA EXTERNA E INTERNA DA ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DO PROTÓTIPO .....	14
FIGURA 5	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR E RESPECTIVOS COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ( $R^2$ ), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO PARA A TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, MEDIDOS NAS ESTAÇÕES ALTERNATIVA E AUTOMÁTICA, SENDO: a) $T_{\text{Estação Alternativa}}$ VS $T_{\text{padrão (Estação automática SIMEPAR)}}$ ; e, b) $UR_{\text{Estação Alternativa}}$ VS $UR_{\text{padrão (Estação automática SIMEPAR)}}$ .....	21
FIGURA 6	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR E RESPECTIVOS COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ( $R^2$ ), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ( $RMSE$ ) E ÍNDICE “d”, OBTIDOS NA VALIDAÇÃO PARA A TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, MEDIDOS NAS ESTAÇÕES ALTERNATIVA E AUTOMÁTICA, SENDO: a) $T_{\text{Padrão (Calibrado)}}$ VS $T_{\text{Padrão (Estação automática SIMEPAR)}}$ ; E, b) $UR_{\text{Padrão (Calibrado)}}$ VS $UR_{\text{Padrão (Estação automática SIMEPAR)}}$ .....	23
FIGURA A1.1	EXIBIÇÃO DO MENU DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA .....	30
FIGURA A1.2	EXIBIÇÃO DOS SENSORES EM TEMPO REAL .....	30
FIGURA A1.3	EXIBIÇÃO DO <i>CONTEINER</i> DE DADOS .....	31
FIGURA A1.4	EXIBIÇÃO DAS OPÇÕES .....	31
FIGURA A1.5	ESQUEMA ELÉTRICO DO EQUIPAMENTO .....	33
FIGURA A1.6	ESQUEMA DA PLACA DO EQUIPAMENTO .....	33
FIGURA A1.7	EXIBIÇÃO DA CONEXÃO AO WI-FI ESTUFA .....	34
FIGURA A1.8	EXIBIÇÃO DA CONEXÃO AO NAVEGADOR .....	34
FIGURA A1.9	LIMPEZA DOS DADOS DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA .....	35
FIGURA A1.10	SELEÇÃO DO TEMPO DE AMOSTRAGEM .....	35
FIGURA A1.11	EXEMPLO DE COLETA DE DADOS .....	36
FIGURA A1.12	EXEMPLO DO ARQUIVO DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA .....	37

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Estações Meteorológicas de Superfície (EMS) .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Estações meteorológicas alternativas .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3</b>	<b>Processo de calibração e validação das estações alternativas...</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Aferições estatísticas da calibração e validação .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO, FUNCIONALIDADE E CONFIABILIDADE DE PROTÓTIPOS DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ALTERNATIVA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição do protótipo da estação alternativa desenvolvida .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Local, instalação e coleta dos dados com a estação alternativa.</b>	<b>12</b>
<b>3.3</b>	<b>Funcionalidade e confiabilidade dos protótipos desenvolvidos .</b>	<b>14</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Testes com o Protótipo C-PR .....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Testes com o Protótipo M-BA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Considerações sobre os protótipos desenvolvidos e garantias da Empresa de Engenharia .....</b>	<b>16</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Considerações gerais sobre funcionalidade dos protótipos .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4</b>	<b>Manual e vídeo explicativo .....</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DE PROTÓTIPOS DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>Calibração do sistema .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2</b>	<b>Validação do sistema .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>26</b>
	<b>APÊNDICE 1 – MANUAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ALTERNATIVA .....</b>	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As estações meteorológicas medem variáveis que possibilitam o estudo do tempo e do clima. Assim, é possível obter registros de suas variações para o uso nas ações humanas em diferentes áreas, tais como a economia, agronomia, hidrologia, cultural, entre outros (VIANELLO, 2011).

Há diferentes tipos de estações meteorológicas de superfície (EMS), sendo as principais a Estação Meteorológica Convencional (EMC) e a Estação Meteorológica Automática (EMA). As duas possuem sensores de medição, diferindo-se em razão da EMA apresentar memória central integrada as medições de todos os aparelhos, permitindo que os dados sejam transmitidos para um banco de dados (INMET, 2011).

Com o avanço da tecnologia, cada vez mais está sendo utilizada a EMA em substituição às EMC, pois permite o armazenamento de dados meteorológicos por um período maior. Porém, há necessidade de estudos prévios para que a mudança seja feita de forma adequada, sem ocorrência de diferenças significativas nos valores medidos entre as duas estações (SCARPARE et al., 2006).

Embora as EMA's alcancem lugares mais inacessíveis e possuam melhor armazenamento de dados, seu custo e manutenção é maior (PEREIRA et al., 2008). Deste modo, pode-se utilizar alternativas mais econômicas para realizar a medida de variáveis climáticas, existem tecnologias simples e bem estruturadas para o desenvolvimento de sistemas economicamente acessíveis às condições brasileiras. Os sistemas alternativos também são capazes de avaliar a variabilidade do clima e tempo, possibilitando e facilitando tomadas de decisões quanto ao planejamento de uso de recursos hídricos e manejo do solo (SILVA et al., 2015).

É possível encontrar equipamentos e técnicas que atendam às peculiaridades das diferentes variações de tipos climáticos do Brasil, bem como viabilizar a coleta de dados climáticos em localidades distantes das estações convencionais e automáticas do sistema meteorológico brasileiro (JERSZURKI, 2016; BIER & FERRAZ, 2017).

Deste modo, o desenvolvimento de material didático/explicativo para o uso de estações meteorológicas experimentais alternativas simples e de baixo custo, como a apresentada no presente trabalho e por outros autores (FINHOLDT, 2008; SOUSA et al., 2015; SILVA et al., 2015; SOUSA et al., 2016; OLIVEIRA 2018; CUNHA, 2019), são importantes para a correta utilização e manutenção dos equipamentos. O entendimento de como é realizado o processo de calibração e validação das estações alternativas também é fundamental para permitir o uso adequado destes sistemas.

As atividades da Plataforma Moretti em conjunto com o Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA) / Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná, realiza estudos relacionados à Engenharia Agrícola. Dentre as atividades realizadas, tem-se testado alternativas de medida de dados climáticos que sirvam para pesquisas envolvendo relações hídricas, principalmente a estimativa da evapotranspiração.

Oliveira (2018), em estudo integrado à Plataforma Moretti, LAMOSA e Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, encomendou e acompanhou o desenvolvimento de uma Estação Alternativa visando testar possibilidades de medida de temperatura ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ) do ar, na periodicidade horária, com a finalidade de realizar estimativas de evapotranspiração de referência horária. Contudo, apesar de bons resultados obtidos após calibração e validação, o sistema apresentou problemas técnicos, havendo necessidade de sua substituição. Desta forma, um novo modelo de Estação Experimental Alternativa foi encomendado/desenvolvido, e testes iniciais do novo sistema precisam ser realizados, avaliando sua funcionalidade, confiabilidade, durabilidade, calibração e validação. Após a realização destes procedimentos acredita-se que a Estação Alternativa poderá ser utilizada em atividades de pesquisa, principalmente pelo Grupo de Pesquisa ligado à Plataforma Moretti, bem como por técnicos e profissionais do campo, para a obtenção dos dados de  $T$  e  $UR$  em tempo real e em diferentes espaços.

Conforme contexto apresentado teve-se por objetivo no presente trabalho:

- i)* Realizar uma revisão bibliográfica sobre estações meteorológicas, bem como sobre o processo de calibração e validação destes sistemas;
- ii)* Descrever e testar a funcionalidade e confiabilidade de dois protótipos de uma Estação Meteorológica Alternativa, desenvolvidos para finalidades didáticas e científicas, bem como desenvolver um manual didático/explicativo para o protótipo da Estação Meteorológica Alternativa testada no presente trabalho;
- iii)* Realizar um teste de calibração e validação do protótipo de Estação Meteorológica Alternativa, para as variáveis climáticas temperatura ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ) do ar, na cidade de Curitiba, Estado do Paraná.

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA) / Departamentos de Solos e Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Estado do Paraná (UFPR).

A realização das atividades no presente Trabalho de Conclusão de Curso tiveram como metas de aprendizado: *i)* Levantar e entender as opções para realizar as medidas de variáveis climáticas, principalmente  $T$  e  $UR$  em condição de superfície, bem como entender os processos matemáticos e estatísticos para avaliar as medidas de uma estação; *ii)* Testar a funcionalidade e confiabilidade de um protótipo de Estação Alternativa, bem como desenvolver um manual didático/explicativo para sua utilização; e, *iii)* Compreender como a calibração e validação de um aparelho é feita, mediante a realização e avaliação de um teste.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Estações Meteorológicas de Superfície (EMS)

A Organização Meteorológica Mundial (OMM) padroniza a metodologia de medição das características e condições imediatas da atmosfera, no que se refere aos horários de observação, tipo e manuseio de equipamentos, procedimentos de medição e transmissão, calibração e uso de dados referentes aos parâmetros meteorológicos analisados. Dessa forma, os dados podem ser comparados e analisados para se entender o estado e os processos atmosféricos (GALINA & VERONA, 2004).

Há dois tipos principais de Estações Meteorológicas de Superfície (EMS), sendo a Estação Meteorológica Convencional (EMC) e a Estação Meteorológica Automática (EMA) (INMET, 2011).

A EMC é constituída por diferentes aparelhos que medem separadamente a pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, entre outros. Deste modo, os dados são coletados manualmente e periodicamente, conforme tempo e horários estipulados, e enviados a um banco de dados (INMET, 2011).

Além dos mesmos sensores de medição que as EMC, a EMA tem uma memória central (*data logger*) que integra as aferições minuto a minuto de todos os aparelhos e às disponibiliza a cada hora em um banco de dados (INMET, 2011). Assim, como a coleta de dados é automatizada, uma das principais vantagens é o registro contínuo de todos os dados nos intervalos já programados anteriormente pelo usuário (GALINA & VERONA, 2004).

Com o avanço da tecnologia nos mais diversos campos, está ocorrendo à substituição gradativa de Estações Convencionais por Automáticas, que facilitam a amostragem dos dados além de viabilizar operações em locais de difícil acesso (STRASSBURGER et al., 2011).

