

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de
25/06/2027

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until
June 25, 2027

MARCOS ROBERTO RUYBAL BICA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E
AQUISIÇÃO DE DADOS COM
COMUNICAÇÃO SEM FIO APLICADO À AGROMETEOROLOGIA**

Botucatu

2025

MARCOS ROBERTO RUYBAL BICA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E
AQUISIÇÃO DE DADOS COM
COMUNICAÇÃO SEM FIO APLICADO À AGROMETEOROLOGIA**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Agrícola

Orientador: Dr. Alexandre Dal Pai

**Botucatu
2025**

B583d

Bica, Marcos Roberto Ruybal

Desenvolvimento de um sistema de controle e aquisição de dados com comunicação sem fio aplicado à agrometeorologia / Marcos Roberto Ruybal Bica. -- Botucatu, 2025

77 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Alexandre Dal Pai

1. Internet da coisas. 2. Aquisição de dados. 3. Microcontroladores. 4. Radiação Solar. 5. Controle de temperatura. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE:

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS COM
COMUNICAÇÃO SEM FIO APLICADO À AGROMETEOROLOGIA**AUTOR: MARCOS ROBERTO RUYBAL BICA****ORIENTADOR: ALEXANDRE DAL PAI**Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola, pela
Comissão Examinadora:Prof. Dr. ALEXANDRE DAL PAI (Participação Presencial)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrômicas UnespProf. Dr. ADRIANO DE SOUZA MARQUES (Participação Presencial)
Engenharia da Computação / Instituto Federal de São PauloProf. Dr. FRANCISCO SÉRGIO DOS SANTOS (Participação Presencial)
Engenharia da Computação / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São PauloProf.^a Dr.^a VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN (Participação Presencial)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu - UnespProf. Dr. SÉRGIO AUGUSTO RODRIGUES (Participação Presencial)
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrômicas - Unesp

Botucatu, 25 de junho de 2025

A minha esposa, filhos e netos,

Sílvia, Gabriel, Mariana, Miguel,

Benício, Murilo e Marcela,

dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pela capacitação da sabedoria.

Aos meus pais José Gomes Bica (in memorian) e Jeanete Marly Ruybal Bica (in memorian) pelo apoio em todas a minha trajetória de vida.

A minha esposa Sílvia Carreto e aos meu filhos, pelo apoio e compreensão do período em que a dedicação ao programa de pós precisou estar à frente de tudo.

Ao professor Dr. Alexandre Dal Pai, pela orientação, crença nas minhas propostas e incentivo para alcançá-las.

Aos professores Dr Sérgio Augusto Rodrigues e Dra. Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen, pelo apoio e incentivo.

Aos servidores administrativos da FCA e principalmente do departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, em especial ao Técnico Firmo S. Campos.

Aos amigos do programa de pós-graduação Victor Crespo, Marcus Vinicius Contes Calça e Giovana Stucchi, pela parceria.

Aos membros da banca examinadora pela seriedade e compromisso com a qualidade do trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, por ter me proporcionado a conquista deste título.

“Alguns homens veem as coisas como são, e dizem ‘Por quê?’ Eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘Por que não?’”

George Bernard Shaw (1856–1950)

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um *data logger* de baixo custo, menos de 100 dólares, capaz de coletar dados de sensores e acionar dispositivos de atuadores, com interface para comunicação por rede wi-fi com a rede mundial de computadores Internet, constituindo assim um dispositivo da classe dos equipamentos de Internet da Coisas. Sua aplicação no setor agrícola pode auxiliar produtores, principalmente os pequenos no controle de consumo de recursos e pesquisadores que podem contar com equipamentos acessíveis e para experimentos em locais remotos. No capítulo 1 foi demonstrado como o *data logger* foi construído e uma aplicação de coleta de dados agrometeorológicos, inclusive a coleta de dados de radiação solar com um piranômetro da marca Epley, cujo resultado apresentou variação de 1,3% entre o valor de radiação na fração diária medido no *data logger* de baixo custo e as medidas realizadas com um *data logger* da marca Campbell. Este *data logger* também poderá ser utilizado em sistemas de controle de equipamentos, como a aplicação a apresentada no segundo capítulo. Foi desenvolvido o controle de um secador para desidratação de inflorescência de lúpulo que utiliza energia térmica proveniente de radiação solar para aquecimento do ar que promoverá a secagem do produto. A interação do secador com o usuário se dá via comunicação *bluetooth*, por meio de um aplicativo para smartphone onde os dados coletados são apresentados e é escolhida a temperatura de secagem. As informações também são mostradas na tela do próprio secador e são armazenadas em dispositivo de memória.

