



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

KARLENO DOS REIS RIBEIRO

**Sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha:
Uma análise técnica da qualidade do produto, tempo de produção e
quantidade de lenha**

Projeto de Dissertação

Tucuruí
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA

KARLENO DOS REIS RIBEIRO

**Sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha:
Uma análise técnica da qualidade do produto, tempo de produção e
quantidade de lenha**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Sistemas

Orientador: Prof. Dr. Elton Rafael Alves

Tucuruí
2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

R484s Ribeiro, Karleno dos Reis.
 Sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas
 de farinha: Uma análise técnica da qualidade do produto, tempo de
 produção e quantidade de lenha / Karleno dos Reis Ribeiro. — 2025.
 102 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Elton Rafael Alves
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo
 de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Mestrado
 Profissional em Computação Aplicada, Tucuruí, 2025.

 1. Sistema de monitoramento de temperatura. 2. Casas de
 farinha. 3. Qualidade do produto. 4. Tempo de produção. 5.
 Quantidade de lenha. I. Título.

CDD 004

KARLENO DOS REIS RIBEIRO

**Sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha:
Uma análise técnica da qualidade do produto, tempo de produção e
quantidade de lenha**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Prof. Dr. Elton Rafael Alves

Aprovada em 27 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Elton Rafael Alves – Orientador – PPCA/UFPA

Prof. Dr. Fabrício Farias – Membro Interno – PPCA/UFPA

Prof. Dr. Warley Junior – Membro Externo – PPGCF/UNIFESSPA

Profa. Dra. Carmelita de Fátima Amaral Ribeiro – Membro Externo – Campus XIX/UEPA

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de vida e sabedoria, rendo toda honra e glória. Ao longo da minha jornada, Ele tem sido meu guia, iluminando meu caminho e fortalecendo-me nos desafios. Nos momentos de adversidade, concedeu-me força física, mental e espiritual. Com Sua presença, aprendi a acreditar em um futuro promissor, a enxergar o lado positivo da vida e a cultivar valores essenciais, como amor e perdão. Seu ensinamento é a base sobre a qual construo minha caminhada.

Aos meus pais, Carlos Assunção Ribeiro e Miriam dos Reis Ribeiro, e aos meus irmãos, Kezia dos Reis Ribeiro e Karley dos Reis Ribeiro, expresso minha profunda gratidão. Foram meu alicerce, ensinando-me a aprender, crescer e amadurecer. Mesmo diante dos meus erros, sempre depositaram em mim amor e confiança. Compartilhamos derrotas e vitórias, e, nos momentos difíceis, aprendemos juntos a valorizar o essencial da vida. A memória de minha mãe, que hoje descansa ao lado de Deus, segue viva em meu coração, inspirando-me a continuar e honrar seus ensinamentos.

À minha esposa, Juliana de Azevedo Praia, minha parceira desde 2018, expresso minha eterna gratidão. Seu apoio incondicional tem sido fundamental em minha caminhada. Juntos, compartilhamos experiências marcantes e enfrentamos desafios, sempre guiados pelo amor, pela superação e pela cumplicidade. A ela, meu reconhecimento por ser minha companheira de vida.

Agradeço à doutora Carmelita Ribeiro, pelo apoio e pela abertura das portas do campus XIX da Universidade do Estado do Pará, e ao discente Diego Bruno Figueiredo Serrão, pela assistência no laboratório da UEPA. Minha gratidão também à líder comunitária Marielle Lúcia Santos dos Santos, pelo suporte na comunidade Quilombola de São Benedito da Ponta, e à Marizete Barros da Silva, da comunidade de Pingo D'Água. Agradeço aos agricultores Abnonias da Silva Silva e Lucidelma Sales Dias, que gentilmente disponibilizaram sua casa de farinha, bem como seus conhecimentos e experiências.

Agradeço ainda ao meu amigo Thiago Nascimento, de Altamira, pela amizade e pelas valiosas trocas de experiência profissional e pessoal. Agradeço também aos colegas de trabalho do Arquivo Central da UFPA-Belém. Por fim, registro minha gratidão ao meu orientador, professor Dr. Elton Rafael Alves, pelo apoio e orientação ao longo desta jornada acadêmica.