Ainda que as Estações Automáticas promovam dados com melhor caracterização das condições meteorológicas, elas estão sujeitas a danos físicos devido ao tempo de uso. Assim, podem fornecer informações imprecisas

ou fragmentadas. Por isso, deve-se calibrar e homogeneizar criteriosamente as séries de dados obtidas (STRASSBURGER et al., 2011).

No trabalho realizado por Strassburger et al. (2011), na região do Rio Grande do Sul, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as medidas das temperaturas extremas do ar das Estações Meteorológicas Convencional e Automática, não ocasionando alterações na série de dados.

Almeida & Hermenegidio (2013) comparando dados de temperatura do ar, umidade relativa e precipitação pluvial, medidos em duas estações meteorológicas (convencional e automática) não encontraram diferenças estatísticas significativas. Conforme os autores, os resultados obtidos possibilitariam a substituição da EMC pela EMA, sem comprometimento das futuras coletas de dados, garantindo a continuidade da série histórica. Souza et al. (2003) também verificaram que as temperaturas máximas, médias e mínimas apresentaram boa associação entre os dados das EMC e EMA.

Em geral, há boa concordância entre os dados das estações convencionais e automáticas, principalmente entre temperaturas máxima e mínima. Assim, pode-se afirmar que se a substituição da EMC pela EMA não proporciona prejuízos nas medições (PEREIRA et al., 2008). Funari & Pereira Filho (2010) consideram que apesar de haver boa concordância de dados coletados em locais já estudados utilizando-se EMA e EMC, é necessária a análise individual para cada lugar em que se tenha interesse em fazer as substituições e troca dos equipamentos. Contudo, conforme Pereira et al. (2008), no Brasil a desativação de uma EMC não é viável, em virtude do elevado custo na manutenção dos aparelhos de medição de uma EMA.

Além da manutenção com peças e sensores de reposição, muitos deles importados, consertos em cercados, pintura e trocas de baterias também fazem com que o custo operacional de uma estação seja relativamente elevado. Há o custo de pessoal, despesas relativas às diárias, deslocamento e comunicação que, quando realizada por sistema Autotrak (via satélite), tem custo mensal de R\$ 700,00 por estação. O valor é significativamente reduzido quando o sistema é por telefonia celular, chegando a R\$ 250,00 por estação (INMET, 2011).

Deste modo, uma Estação Meteorológica Automática, que atenda a todos os parâmetros da OMM, sem avaliar os custos de manutenção, custaria no ano de 2018 em torno de \$ 3.900,00 (Três mil e novecentos dólares). Consequentemente, há um desestímulo na aquisição de EMA's, o que pode resultar em uso irracional de água, energia elétrica, e aumento dos problemas sociais e ambientais, por falta de informação (CUNHA, 2019).

Conforme Sousa et al. (2015), toda forma de simplificar o trabalho de pesquisa e ensino profissional com a utilização de uma EMA é importante, favorecendo a área da agrometeorologia e obtenção de dados em tempo real em qualquer local desejado.

Sensores eletrônicos possibilitam a utilização e aplicação dos dados quase que instantaneamente, uma vez que são obtidos de forma mais rápida e precisa, facilitando a tomada de decisões, sejam elas em relação ao manejo, zoneamento agrícola, aplicação de insumos, risco de incêndios e geadas, entre outras (SOUZA et al., 2003).

## **2.2 Estações meteorológicas alternativas**

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica que hoje são medidos em EMC e EMA, também podem ser obtidos em Estações Meteorológicas Alternativas.

Com a limitação de dados meteorológicos verificados em algumas regiões brasileiras e a dificuldade na compreensão dos valores já disponíveis (CUNHA & VECCHIA, 2007), as Estações Alternativas utilizadas em algumas pesquisas (FINHOLDT, 2008; SOUSA et al., 2015; SILVA et al., 2015; SILVA et al., 2016; SOUSA et al., 2016; OLIVEIRA, 2018; CUNHA, 2019) são meios que permitem obter resultados confiáveis. São sistemas que possibilitam difundir informações meteorológicas com equipamentos simples, seguros e que podem analisar as variações climáticas, sendo viáveis de ser utilizadas como fonte de coleta oficial de dados.

Finholdt (2008), Sousa et al. (2015), Silva et al. (2016) e Cunha (2019), utilizando Estações Alternativas conseguiram reduzir custos de suas

construções, quando comparadas as EMA's. Os equipamentos mais baratos não comprometeram a qualidade dos dados coletados e ainda permitiram ampla utilização na agricultura.

O uso de uma estação meteorológica alternativa proporciona valores próximos aos reais, além de serem menos complexas na manipulação e operação, o que auxilia no processo de coleta dos dados meteorológicos (FINHOLDT, 2008). Cunha (2019) desenvolveu uma Estação Meteorológica Alternativa, incluindo um sistema embarcado para o manejo de irrigação. O sistema mostrou-se confiável e eficiente, podendo ser uma alternativa viável para a automação devido a sua simplicidade de uso, além de contribuir para uma agricultura mais sustentável, reduzindo a utilização da energia elétrica pelos agricultores que a utilizarem.

Finholdt (2008), Cunha (2019) e Silva et al. (2015) consideram que o desenvolvimento de Estação Alternativa gera conhecimento, e os equipamentos construídos no próprio país proporcionam autonomia tecnológica, bem como possibilitam o uso diversificado das estações com outras finalidades na propriedade, na área de engenharia rural. O desenvolvimento dos sistemas permite a escolha e uso de sensores e medidas apenas das variáveis climáticas de interesse, inclusive com a possibilidade de melhorar a precisão e reduzir custos, aprimorando a descrição dos processos físicos responsáveis pela geração de eventos extremos.

### **2.3 Processo de calibração e validação das estações alternativas**

A calibração se define como um processo para estimar parâmetros de entrada de um modelo (físico ou matemático) para se obter correspondência entre a estrutura e comportamentos do que foi simulado e observado. Tenta vincular os resultados do modelo aos resultados da medição em campo. Deste modo, a calibração destina-se a ajustar as equações do modelo e os seus parâmetros para se adequarem aos valores observados. Um equipamento é considerado calibrado quando seus resultados representam, de forma próxima a realidade, o processo pretendido (OLIVA, 2003; LOPES, 2005).

A validação está interligada ao processo de calibração, em que se compara os resultados do modelo calibrado para realizar estudos em uma nova série de dados de ensaios laboratoriais ou observados a campo, que não foram utilizados na calibração do modelo (LOPES, 2005). Assim, pode ser verificado se o modelo representa e analisa de forma real o processo para qual foi modelado. Oliva (2003) considera que a validação é um teste de confiança de uma teoria.

A calibração e validação são extremamente importantes para assegurar a confiabilidade de uma estação meteorológica. São etapas realizadas para evitar possíveis erros que comprometam resultados de pesquisas, disfunções em relação à acurácia de sensores, falhas de transmissão e incerteza dos valores, respondendo adequadamente às variações dos fenômenos meteorológicos (FINHOLDT, 2008).

As aferições com as Estações Alternativas geralmente envolvem o levantamento dos dados, com a realização de gráficos e análises de regressão linear entre os valores medidos com metodologia “alternativa vs padrão”, nos processos de calibração e validação. As calibrações geralmente resultam equações de correção, que são utilizadas posteriormente na validação.

### 2.3.1 Aferições estatísticas da calibração e validação

As técnicas mais utilizadas para avaliar o desempenho do modelo na calibração e validação incluem raiz quadrada do erro quadrático médio (*RMSE*), os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) ou correlação de Pearson ( $r$ ), e índice de concordância “*d*” de Willmott (1982) (SOUZA, 2018).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{a_i})^2}$$

$$R^2 = \frac{\{\sum_{i=1}^n [(Y_{p_i} - \bar{Y}_p) \cdot (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)]\}^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - \bar{Y}_p)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)^2}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ai} - Y_{pi})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|Y_{ai} - \bar{Y}_p| \cdot |Y_{pi} - \bar{Y}_p|)^2}}$$

Sendo:  $RMSE$  – raiz quadrada do erro quadrado médio (unidade da variável estudada);  $R^2$  – coeficiente de determinação (adimensional);  $d$  – índice “ $d$ ” de Willmott et al. (1982) (adimensional);  $Y_{pi}$  –  $i$ -ésimo valor da variável estudada, obtidos com o método padrão (Estação Automática SIMEPAR) no período analisado (unidade da variável estudada);  $\bar{Y}_p$  – média dos valores da variável estudada, obtidos com o método padrão (Estação Automática SIMEPAR) no período analisados (unidade da variável estudada);  $Y_{ai}$  –  $i$ -ésimo valor da variável estudada, obtida com o método alternativo (Estação Alternativa) no período analisado (unidade da variável estudada);  $\bar{Y}_a$  – média dos valores da variável estudada, obtidos com o método alternativo (Estação Alternativa) para o período analisado (unidade da variável estudada);  $n$  – número de períodos analisados (adimensional).

Conforme Cunha (2018), o  $RMSE$  dá acurácia dos resultados numéricos, com a vantagem de apresentar os valores do erro nas mesmas dimensões da variável analisada. O  $R^2$  quantifica o quanto o modelo alternativo consegue explicar os valores observados. A raiz quadrada do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é denominada coeficiente de correção ( $r$ ), e quantifica a direção e a associação entre as variáveis em um diagrama de dispersão. E o índice “ $d$ ” indica a precisão dos valores estimados em relação aos valores observados e estimados.

### **3 DESCRIÇÃO, FUNCIONALIDADE E CONFIABILIDADE DE PROTOTIPOS DE ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ALTERNATIVA**

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Modelagem dos Sistemas Agrícolas (LAMOSA), localizado no Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Estado do Paraná (UFPR).