Palavras-chave: internet das coisas; sensores; controle; aquisição de dados; radiação solar; secador.

ABSTRACT

This paper presents the development of a low-cost datalogger, costing less than \$100, capable of collecting sensor data and activating actuator devices. It also has a Wi-Fi interface for communication with the Internet, thus constituting an Internet of Things device. Its application in the agricultural sector can assist producers, especially small-scale producers, in controlling resource consumption, and researchers who can rely on affordable equipment for experiments in remote locations. Chapter 1 demonstrated how the datalogger was built and an application for agrometeorological data collection, including solar radiation data collection with an Epley pyranometer. The results showed a 1.3% variation between the daily fraction of radiation measured with the low-cost datalogger and those obtained with a Campbell datalogger. This datalogger can also be used in equipment control systems, such as the application presented in the second chapter. A control system was developed for a hop inflorescence dehydration dryer that uses solar thermal energy to heat the air, which then dries the product. The dryer interacts with the user via Bluetooth communication, via a smartphone app that displays the collected data and selects the drying temperature. The information is also displayed on the dryer's screen and stored in a memory device.

Keywords: internet of things; Sensors; control; data acquisition; solar radiation; dryer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – DISPOSITIVO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Figura 1 - Foto ESP 32.....	28
Figura 2 - Imagem MCU PIC 16f15214.....	28
Figura 3 - Foto do slot do cartão de memória.....	29
Figura 4 - Foto Chip DS1302 RTC.....	29
Figura 5 - Diagrama eletrônico.....	30
Figura 6 - Circuito regulador e tensão.....	31
Figura 7 - Circuito dos acionadores.....	31
Figura 8 - Microcontrolador PIC e slot de cartão de memória.....	32
Figura 9 - RTC e conexões.....	33
Figura 10 - Microcontrolador ESP.....	33
Figura 11 - Layout da placa de circuito impresso.....	34
Figura 12 - Foto da placa do datalogger montada.....	34
Figura 13 - Quadro demonstrativo dos valores de materiais e mão de obra.....	35
Figura 14 - Sensor de luminosidade.....	36
Figura 15 - Sensor de umidade e temperatura.....	36
Figura 16 - Amplificador AD 620.....	37
Figura 17 - Esquema ilustrativo do sistema de medição de variáveis.....	38
Figura 18 - Placa <i>Datalogger</i>	39
Figura 19 - Sensor de luz.....	40
Figura 20 - Montagem dos sensores.....	40
Figura 21 - Gráfico da correlação W/m^2 x bits 30/04/2025.....	41
Figura 22 - Comparação dados em W/m^2 x bits.....	42
Figura 23 - Gráficos de comparação da variação da radiação no dia 30/04/2025	42
Figura 24 - Gráfico de comparação da radiação x bits dia 01/05/2025.....	44
Figura 25 - Gráfico comparativo dos valores em W/m^2 <i>datalogger</i> x protótipo. 44	
Figura 26 - Gráfico da temperatura do ar dia 18/04/2025.....	46
Figura 27 - Gráfico Umidade relativa do ar dia 18/04/2025.....	46
Figura 28 - Gráfico de medidas de luminosidade e radiação solar dia 30/04/2025	48
Figura 29 - Gráfico de medidas de luminosidade e radiação solar dia 01/05/2025	48
Figura 30 - Gráfico de comparação luminosidade x radiação solar dia 01/05/2025.....	49