RESUMO

A produção de farinha de mandioca é uma atividade essencial para a agricultura familiar brasileira, especialmente na região amazônica, onde desempenha um papel fundamental na subsistência econômica e cultural de diversas comunidades. Entretanto, a ausência de padronização no controle de temperatura durante as etapas de escaldagem e torragem nos fornos das casas de farinha pode comprometer a qualidade do produto final, aumentar o consumo de lenha e prolongar o tempo de produção. Diante desses desafios, este estudo investiga a viabilidade da implementação de um sistema de monitoramento de temperatura nesses fornos, com foco na melhoria da qualidade da farinha, na redução do tempo de produção e na economia do consumo de lenha. A pesquisa foi conduzida na comunidade quilombola de São Benedito da Ponta, localizada no município de Salvaterra, na Ilha de Marajó-PA, utilizando uma abordagem experimental com coleta de dados em campo. Para isso, foi desenvolvido um sistema de monitoramento térmico utilizando a plataforma Arduino, capaz de informar ao agricultor, em tempo real, a temperatura do forno durante o processo produtivo. Testes comparativos entre o método tradicional e a utilização do sistema permitiram avaliar os impactos do emprego da proposta. Os resultados demonstraram que a adoção do sistema possibilitou uma redução aproximada de 14,57% no consumo de lenha e de 11,67% no tempo total de produção, sem comprometer a qualidade da farinha. As análises físico-químicas realizadas indicaram que o produto obtido com o auxílio do sistema atendeu aos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 52/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), apresentando menor variação na granulometria e umidade. Esses achados reforçam o potencial da integração de tecnologias acessíveis à agricultura familiar, contribuindo para a modernização das casas de farinha sem descaracterizar as práticas tradicionais. Ademais, evidenciam a importância de investimentos em pesquisa e em políticas públicas que estimulem a adoção de sistemas de monitoramento de temperatura, visando aumentar a produtividade, promover a sustentabilidade e ampliar a competitividade do setor no mercado.

ABSTRACT

Cassava flour production is an essential activity for Brazilian family farming, especially in the Amazon region, where it plays a fundamental role in the economic and cultural subsistence of several communities. However, the lack of standardization in temperature control during the scalding and roasting stages in the ovens of flour mills can compromise the quality of the final product, increase firewood consumption and prolong production time. Given these challenges, this study investigates the feasibility of implementing a temperature monitoring system in these ovens, with a focus on improving flour quality, reducing production time and saving firewood consumption. The research was conducted in the quilombola community of São Benedito da Ponta, located in the municipality of Salvaterra, on Marajó Island, Pará, using an experimental approach with field data collection. To this end, a thermal monitoring system was developed using the Arduino platform, capable of informing the farmer, in real time, of the oven temperature during the production process. Comparative tests between the traditional method and the use of the system allowed the evaluation of the impacts of the proposal. The results showed that the adoption of the system enabled an approximate reduction of 14.57% in firewood consumption and 11.67% in the total production time, without compromising the quality of the flour. The physical-chemical analyses performed indicated that the product obtained with the aid of the system met the standards established by Normative Instruction No. 52/2011 of the Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (MAPA), presenting less variation in granulometry and humidity. These findings reinforce the potential of integrating technologies accessible to family farming, contributing to the modernization of flour mills without changing traditional practices. Furthermore, they highlight the importance of investments in research and public policies that encourage the adoption of temperature monitoring systems, aiming to increase productivity, promote sustainability and increase the sector's competitiveness in the market.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Casa de Farinha	32
Figura 2 – Princípio de Funcionamento do Termopar	40
Figura 3 – Temperatura Versus FEM de Termopares	41
Figura 4 – Elementos do RTD	42
Figura 5 – Termistor: PTC (a), NTC (b) e Simbologia (c)	42
Figura 6 – Funcionamento de Sensor Infravermelho	43
Figura 7 – Termopar Utilizado no Sistema de Monitoramento	46
Figura 8 – Módulo Max6675	47
Figura 9 – Arduino Mega2560	47
Figura 10 – Módulo Cartão MicroSD	48
Figura 11 – Módulo Relógio RTC DS3231	49
Figura 12 – Display LCD	50
Figura 13 – LEDs Transparente Alto Brilho 5mm	51
Figura 14 – Buzzer 3V	52
Figura 15 – Protoboard e Jumpers	53
Figura 16 – Cabo de Compensação Tipo K	53
Figura 17 – Cabo Adaptador Bateria e Bateria	54
Figura 18 – Interface IDE Arduino	55
Figura 19 – Interface Tinkercad	57
Figura 20 – Interface Google Colab	57
Figura 21 – Interface Figma	58
Figura 22 – Casa de farinha, Quilombo São Benedito da Ponta	60
Figura 23 – Forno e Lenha	61
Figura 24 – Diagrama de Bloco	62
Figura 25 – Visão Geral do SMT	63
Figura 26 – Vista do Circuito	64
Figura 27 – Vista Esquemática	64
Figura 28 – Integração do SMT ao Forno Artesanal	67
Figura 29 – Fluxograma das Etapas de Produção da Farinha com Orientações do Sistema de Monitoramento Térmico	69
Figura 30 – Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 1ª Produção de Farinha.	72
Figura 31 – Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 2ª Produção de Farinha.	72
Figura 32 – Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 3ª Produção de Farinha.	73
Figura 33 – Comparação dos Resultados Físico-Químicos da Farinha de Mandioca com e sem o Uso do Sistema de Monitoramento de Temperatura	76
Figura 34 – Comparação do Consumo de Lenha com e sem o Sistema de Monitoramento (ANOVA)	78