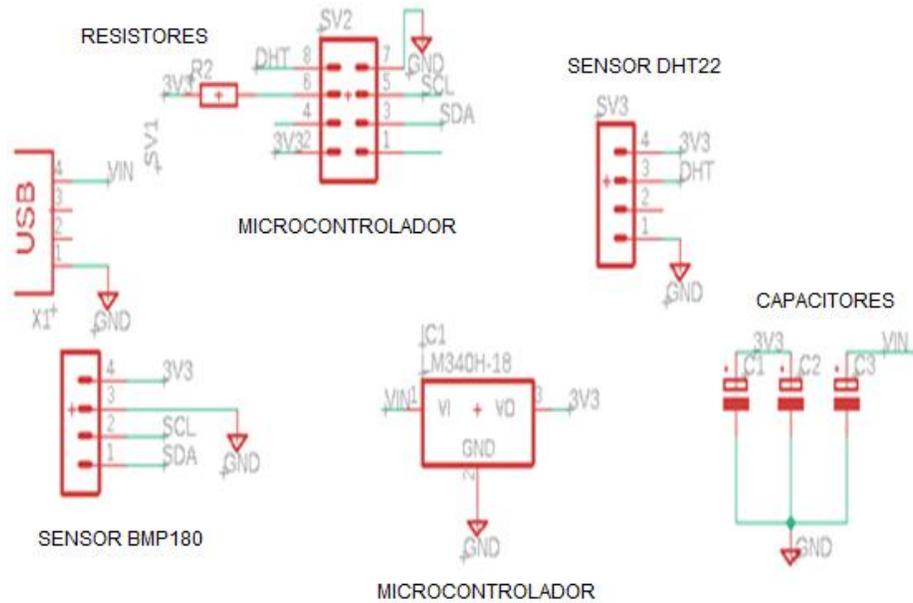
#### **3.1 Descrição dos protótipos da estação alternativa desenvolvida**

Os dois protótipos de estação alternativa são iguais em sistema/estrutura e foram desenvolvidos por uma Empresa de Engenharia Elétrica situada em Curitiba, no Estado do Paraná, os quais foram testados quanto funcionalidade e qualidade de dados obtidos. Um aparelho ficou em Curitiba-PR para ser testado e avaliado em temperaturas mais baixa e alta umidade relativa do ar (identificado por Protótipo C-PR), e outro foi levado para Mansidão-BA, para ser testado em temperaturas mais altas e baixa umidade relativa do ar (identificado por Protótipo M-BA). No presente trabalho os testes foram realizados na cidade de Curitiba-PR, tendo clima *Cfb* segundo a classificação de Köppen e Geiger, temperatura média de 17,1 °C e média anual de pluviosidade de 1390 mm.

Os equipamentos foram construídos com a utilização de sensores de temperatura, pressão, umidade relativa e um microcontrolador MSP (que tem por finalidade a interpretação e conversão das grandezas elétricas para a grandeza desejada). O sensor BMP180 é responsável pelas leituras de pressão atmosférica, e o sensor DTH22 realiza leituras de temperatura e umidade relativa do ar (FIGURAS 1 e 2), sendo as duas últimas variáveis avaliadas no presente estudo.

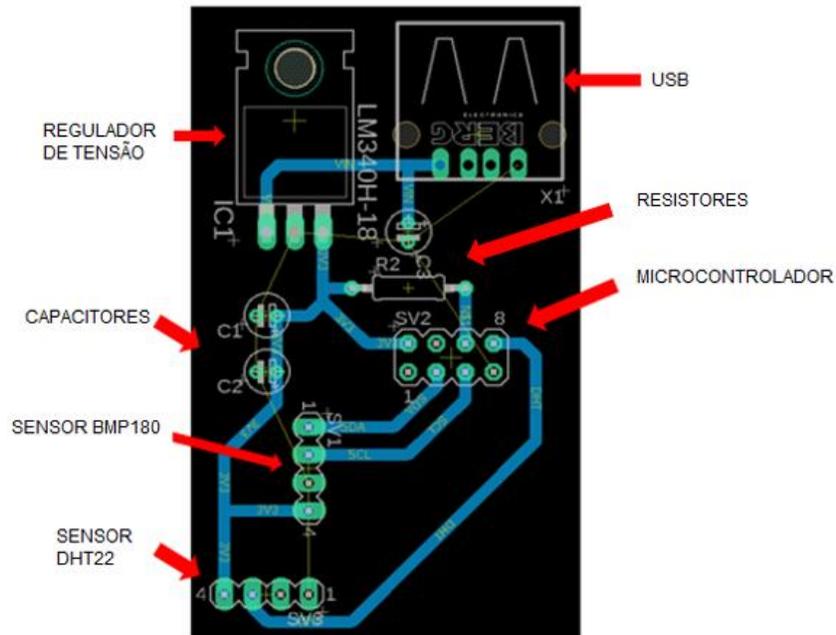
Os protótipos apresentam um envoltório plástico com as dimensões de 10 x 7 x 6 cm. Também possuem furos para auxiliar na entrada de ar, permitindo a ventilação dos sensores para leituras mais precisas.

FIGURA 1 – ESQUEMA ELÉTRICO DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA DESENVOLVIDA PELA EMPRESA DE ENGENHARIA, CONTENDO ENTRADA USB, MICROCONTROLADOR MSP, REGULADOR DE TENSÃO, CAPACITORES, RESISTORES E SENSORES BMP180 E DHT22



FONTE: A autora (2020)

FIGURA 2 – ESQUEMA DA PLACA DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA DESENVOLVIDA PELA EMPRESA DE ENGENHARIA, CONTENDO ENTRADA USB, MICROCONTROLADOR MSP, REGULADOR DE TENSÃO, CAPACITORES, RESISTORES E SENSORES BMP180 E DHT22



FONTE: A autora (2020)

O sensor BMP180 apresenta amplitude de leitura da temperatura entre  $-40$  e  $+85$  °C, com a acurácia de 0 a 65 °C, e precisão de  $\pm 2$  °C. O sensor também apresenta amplitude de leitura de pressão entre 300 e 1100 hPa, e precisão de 0,03 hPa. Apresenta comunicação I2C, com tensão de alimentação de 5 V e baixo consumo de energia (BOSH, 2015).

O DHT22 utiliza um sensor capacitivo de umidade e termistor para medir o ar circundante, ambos conectados a um controlador, gerando um sinal digital. Apresenta amplitude de leitura entre  $-40$  e  $+80$  °C para a temperatura, e entre 0 e 100% para umidade relativa do ar, com precisão de  $\pm 0,5$  °C para temperatura e  $\pm 2\%$  para umidade relativa do ar (AOSONG ELECTRONICS, 2020).

O modulo ESP8266, consistindo em um chip que possui Wi-Fi, foi utilizado para viabilizar a ligação com diversos dispositivos. A programação da Estação Alternativa foi feita nas linguagens C++(40%), Javascript (30%), Css (20%) e HTML (10%). Para auxílio do usuário nas verificações, um sensor led vermelho indica o funcionamento dos sensores, e um sensor de led azul o funcionamento do Wi-Fi do microcontrolador da Estação Alternativa.

### **3.2 Local, instalação e coleta dos dados com a estação alternativa**

O protótipo C-PR foi instalado no campus Centro Politécnico, pertencente à Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba-PR, com as coordenadas  $25^{\circ} 26' 55''$  S de latitude,  $49^{\circ} 13' 50''$  W de longitude e 923 m de altitude. O espaço físico é o mesmo destinado a Estação Meteorológica Automática localizada no Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR, FIGURA 3), responsável por coletar e distribuir dados oficialmente de umidade e temperatura, entre outros.

A Estação Meteorológica Automática do SIMEPAR (FIGURA 3a) utiliza o sensor Pt100 para a medida da temperatura do ar, e a umidade do ar é feita por uma medida de tensão. Os sensores são fixados em um mastro metálico com 10 metros de altura, aterrado eletricamente (malha de cobre) e protegido por para-raios (INMET, 2011).

FIGURA 3 – VISTA DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS: a) ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DO SIMEPAR; E, b) ESTAÇÃO AUTOMÁTICA ALTERNATIVA TESTADA



FONTE: A autora (2020)

Tomou-se todos os cuidados e procedimentos para que a Estação Alternativa (FIGURA 3b) operasse nas mesmas condições físicas, meteorológicas e climáticas que a Estação Meteorológica Automática oficial do SIMEPAR, permitindo que ambas as estações operassem em situações similares.

Na instalação do protótipo da Estação Alternativa foi tomado o cuidado para que os sensores ficassem dispostos em estrutura que permitisse a circulação de ar, porém protegidos da exposição direta ao sol e chuva para não comprometer nem danificar o aparelho. Dessa forma, a Estação Alternativa foi posta dentro do abrigo meteorológico da Estação Convencional do SIMEPAR (FIGURA 4).

FIGURA 4 – VISTA EXTERNA E INTERNA DA ESTRUTURA DE PROTEÇÃO DO PROTÓTIPO



FONTE: A autora (2020)

### 3.3 Funcionalidade e confiabilidade dos protótipos desenvolvidos

Infelizmente, os testes para verificar a funcionalidade e confiabilidade dos dois protótipos (C-PR e M-BA) de Estação Meteorológica Alternativa desenvolvida pela Empresa de Engenharia Elétrica não levaram a resultados satisfatórios e consistentes. Os itens dispostos a seguir tentam evidenciar os vários aspectos ocorridos nos testes dos protótipos, que foram muito interessantes como aprendizado e servem de exemplo para ilustrar problemas que podem resultar no desenvolvimento de um equipamento.

#### 3.3.1 Testes com o Protótipo C-PR

Antes mesmo de instalar o Protótipo C-PR, desenvolvido e construído pela Empresa de Engenharia contratada, verificou-se falha durante um teste, em que o aparelho não conseguiu realizar conexão ao Wi-Fi e, conseqüentemente, não obteve as leituras.

Após a Empresa fazer a troca do componente (um microcontrolador), foi possível realizar as leituras ao lado da estação meteorológica do SIMEPAR. O Protótipo C-PR foi deixado por um período de três dias para teste e obtenção das medições.

Dentre os períodos de leitura disponibilizados pelo aparelho, selecionou-se o intervalo de um minuto, o que deveria ter resultado em cerca de 4320 leituras durante o período de três dias. Contudo, no descarregamento dos dados, constatou-se a existência de um pouco mais de 1000 leituras. Como o arquivo não apresentou a hora em que foi feita a medição, não foi possível diagnosticar se as leituras foram feitas em um minuto ou se houve troca não intencional e automática do *software* para um tempo de amostragem maior.