Capítulo 2 – AUTOMATIZAÇÃO DE UM SECADOR SOLAR PARA LÚPULO

Figura 1 - Secador Novo(a) e original (b).....	60
Figura 2 - Sensor de temperatura e umidade.....	60

Figura 3 - Esquema do fluxo da ar no secador.....	61
Figura 4 - Placa Datalogger e diagrama bloco.....	62
Figura 5 - Diagrama Controle.....	62
Figura 6 - Quadro de valores de variação da velocidade em função da temperatura a estufa.....	63
Figura 7 - Fluxograma.....	64
Figura 8 - Tela do painel frontal da estufa.....	65
Figura 9 - Tela do aplicativo.....	66
Figura 10 - Montagem original.....	67
Figura 11 - Montagem atualizada.....	67
Figura 12 - Resultado com temperatura desejada em 45°C.....	68
Figura 13 - Comparação entre umidade e temperatura dentro da estufa.....	69
Figura 14 - Gráfico de desempenho do secador 50° C.....	70
Figura 15 - Gráfico Temperatura x umidade relativa.....	70
Figura 16 - Tela do <i>smartphone</i> conectado.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor Analógico Digital
API	Interface de programação de aplicações
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo.
GPIO	General purpose input output
IDE	Ambiente de desenvolvimento integrado
IOT	Internet das coisas
LE	Low Energy
MCU	Unidadde Microcontroladora
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport
PCB	Placa de circuito impresso
PID	Proporcional, Integrador e Derivativo.
PWM	Phase width modulation

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	21
CAPÍTULO 1 DISPOSITIVO DE AQUISIÇÃO DE DADOS E AUTOMAÇÃO.....	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	23
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
1.2.1 Dispositivos de aquisição de dados aplicados a agricultura.....	24
1.2.2 Objetivos.....	27
1.3.2 Métodos.....	29
1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
1.4.1 Projeto do datalogger.....	30
1.4.2 Recursos do <i>datalogger</i>	31
1.4.3 Aplicação do <i>datalogger</i>	36
1.4.3.1 Descrição dos componentes e instalação.....	36
1.4.3.2 Análise dos dados coletados.....	41
1.5 CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	50
APÊNDICE A – Esquema eletrônico do <i>datalogger</i>.....	53
ANEXO A Certificado de calibração piranômetro Eppley - PSP.....	54
CAPÍTULO 2 CONTROLE DE TEMPERATURA PARA SECADOR SOLAR.....	55
2.1 INTRODUÇÃO.....	56
2.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	57
2.2.1 Tipos de secadores.....	57
2.2.2 Secagem do lúpulo.....	57
2.2.3 Controles eletrônicos.....	57
2.2.3 Objetivos.....	58
2.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
2.3.1 Material.....	59
2.3.1 Métodos.....	62
2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
2.5 CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS.....	73
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS.....	77

INTRODUÇÃO GERAL

O setor agrícola vem passando por transformações no que diz respeito à automatização de processos, esse movimento foi denominado Agricultura 4.0 como uma alusão a quarta revolução industrial. Uma parte importante dessa revolução está na conectividade proporcionada pelas novas tecnologias. (Dias, 2023).

Essa modernização está ligada a utilização de novas tecnologias para obter os dados. Muitos são os componentes que permitem essa interação e tudo está interligado a rede mundial de computadores, por dispositivos e protocolos de comunicação que compõem a nova geração de sistemas chamada Internet das Coisas (IoT) (Montoya *et al.* 2017).

Muitos produtores ainda relutam em aceitar essa transformação por se depararem com investimentos elevados, mão de obra qualificada e a interação com novas tecnologias que mudam a forma de analisar e pensar(Dias, 2023).

Um outro aspecto que valoriza a utilização da tecnologia nos processos agrícolas e a necessidade de produzir com mais eficiência, diminuindo a utilização de agroquímicos, uso racional dos recursos, principalmente água e contribuição para a redução de emissão de CO₂(Viola, 2022).