Após a constatação do problema referente a periodicidade das leituras, tentou-se realizá-las novamente para um intervalo de tempo diferente do inicial (minuto a minuto). Assim, adotou-se o intervalo de quinze minutos, mas o problema persistiu e a conexão da estação com o Wi-Fi falhou novamente. Constatados os problemas, a Empresa de Engenharia realizou novamente a troca dos componentes (microcontrolador) e fez a reposição com novos sensores. As modificações não possibilitaram conexão do Wi-Fi e, conseqüentemente, impossibilitaram a obtenção dos dados.

### **3.3.2 Testes com o Protótipo M-BA**

Com os problemas encontrados no protótipo C-PR, foram feitos novos testes, trazendo o Protótipo M-BA via correio para Curitiba-PR.

O Protótipo M-BA em um teste inicial após a sua chegada em Curitiba-PR não funcionou. Após algumas verificações, constatou-se que no transporte o sensor no aparelho se desencaixou. Percebido o problema e realizado o encaixe do sensor o protótipo M-BA voltou a funcionar. Contudo ficou evidenciado outro tipo de fragilidade do sistema, posto que seu funcionamento não deveria ser afetado mediante a realização de um simples transporte. O aparelho deveria ter sido projetado para suportar condições adversas de transporte e de campo, e deveria suportar impactos e quedas.

Depois de verificado previamente o funcionamento, atestada a conexão ao Wi-Fi e a leitura dos dados, o Protótipo M-BA foi instalado novamente próximo à estação do SIMEPAR para medição de dados de temperatura ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ) do ar, com a finalidade de realizar posteriormente calibração e validação do aparelho. Entretanto, após uma semana de uso, foram retirados os dados do Protótipo M-BA e verificou-se que somente cerca de dez medições de  $T$  e  $UR$  do ar foram realizadas. Houve algum erro nos sensores de  $T$  e  $UR$ , pois o sensor de pressão continuou funcionando. Acredita-se que ocorreu queda de energia no local, o que pode ter proporcionado o problema do sensor de  $T$  e  $UR$ , impossibilitando a realização da leitura das medições.

Em uma tentativa de solucionar o problema, conforme instruções da Empresa de Engenharia Elétrica, realizou-se a remoção e recolocação do sensor, o que fez com que o aparelho voltasse a funcionar por um breve momento. Entretanto, quando foi posto novamente dentro do abrigo meteorológico, o aparelho não conectou com o Wi-Fi e não armazenou mais os dados. O problema foi notificado à Empresa que desenvolveu o aparelho, mas descompromissos da Empresa em cumprir as garantias tratadas no início da realização do sistema ocorreram, e não foi possível continuar os testes com o novo Protótipo que estavam sendo testados.

Diante do relato apresentado, ficou evidenciado também mais um tipo de fragilidade do sistema desenvolvido pela Empresa, pois seu funcionamento deveria suportar pequenas oscilações de tensão na rede de energia elétrica.

### **3.3.3 Considerações sobre os protótipos desenvolvidos e garantias da Empresa de Engenharia**

Conforme relatos dispostos no “Item 3.3.1 e 3.3.2” verifica-se que os protótipos da Estação Alternativa desenvolvidos pela Empresa de Engenharia não funcionaram adequadamente.

Sem identificar o verdadeiro problema da Estação Alternativa Desenvolvida, a Empresa de Engenharia considerou que o ideal seria refazer o projeto como um todo. Sem dar as devidas garantias, o custo do desenvolvimento da Estação Alternativa com a participação da Empresa de Engenharia tornou-se inviável, principalmente quando considerado toda a perda de tempo e mão de obra com tantos erros e substituições de peças promovidos pela Empresa.

Um levantamento realizado visando a comparação do preço das estações disponíveis no mercado indicou que o sistema mais caro e mais barato apresentaram diferença de aproximadamente R\$ 11000,00.

O modelo de Estação Meteorológica mais barata, comercializado por uma empresa identificada no presente estudo como “Empresa X”, custa no mercado R\$ 1897,50. O sistema permite a medições de temperaturas (em ambiente interno e externo), a pressão atmosférica, umidade do ar, direção e velocidade do vento, índice pluviométrico, sensação térmica, ponto de orvalho entre outras informações que podem ser registradas por uma conexão USB.

O modelo de Estação Meteorológica mais caro, comercializado por uma empresa identificada no presente estudo como “Empresa Y”, pode chegar ao valor de R\$ 13000,00. O sistema mede a temperatura e umidade relativa do ar, e conta com a “previsão meteorológica localizada” que indica dados coletados pela própria estação meteorológica e os direciona para operações agrícolas, o que encarece o equipamento.

O custo da Estação Alternativa utilizada no presente trabalho foi de R\$ 600,00 para cada protótipo. Com isso, pode-se perceber que o valor de uma Estação Meteorológica Alternativa é muito inferior às comerciais. Contudo, a garantia de uma estação consolidada no mercado facilita a reparação e o auxílio no uso prático, sendo uma vantagem nesse sentido.

### 3.3.4 Considerações gerais sobre a funcionalidade dos protótipos

Devido aos problemas apresentados pelos protótipos de estações desenvolvidas pela Empresa de Engenharia contratada, foram realizadas buscas à procura de sistemas do tipo em artigos e sites na internet. Assim, houve a iniciativa de desenvolver uma estação com sensores similares aos utilizados pela Empresa de Engenharia que havia sido contratada.

Um projeto contendo código aberto e que usava os mesmos sensores da estação encomendada à Empresa de Engenharia foi encontrado. A grande diferença do novo projeto seria o uso de um microcartão de memória, em que os dados eram gravados, não necessitando de conexão com o Wi-Fi, além da indicação da hora das leituras. Foram necessárias adaptações do código original, visto que a estação com código aberto utilizava sensores além dos necessários para o presente trabalho (temperatura e umidade relativa).

No entanto, à necessidade de conhecimentos mais aprofundados na área de programação e engenharia elétrica impediram que a iniciativa fosse finalizada com êxito.

De forma geral, verificou-se com as atividades do presente trabalho que o desenvolvimento de Estações Alternativas precisa ser bem elaborado para funcionar e se obter êxito quanto aos objetivos. A participação de pessoas comprometidas com o projeto e que dominem a parte técnica na área de eletrônica e informática são fundamentais para corrigir e solucionar eventuais problemas que possam ocorrer na parte de *software* e *hardware*. Além disso, é preciso cuidado e exigir boa assistência e garantia pós-venda.

O uso de materiais e sensores de qualidade também deve ser levado em conta, uma vez que o sensor que foi usado apresentou instabilidade, assim como foi verificado no trabalho de Rocha et al. (2018).

As Estações Alternativas são boas soluções para locais com falta de dados e em usos agrometeorológicos, principalmente pelo valor de fabricação. Entretanto, deve-se atentar que o interessado pelo sistema necessita de bom conhecimento técnico para solucionar possíveis erros e adversidades que possam ser encontradas, ou ter a assessoria de técnicos ou empresas confiáveis que sejam comprometidos com o êxito do projeto.

### 3.4 Manual e vídeo explicativo

No presente estudo teve-se a intenção de constituir um manual e vídeo explicativo contendo instruções para operação e manutenção do protótipo da Estação Alternativa que estava sendo desenvolvida. Algumas atividades foram realizadas nesse sentido (Manual simplificado; APÊNDICE 1), mas os resultados negativos obtidos nos testes com os dois protótipos inviabilizaram a finalização das atividades como idealizado inicialmente.

A princípio, o manual completo deveriam contar as instruções detalhadas para operação da Estação Meteorológica Alternativa, para facilitar e subsidiar os usuários do equipamento para extração máxima de suas potencialidades. Inicialmente o manual apresentaria uma série de informações para facilitar a instalação, operação e extração dos dados medidos pelos sensores do equipamento, além de explicações e exemplificações sobre as leituras e interpretação das aferições do equipamento.

Os exemplos em vídeo seriam divididos em duas partes: a primeira parte tratando da instalação, operação e extração dos dados da Estação Alternativa em campo; e, a segunda parte apresentando as leituras e interpretação dos dados medidos em laboratório. O vídeo seria gravado com câmera de celular Full HD e editado com o programa Filmora9.

Considerando todas as restrições que ocorreram ao longo deste estudo, a alternativa encontrada consistiu no desenvolvimento um Manual explicativo simplificado sobre a descrição, instalação, método de uso, observações, especificações técnicas e esquemas construtivos, exemplo de coleta de dados e manutenção da Estação Meteorológica Alternativa que foi utilizada na coleta dos dados entre 31/10/2019 e 11/11/2019. A descrição detalhada do Manual da Estação utilizada encontra-se no APÊNDICE 1. Assim, a finalidade do Manual desenvolvido (APÊNDICE 1) foi apenas para ilustrar e facilitar a leitura do presente trabalho, contendo informações sobre a estrutura, os dispositivos internos (principalmente os sensores de temperatura e umidade relativa), funcionalidade e aspectos operacionais da Estação Alternativa como um todo.

## 4 CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DE PROTÓTIPOS DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar utilizados no teste de calibração e validação no presente item foram obtidos com o Protótipo C-PR da Estação Alternativa. Para calibração foram utilizados dados das 10 horas do dia 31 de outubro de 2019 às 18 horas do dia 05 de novembro de 2019, e para a validação foram utilizados dados das 19 horas de 05 de novembro de 2019 às 10 horas do dia 11 de novembro de 2019. As leituras foram obtidas por minuto em um teste preliminar do Protótipo C-PR e convertidas para leituras horárias, possibilitando realizar um diagnóstico da qualidade dos sensores que foram utilizados na construção da Estação Alternativa. É importante observar que a Estação Automática do SIMEPAR, que coleta dados na periodicidade horária, apresentou falhas de leituras da umidade relativa do ar no período utilizado para realizar a validação e calibração do Protótipo C-PR. As falhas foram desconsideradas nas análises estatísticas, sendo utilizado um total de 86 leituras horárias para a calibração e 79 leituras horárias para a validação. Também é importante observar que houve um descompasso de cinco horas entre as duas estações analisadas, o que foi ajustado para realizar a análise.

### 4.1 Calibração do sistema

A calibração da Estação Alternativa (Protótipo C-PR) foi realizada empregando análises de regressão linear simples entre os respectivos valores horários de temperatura e umidade relativa do ar, associando (FIGURA 5):

$$T_{\text{Estação Alternativa}} \text{ vs } T_{\text{padrão (Estação automática SIMEPAR)}} \quad e,$$

$$UR_{\text{Estação Alternativa}} \text{ vs } UR_{\text{padrão (Estação automática SIMEPAR)}}$$

Das associações foram obtidos os coeficientes “ $a_0$ ” e “ $a_1$ ” para correção das leituras horárias:

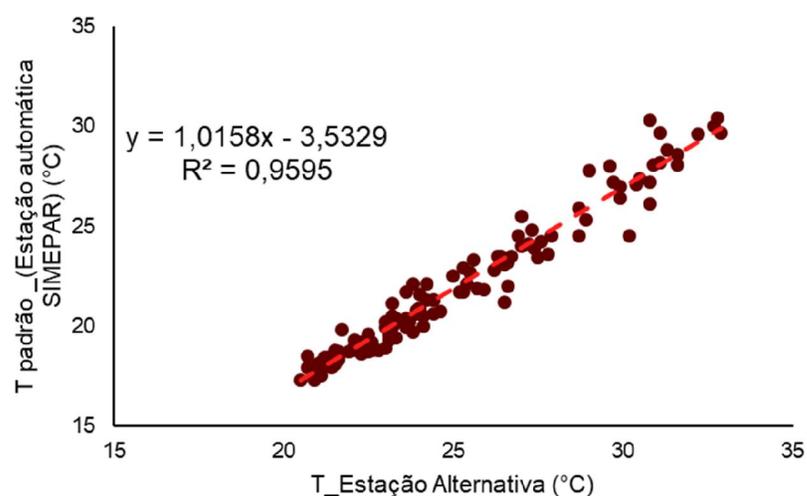
$$T_{\text{padrão (calibrado; } ^\circ\text{C)}} = a_0 + a_1 \cdot T_{\text{Estação Alternativa (} ^\circ\text{C)}} \quad (1)$$

$$UR_{\text{padrão (calibrado; \%)}} = a_0 + a_1 \cdot UR_{\text{Estação Alternativa (\%)}} \quad (2)$$

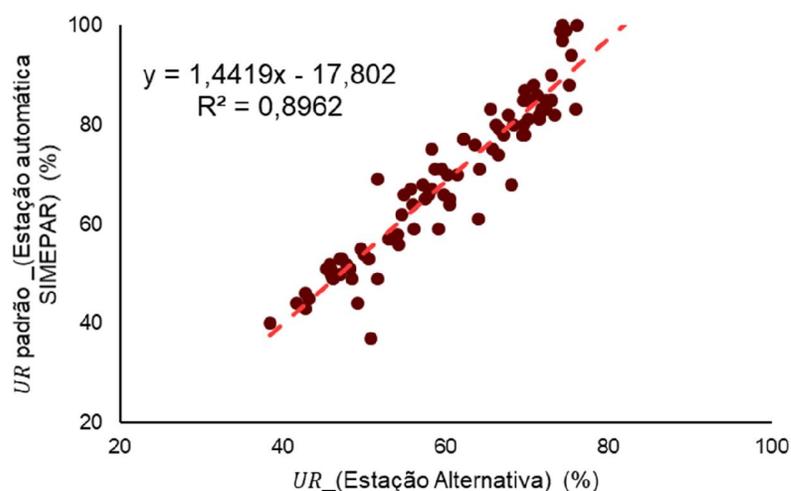
Os coeficientes “ $a_0$ ” e “ $a_1$ ” determinados com dados medidos na primavera, compreenderam o último dia de outubro (31/10/2019) e a primeira semana do mês de novembro de 2019 (01/11/2019 a 05/11/2019).

A qualidade e ajuste das associações lineares foram verificados por meio dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), calculados conforme “Item 2.3.1” do presente trabalho (SOUZA, 2018).

FIGURA 5 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR E RESPECTIVOS COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ( $R^2$ ), OBTIDOS NA CALIBRAÇÃO PARA A TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, MEDIDOS NAS ESTAÇÕES ALTERNATIVA E AUTOMÁTICA, SENDO: a)  $T_{\text{Estação Alternativa}}$  vs  $T_{\text{padrão}}$  (Estação automática SIMEPAR); E, b)  $UR_{\text{Estação Alternativa}}$  vs  $UR_{\text{padrão}}$  (Estação automática SIMEPAR)



(a)



(b)

FONTE: A autora (2020)

A calibração da Estação Alternativa (Protótipo C-PR) apresentou  $R^2$  de 0,96 (FIGURA 5a) e 0,90 (FIGURA 5b) para os sensores de temperatura e umidade relativa do ar, respectivamente. Os coeficientes angulares estão próximos a 1, indicando que a associação entre os valores medidos na Estação do SIMEPAR e Estação Alternativa (Protótipo C-PR) ficaram próximos da reta 1:1 ou 45°. A reta de regressão linear ajustada apresentou coeficientes  $a_0 = -3,5329$  e  $a_1 = 1,0158$  para a temperatura do ar, e  $a_0 = -17,802$  e  $a_1 = 1,4419$  a umidade relativa do ar.

Os valores de  $R^2$  obtidos no presente estudo, na etapa de calibração da Estação Alternativa, foram semelhantes aos encontrados por Sousa et al. (2015), Oliveira (2018), Finholdt (2008) e Cunha (2019). Nos trabalhos foram analisados valores de  $R^2$  em diferentes estações alternativas e localidades apresentado valores próximos a 0,90 para as variáveis temperatura e umidade relativa do ar.

## 4.2 Validação do sistema

A validação da Estação Alternativa consistiu na realização de associações entre os respectivos valores horários de temperatura ( $T$ ) e umidade relativa ( $UR$ ):

$$T_{\text{Padrão (Calibrado)}} \text{ vs } T_{\text{padrão (Estação automática SIMEPAR)}} \text{ e,}$$

$$UR_{\text{Padrão (Calibrado)}} \text{ vs } UR_{\text{padrão (Estação automática SIMEPAR)}}$$

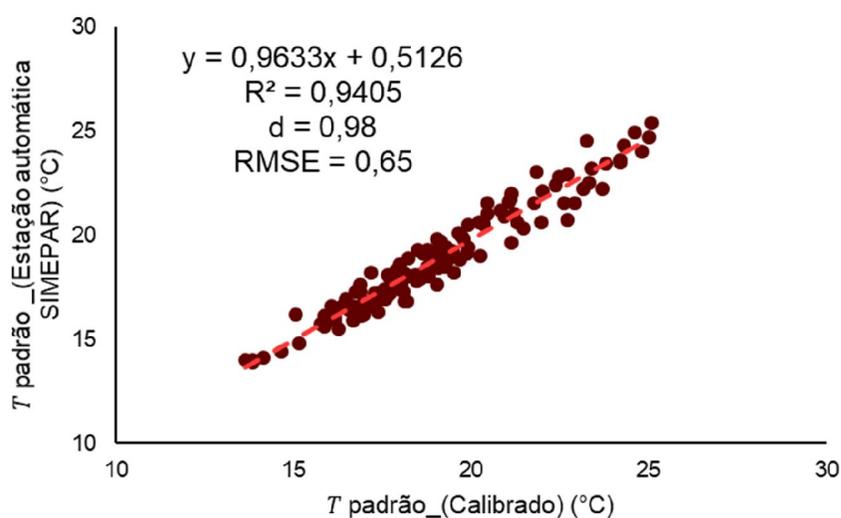
Os valores de  $T_{\text{Padrão (Calibrado)}}$  e  $UR_{\text{Padrão (Calibrado)}}$  foram obtidos com a entrada das leituras  $T_{\text{Estação Alternativa}}$  e  $UR_{\text{Estação Alternativa}}$  (medidas no período de validação) nas Equações 1 e 2, respectivamente, utilizando os coeficientes “ $a_0$ ” e “ $a_1$ ” obtidos no processo de calibração (Item 4.1).

As análises da validação foram realizadas considerando dados medidos na primavera, compreendendo os dias da segunda semana do mês de novembro de 2019 (05/11/2019 a 11/11/2019).

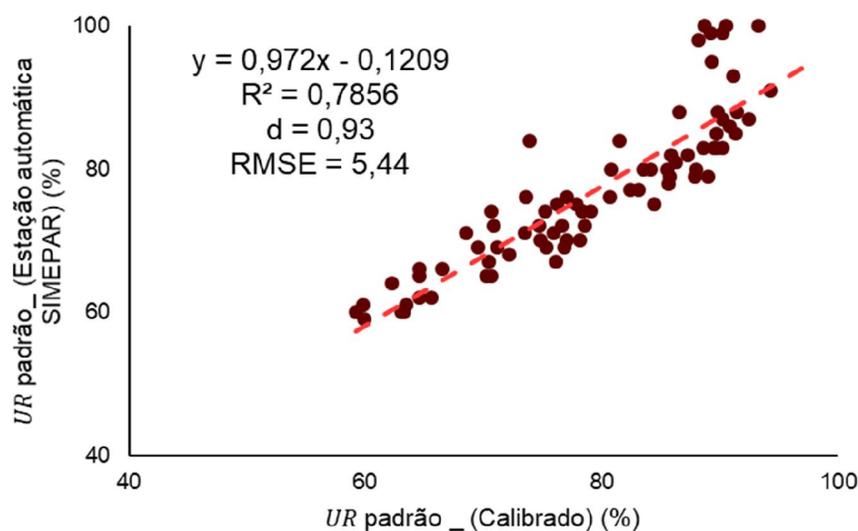
A validação do sistema consistiu na realização de análises de regressão linear (FIGURA 6), avaliando-se a qualidade do ajuste das associações por meio dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), índice “ $d$ ” e raiz quadrada do erro quadrado médio ( $RMSE$ ), calculados conforme “Item 2.3.1” (SOUZA, 2018).