A inclusão de tecnologia da informação e aplicativos evoluiu a agricultura de precisão para agricultura digital, que utiliza a inteligência de dispositivos, sensores e equipamentos. A automatização das operações melhora o consumo de insumos e busca a melhoria da produtividade. Aliado aos equipamentos e a conectividade, a técnica de big data e a utilização de algoritmos sofisticados auxilia os produtores na tomada de decisão (Villafuerte, 2018).

Com a facilitação do acesso aos componentes, sensores, atuadores, conectividade, serviço de nuvem e ferramentas de desenvolvimento. É possível desenvolver um sistema de aquisição de dados, que pode atuar também como controlador de equipamentos, com custo acessível e de fácil interação homem/máquina.

Diversos são os trabalhos desenvolvidos por pesquisadores com a finalidade de monitorar grandezas físicas, principalmente temperatura, umidade relativa do ar, umidade do solo, vento geração de energia, radiação solar entre outros. E também é possível encontrar desenvolvimento de dispositivos de controle de algumas dessas variáveis. No entanto, durante a pesquisa realizada para desenvolver este trabalho não foi encontrado nenhuma iniciativa que tenha criado um dispositivo capaz de atuar tanto na coleta de dados como no controle de processo resultando em um único equipamento que tenha as duas finalidades e que podem ser utilizadas em conjunto ou separadamente.

Esta tese está estruturada em dois capítulos distribuídos da seguinte forma:

No capítulo 1 é apresentado o projeto de uma placa eletrônica denominada *datalogger*, com recursos de aquisição de dados acionamentos de atuadores e comunicação wi-fi e *bluetooth*.

No capítulo 2 foi descrita uma aplicação de um sistema de controle de temperatura implementado com o *datalogger*, para automatizar um secador de inflorescência de lúpulo, com suporte ao usuário via aplicativo para *smartphone* e comunicação *bluetooth*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Os resultados dos dois capítulos, demonstraram que o *datalogger* desenvolvido tem grande potencial para ser aplicado em diversas áreas de pesquisa e também em projetos de controle onde o baixo investimento e a facilidade em manuseio e manutenção são importantes, mas não implicam em baixa qualidade dos resultados que serão obtidos.

Este trabalho traz a contribuição para a academia, que tem passado por dificuldades em obter recursos, e quando os consegue tem diversos outros materiais que demandam despesas mais justificáveis, tornando assim está uma iniciativa inovadora.

Outras aplicações serão propostas em pesquisas futuras para ampliar o escopo de utilização do deste *datalogger*.

REFERÊNCIAS

DIAS, Fernando Xavier; VENTURA, Rafael; BUENO, Miriam Pinheiro. Transferência de tecnologia na agricultura 4.0. Observatorio de La Economía Latinoamericana, v. 21, n. 11, p. 21865-21887, 2023. DOI: 10.55905/oelv21n11-177 Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/1448>. Acesso em: 11 jul. 2024.

MONTOYA, Edwin A. Q.; et al. Propuesta de una Arquitectura para Agricultura de Precisión Soportada en IoT RISTI. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação Núm. 24 Pág. 39-56, 2017. Disponível em: <https://scielo.pt/pdf/rist/n24/n24a05.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

VIOLA, Eduardo.; MENDES, Vinícius.. Agricultura 4.0 e mudanças climáticas no Brasil. Ambiente & Sociedade, v. 25, p. e02462, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Bwg7NVTs5kcrK6WRxbqh4LS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jul. 2024.

VILLAFUERTE, Andrés et al. Agricultura 4.0: estudo de inovação disruptiva no agronegócio brasileiro. In: International Symposium on Technological Innovation. 2018. p. 150-162. Disponível em: <http://www.api.org.br/conferences/index.php/ISTI2018/ISTI2018/paper/viewFile/567/276>. Acesso em: 10 jul 2024.