FIGURA 6 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR E RESPECTIVOS COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ( $R^2$ ), RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MÉDIO ( $RMSE$ ), E ÍNDICE “ $d$ ”, OBTIDOS NA VALIDAÇÃO PARA A TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR, MEDIDOS NAS ESTAÇÕES ALTERNATIVA E AUTOMÁTICA, SENDO: a)

$T_{\text{padrão}}(\text{Calibrado})$  VS  $T_{\text{padrão}}(\text{Estação automática SIMEPAR})$ ; E, b)  $UR_{\text{padrão}}(\text{Calibrado})$  VS  $UR_{\text{padrão}}(\text{Estação automática SIMEPAR})$



(a)



(b)

FONTE: A autora (2020)

A validação da Estação Alternativa apresentou  $R^2 = 0,94$  (FIGURA 6a) para o sensor de temperatura do ar, e  $R^2 = 0,79$  (FIGURA 6b) para o sensor de umidade relativa do ar, indicando estreita correlação nas variáveis medidas e analisadas.

Os valores de *RMSE* encontrados para os sensores de temperatura e umidade relativa do ar foram de 0,65 °C e 5,44%, respectivamente. Os resultados indicaram que os valores das leituras da temperatura média do ar da Estação Alternativa ficaram mais próximos dos valores observados na Estação Automática, obtendo maior acurácia.

O índice “*d*” indicou melhor desempenho nas estimativas da Temperatura do ar ( $d = 0,98$ ), e para a umidade relativa do ar também foi apresentou boa precisão ( $d = 0,93$ ).

De forma geral, os resultados alcançados com a Estação Alternativa indicaram que os sensores utilizados foram eficazes, uma vez que os índices apresentam boa concordância e precisão entre os valores observados e estimados.

Os resultados obtidos nas análises de calibração e validação indicam que o problema das estações alternativas não está nos sensores, mas sim nas partes responsáveis por ler o sinal, armazenar e transmitir as leituras. Oliveira (2018) testando uma estação alternativa na cidade de Curitiba- PR, similar à utilizada no presente estudo, também obteve bons valores de  $R^2$  (0,75), “*d*” (0,9) e *RMSE* (0,011) no processo de validação, indicando a efetividade do uso de Estações Alternativas para acompanhar as variações horárias da temperatura e umidade relativa do ar.

## 5 CONCLUSÕES

As Estações Convencionais podem ser substituídas por Automáticas, desde que feito à análise antes de sua implementação. As Estações Alternativas têm custo muito inferior às Estações Convencionais e Automáticas, sendo uma possibilidade interessante para o uso e complementação na falta de recursos e dados, além da opção da seleção das variáveis de interesse que desejam ser estudadas.

O desenvolvimento de uma Estação Alternativa não é trivial, necessitando de técnicos eficientes e comprometidos, que tenham conhecimento aprofundado da parte de *software* e *hardware*.

O período de garantia da empresa desenvolvedora da Estação Alternativa deve ser considerado para ter uma boa assistência do produto, caso ocorram falhas. A utilização de materiais e sensores de qualidade, bem avaliados no mercado é fundamental para o sucesso da atividade.

A calibração e validação do Protótipo C-PR da Estação Alternativa indicou que os sensores utilizados tiveram desempenho satisfatório. Contudo, o curto período em que se conseguiu fazer as leituras de temperatura e umidade relativa do ar não permite confiabilidade para outros meses do ano não avaliados, bem como períodos maiores, como sazonais ou anuais.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. A.; HERMENEGIDIO, G. M. S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencional e automática. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.12, jan./ jul. 2013.

AOSONG ELECTRONICS Co.; Datasheet: Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22. Disponível em: < <https://datasheetspdf.com/pdf-file/792211/Aosong/DHT22/1>>. Acesso em: 31 jul. 2020.

BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.32, n.2, p.215-226, 2017.

BOSH. Datasheet: BMP180 Digital pressure sensor. ElectronicPublication, 2015

CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natureza**, v.29, n.1, p.137-149, 2007

CUNHA, M. M. Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação. São Cristóvão. 2019. 149 f. Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe.

FINHOLDT, G. Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. Viçosa, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa.

FUNARI, F. L.; PEREIRA FILHO, A. J. Análise comparativa de medições de variáveis meteorológicas realizadas por estações meteorológicas convencional e automática instaladas no parque estadual das Fontes do Ipiranga - São Paulo -SP. **Revista Brasileira de Climatologia**. v.7, p.159-168, 2010.

GALINA, M. H.; VERONA, J. A. Fontes de observações meteorológicas no estado de São Paulo. **Estudos Geográficos**, v.2, n.1, p.107-118, 2004.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Nota técnica N°. 001/2011/SEGER/LAIME/CSC/INMET, Brasil. 2011. [acesso em 17/03/2020]. Disponível em: > <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/acesso-a-informacao/auditorias/2011/intituto-nacional-de-meteorologia-inmet.pdf><.

JERSZURKI, D. Dinâmica da água no continuum solo-planta-atmosfera: tópicos em evapotranspiração de referência e disponibilidade de água às plantas. Curitiba, 2016. 151p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LOPES, P. M. S. Metodologias de calibração e validação do modelo de simulação climática CLIGEN de apoio à modelação de perda de solo. Évora. 2005. Tese (Mestrado em Engenharia do Solo e da Água) – Universidade de Évora.

OLIVA, R. Model calibration as a testing strategy for system dynamics models. **European Journal of Operational Research**, v.151, n.3, p.552-568, Dez 2003.

OLIVEIRA, S. R. Ajuste do método Moretti-Jerszurki-Silva para estimar a evapotranspiração de referência diária e horária dos tipos climáticos brasileiros. Curitiba, 2018. 537p. Tese (Doutorado em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PEREIRA, L. M. P.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. S.; CAVIGLIONE, J. H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina – PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.2, p.299-306, abr./jun. 2008.

ROCHA, F. G.; JESUS, L. F.; SANTOS, R. T.; SOUZA, W. F. P. ; BORGES, L. C. ; OLIVEIRA, A. L. ; SANTOS, M. V. B. . Protótipo de micro estação meteorológica para pesquisa de dados atmosféricos na região do Pantanal Matogrossense. **In: Computer on the beach**, 9., 2018, Florianópolis. *Anais ... Florianópolis: Computer on the Beach*, 2018. p. 334-343.

SCARPARE, F. V.; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J.; PIEDADE, S. M. S.; ANGELOCCI, L. R. Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação meteorológica convencional e automática - Piracicaba/SP. **In: 14 CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, 2006, Florianópolis. Sociedade Brasileira da Meteorologia, 2006.

SILVA, A. C. M.; SILVA, M. A.; MIRANDA, J. P. L.; SANTOS, M. C. P.; FACEROLI, S. T. Estação Meteorológica Automática de Baixo Custo. **Multiverso**, v.1, n.1, p.45-46, 2016.

SILVA, R. B.; LEAL, L. S.; ALVES, L.S.; BRANDÃO, R.V.; ALVES, R.C.M.; KLERING, E.V.; PEZZI, R.P. Estações meteorológicas de código aberto: Um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.37, n.1, 1505, Mar. 2015.

SOUSA, R. R.; ANTUNES, J. P.; CABRAL, I. Estação meteorológica experimental de baixo custo. **Geo UERJ**, n.27, p.80-97, 2015.

SOUSA, R. R.; RODRIGUES, L. I.; PAULO, C. A. Estação meteorológica de baixo custo. **In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica Variabilidade e Suscetibilidade Climática: Implicações Ecosistêmicas e Sociais**, 12., 2016, Goiânia. *Anais...* Goiânia: UFG, 2016. p.169-178.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Technology**. v.25, n.2, p.203-207, 2003.

SOUZA, J. L. M Fundamentos de matemática e estatística para formulação de modelos e análise de dados: aplicado às ciências agrárias. Curitiba, Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2018. (Manual didático)

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E.A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E.D.; MENDEZ, M.E.G.; SCHÖFFEL, E.R. Comparação da temperatura do ar obtida por estação meteorológica convencional e automática. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.2, p.273-278, 2011.

VIANELLO, R. L.; **A Estação Meteorológica e seu Observador**: Uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade. Instituto Nacional de Meteorologia. 2011.

WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**. v.63, n.11, p.1309–1313. 1982.

## **APÊNDICE 1 – MANUAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA ALTERNATIVA**

Neste manual encontram-se todas as informações para o uso adequado da Estação Meteorológica Alternativa, que faz a leitura das variáveis de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e pressão atmosférica (Pa).

### **1 DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO**

A estação é composta pelas partes: sensor DTH22, responsável pelas leituras de temperatura e umidade relativa do ar; sensor BMP180, responsável pela leitura da pressão atmosférica; um microcontrolador; um regulador de tensão, capacitores e resistores.

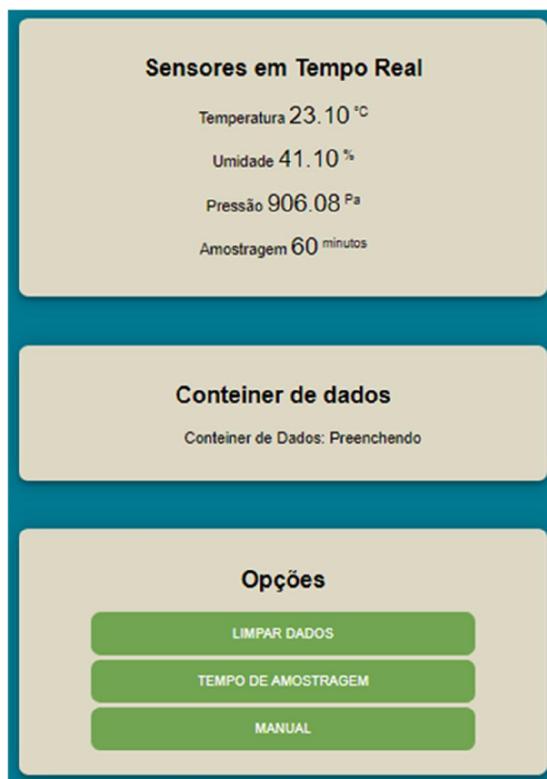
### **2 INSTALAÇÃO**

Instale a estação em local adequado, arejado, com circulação de ar, protegida da exposição solar direta e de possíveis chuvas. Ligue o aparelho em uma fonte de energia (110 ou 220V) no local em que se deseja medir as variáveis. Caso não tenha tomada perto do local é possível ligar o equipamento a uma bateria de 5 V. Ao ligar o equipamento irá acender luzes: *i*) Luz led vermelha que indica que os sensores estão ativos; e, *ii*) Luz azul indica que o Wi-Fi do microcontrolador está ativo.

### **3 COMO USAR**

É necessário um computador e nele selecionar a rede Wi-Fi de acesso livre da Estação Alternativa, neste caso pré-nomeada pela empresa fabricante como “ESTUFA”. Após isso, com Wi-Fi conectado deve-se abrir um navegador de internet e na barra de navegação entrar no rótulo numérico atribuído ao equipamento, neste caso, no IP: 192.168.1.1. Com isso, tem-se na tela as informações dos sensores em tempo real, o *Container* de dados, e três opções: limpar dados, tempo de amostragem e manual (FIGURA A1.1).

FIGURA A1.1 – EXIBIÇÃO DO MENU DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA



FONTE: A autora (2020)

### 3.1 Sensores em tempo real

Nesse ponto tem-se a temperatura, umidade e pressão do instante medido, e o tempo da amostragem em que foi feito as leituras das variáveis (FIGURA A1.2).

FIGURA A1.2 – EXIBIÇÃO DOS SENSORES EM TEMPO REAL



FONTE: A autora (2020)

### 3.2 Container de dados

Indica a situação “Preenchendo” ou “Vazio” (FIGURA A1.3): quando os dados estão sendo coletados e quando não se tem nenhum dado no *container* ainda, respectivamente. Quando se clica em cima dessa opção é necessário escolher um local para armazenar e salvar os dados coletados no computador, e assim analisá-los. Os dados são demonstrados em um bloco de notas. Nele tem-se: um identificador, o separador “+”, os dados de temperatura, umidade relativa, e por fim a pressão atmosférica (Para um exemplo mais detalhado verificar o Item 6, 8º passo).

FIGURA A1.3 – EXIBIÇÃO DO CONTEINER DE DADOS

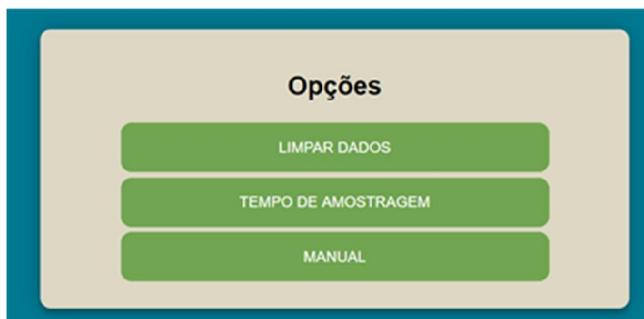


FONTE: A autora (2020)

### 3.3 Opções

Tem-se três opções (FIGURA A1.4):

FIGURA A1.4 – EXIBIÇÃO DAS OPCÕES



FONTE: A autora (2020)

- Limpar dados: Nesse item é possível apagar os dados e limpar a memória do equipamento. Assim, quando selecionado, essa opção direciona à outra janela e tem-se seis *containers* diferentes. Somente o primeiro é usado, podendo estar preenchido ou ainda vazio. Os outros *containers* de dados sempre apresentarão vazio. Caso queira apagar os dados, basta clicar em cima do *container* desejado e limpar os dados, após essa ação é necessário retirar o equipamento da fonte de energia e religá-lo para confirmar a operação. A memória de armazenamento é de 512 kb;
- Atenção: Antes de iniciar o uso o ideal é limpar os dados que se encontram na memória do equipamento, pois quando o equipamento é religado os dados serão misturados. O equipamento apresenta somente o identificador e não registros de data e hora.
- Tempo de amostragem: Nesse item é possível selecionar o tempo de amostragem mais adequado ao estudo. Quando selecionado, esse item direciona o usuário à outra janela, indicando a necessidade de alternar o tempo de amostragem, podendo ser: 1 hora, 45, 30, 15 ou 1 minuto. Só é necessário clicar em cima do tempo desejado;

#### **4 DICAS E CONSELHOS**

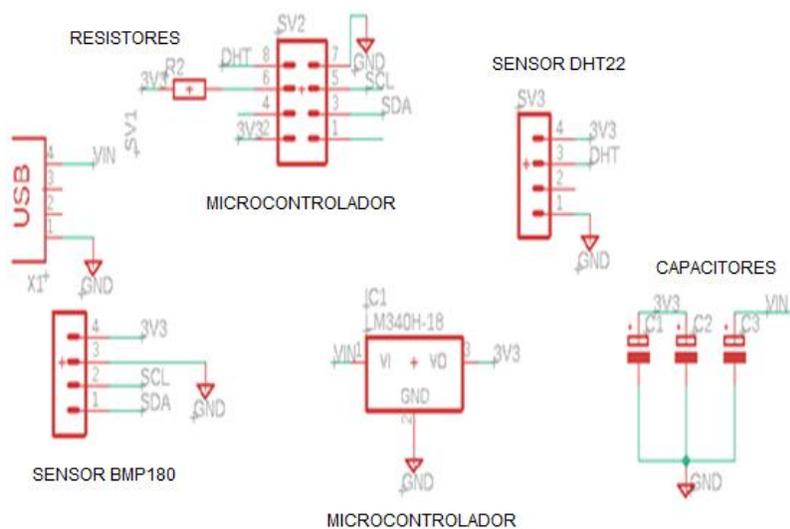
Ao transportar o equipamento deve-se cuidar para não fazer movimentos bruscos para o sensor não desencaixar da placa de circuito. Caso isso ocorra é necessário abrir o aparelho e encaixar novamente o sensor na placa de circuito.

#### **5 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E ESQUEMAS CONSTRUTIVOS**

O aparelho (FIGURAS A1.5 e A1.6) é composto por um USB, que serve para alimentação da energia. O regulador de tensão é responsável por manter a tensão produzida dentro do limite exigido pelo sistema (3,3 V). O Microcontrolador ESP 8266-01 é responsável pela interpretação e conversão das grandezas elétricas no valor desejado. O sensor DHT22 é responsável pelas leituras de temperatura e umidade relativa do ar. E o sensor BMP180 é

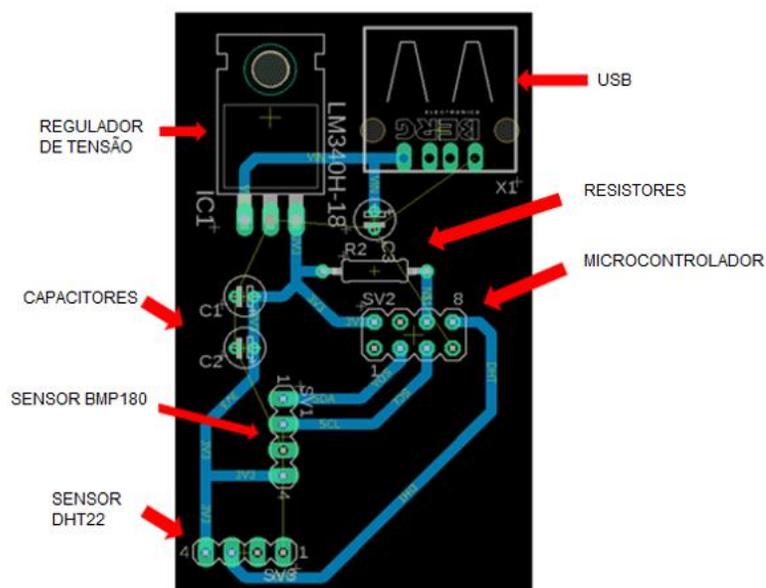
responsável pela leitura da pressão atmosférica, além dos capacitores e resistores responsáveis por armazenar cargas elétricas e limitar o fluxo de cargas.

FIGURA A1.5 – ESQUEMA ELÉTRICO DO EQUIPAMENTO



FONTE: A autora (2020)

FIGURA A1.6 – ESQUEMA DA PLACA DO EQUIPAMENTO



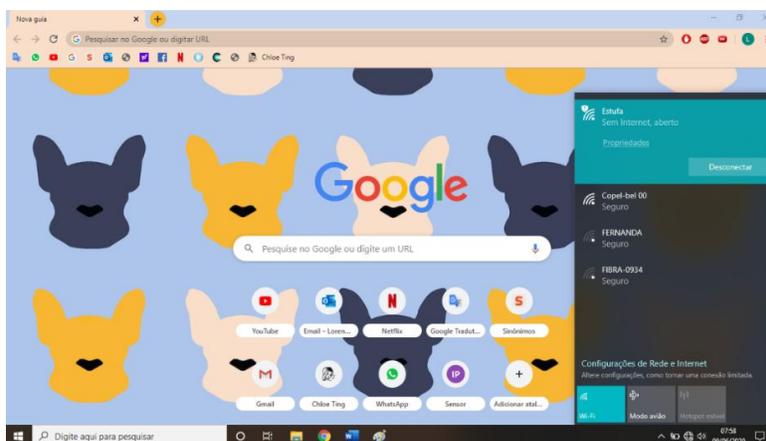
FONTE: A autora (2020)

## 6 EXEMPLO DE COLETA DE DADOS NA ESTAÇÃO ALTERNATIVA

1º) Ligue o equipamento em uma fonte de energia.

2º) Conecte ao Wi-Fi “ESTUFA” em seu computador (FIGURA A1.7).

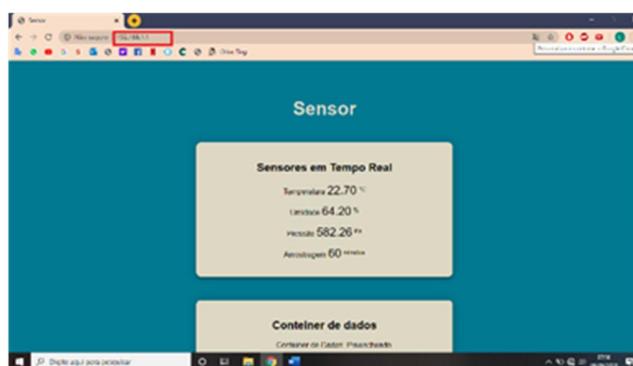
FIGURA A1.7 – EXIBIÇÃO DA CONEXÃO AO WI-FI ESTUFA



FONTE: A autora (2020)

3º) Com Wi-Fi conectado deve-se abrir um navegador de *internet*, e na barra de navegação entrar em IP: 192.168.1.1 (FIGURA A1.8).

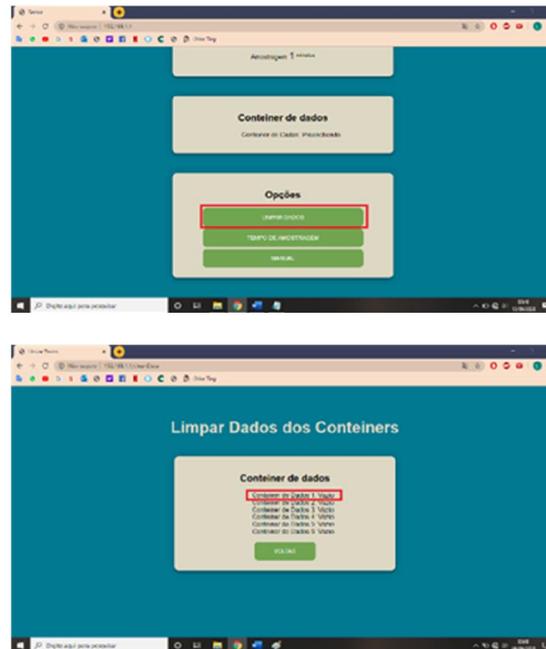
FIGURA A1.8 – EXIBIÇÃO DA CONEXÃO AO NAVEGADOR



FONTE: A autora (2020)

4º) É importante verificar se há algum dado no *container* antes da coleta, para não ocorrer a mistura de dados. Se existem dados, é necessário apaga-los, desligar o aparelho da fonte e então religa-lo (FIGURA A1.9).

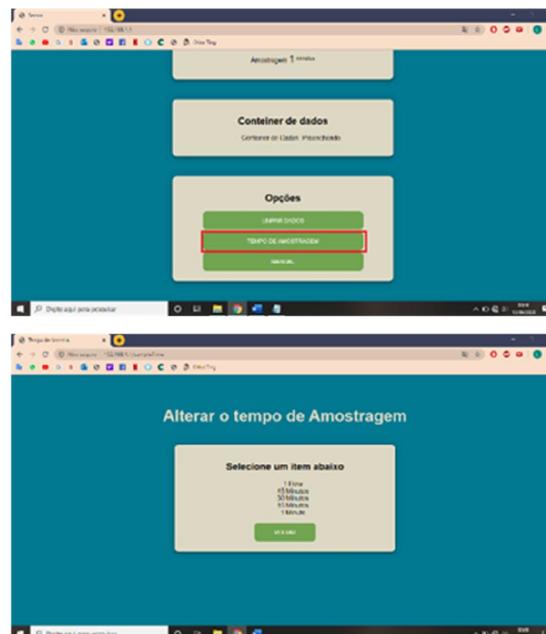
FIGURA A1.9 – LIMPEZA DOS DADOS DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA



FONTE: A autora (2020)

5º) Seleccione o tempo de amostragem desejada para o estudo (FIGURA A1.10).

FIGURA A1.10 – SELEÇÃO DO TEMPO DE AMOSTRAGEM

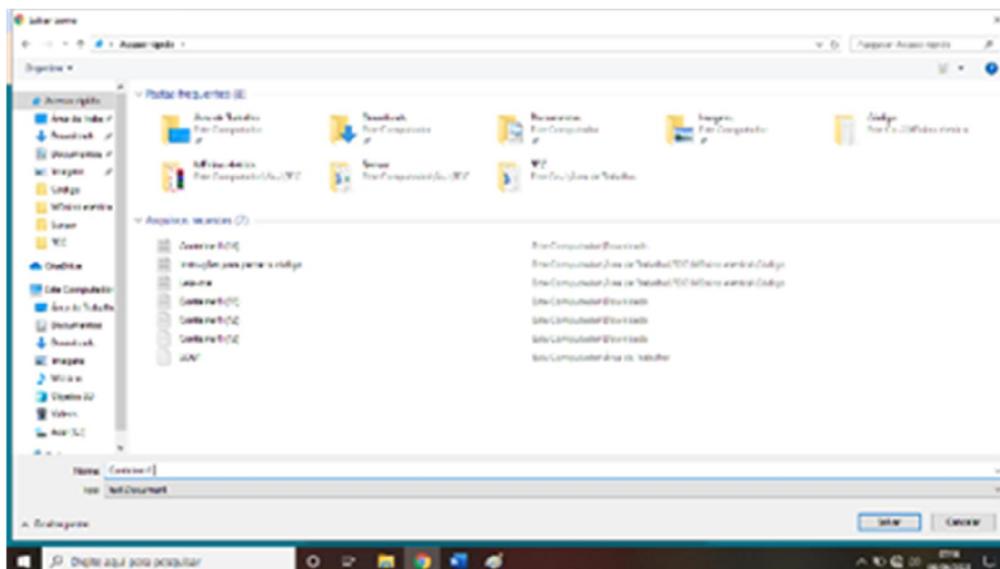
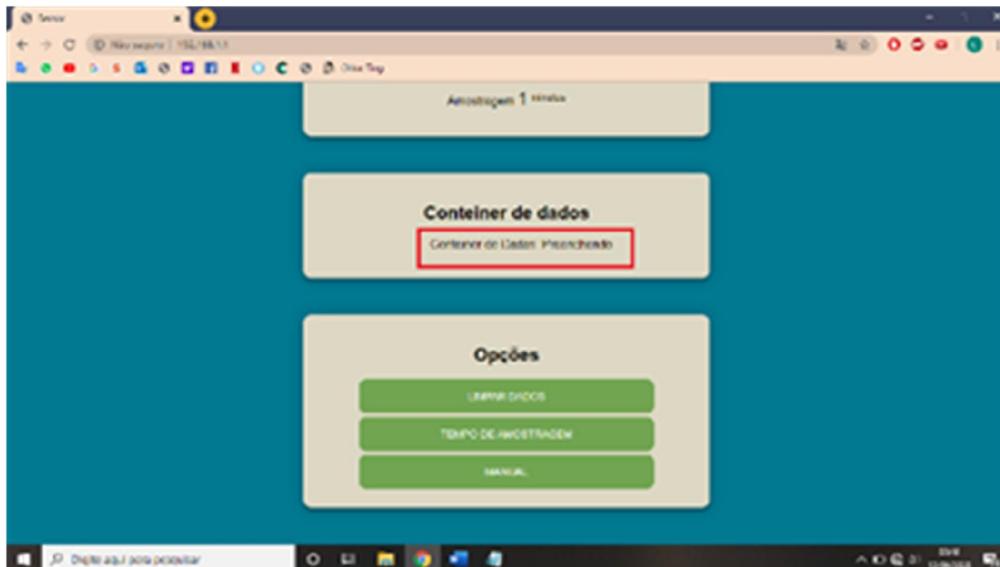


FONTE: A autora (2020)

6º) Deixe o aparelho coletando os dados pelo período desejado.

7º) Para coletar os dados, conecte novamente seu computador com a rede, selecione o *container* de dados: Preencha e informe onde deseja salvar o arquivo (FIGURA A1.11).

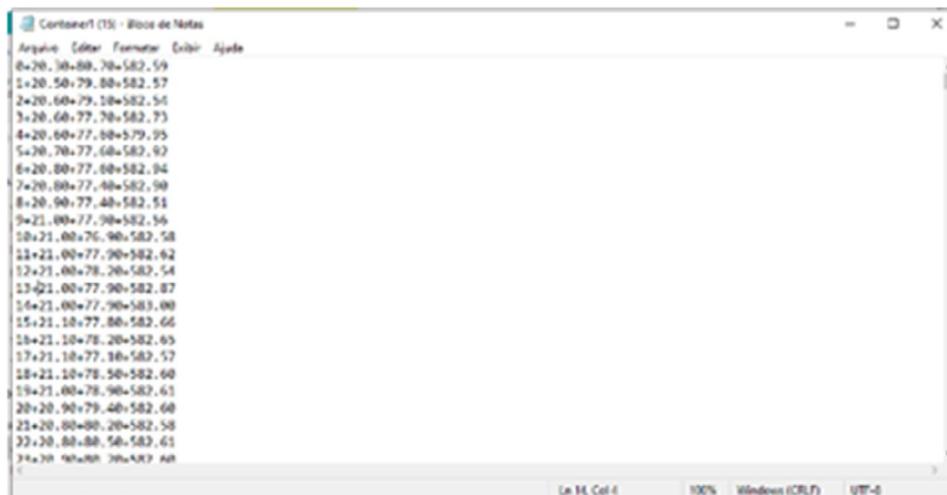
FIGURA A1.11 – EXEMPLO DE COLETA DE DADOS



FONTE: A autora (2020)

8º) O arquivo tem extensão “txt” e é separado pelo símbolo “+”, assim, tem-se os dados: identificador + temperatura do ar + umidade relativa do ar + pressão atmosférica (FIGURA A1.12).

FIGURA A1.12 – EXEMPLO DO ARQUIVO DA ESTAÇÃO ALTERNATIVA



FONTE: A autora (2020)

Exemplo: 00+20.30+80.70+582.59; Identificador 00; 20.30°C.; 80.70% ; 582.59 Pa.

9º) Após essa operação, para não ocorrer mistura de dados antigos com os que serão lidos, o ideal é limpar a memória de armazenamento. Sempre que realizado essa operação deve-se retirar e colocar novamente a fonte, para reconhecer a operação.

## 7 MANUTENÇÃO

Caso ocorra algum problema, seguem algumas causas e soluções:

– Quando ligada e conectada ao Wi-Fi a Estação apresenta mensagem de erro nas leituras de temperatura e umidade relativa do ar. A provável causa seria a má conexão do sensor DHT22 no sistema. Assim, melhore o seu ajuste e fixação na placa de circuito. Caso não solucione, é necessário trocar o sensor;

- Quando ligada e conectada ao Wi-Fi a Estação apresenta mensagem de erro nas leituras de pressão atmosférica. A provável causa seria a má conexão do sensor BMP180 no sistema. Assim, melhore o seu ajuste e fixação na placa de circuito. Caso não solucione, é necessário trocar o sensor;
- Caso não tenha conexão com o Wi-Fi, a possível causa seria o Microcontrolador MSP8266-01. Assim, deve-se realizar a substituição do componente e antes de conectá-lo à placa é necessário gravar o código do projeto.