Figura 35 – Redução de CO ₂ Equivalente a um Carro Popular Rodando 11.304 km . . .	82
Figura 36 – Comparação do Tempo de Produção da Farinha de Mandioca	84
Figura 37 – Comparação Sensorial	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características de Termopares	41
Tabela 2 – Tipos de Arduino	44
Tabela 3 – Lista de Bibliotecas	56
Tabela 4 – Lista de Componentes e Valores	65
Tabela 5 – Temperaturas nas Fases do Processo	68
Tabela 6 – Caracterização Físico-Química da Farinha Sem o Emprego do Sistema de Monitoramento.	74
Tabela 7 – Caracterização Físico-Química da Farinha com o Emprego do Sistema de Monitoramento.	74
Tabela 8 – Resumo das Produções com e sem o Uso do Sistema de Monitoramento de Temperatura	77
Tabela 9 – Projeção de economia com o uso do sistema de monitoramento de temperatura.	82
Tabela 10 – Tempo de Produção de Farinha de Mandioca.	83
Tabela 11 – Média das Avaliações Sensoriais para A1 e A2	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	American National Standards Institute
ARM	Advanced RISC Machine
AVR	Advanced Virtual RISC
AWG	American Wire Gauge
BPF	Boas Práticas de Fabricação
C	Graus Celsius
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
Clock	Relógio
CS	Chip Select
CSV	Comma-Separated Values
DOI	Digital Object Identifier
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization
FEM	Força Eletromotriz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDE	Integrated Development Environment
IHM	Interface Homem-Máquina
INSA	Insegurança Alimentar
I/O	Input/Output
IoT	Internet of Things
Kg	Kilograma
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MAX6675	Módulo Sensor de Temperatura
MHz	Megahertz
MISO	Master in Slave Out
NTC	Negative Temperature Coeficient
PA	Pará
PIC	Peripheral Interface Controller
PPCA	Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada
PTC	Positive Temperature Coeficient
PWM	Pulse Width Modulation
RTC	Real Time Clock
RTD	Resistance Temperature Detector
SMT	Sistema de Monitoramento de Temperatura
SCK	Serial Clock
SD	Secure Digital Card
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Acess Memory
UEPA	Universidade do Estado do Pará
UFPA	Universidade Federal do Pará
USB	Universal Serial Bus
V	Volts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contexto, Problema e Questões de Pesquisa	17
1.2	Motivação	19
1.3	Justificativa	20
1.4	Objetivos	21
1.4.1	Objetivo Geral	21
1.4.2	Objetivos Específicos	21
1.5	Principais Contribuições	22
1.6	Trabalhos Relacionados	23
1.7	Estrutura da Dissertação	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	Agricultura Familiar e Casas de Farinha	27
2.1.1	Agricultura Familiar: Definição, Características e Importância	27
2.1.2	Desafios da Agricultura Familiar	28
2.1.3	Mandiocultura e Casas de Farinha: Aspectos Sociais e Produtivos	29
2.1.4	Casas de Farinha: Definição, Classificação e Processo Produtivo	30
2.1.5	Importância Econômica e Social e Desafios Atuais	32
2.2	Qualidade, Segurança Alimentar e Sustentabilidade	34
2.2.1	Padrões de Qualidade e Boas Práticas de Fabricação	34
2.2.2	Uso da Lenha, Tempo de Produção e Impactos Ambientais	35
2.2.3	Sustentabilidade e Tecnologias Sociais na Agricultura Familiar	36
2.2.4	Práticas Sustentáveis e Tecnologias de Apoio	37
2.2.5	Contribuições do Monitoramento Térmico para a Sustentabilidade	37
2.3	Fundamentos Técnicos para Monitoramento Térmico	37
2.3.1	Medidas de Temperatura: Conceitos e Aplicações	38
2.3.2	Critérios para a Seleção de Sensores de Temperatura	38
2.3.3	Sensores de Temperatura: Aplicações e Tipos	38
2.3.3.1	Termopares	40
2.3.3.2	Termômetros de Resistência (RTD)	41
2.3.3.3	Termistores	42
2.3.3.4	Sensores Infravermelhos	42
2.3.4	Considerações sobre a Escolha do Sensor	43
2.4	Plataformas e Tecnologias Aplicadas	43
2.4.1	Aplicações do Arduino na Agricultura	45
2.4.2	Seleção da Placa Arduino Mega 2560	45
2.4.3	Tecnologias Utilizadas	45
2.4.3.1	Sensores	45

2.4.3.2	Módulo Max6675	46
2.4.3.3	Placa Arduino	47
2.4.3.4	Módulo Cartão Micro SD	47
2.4.3.5	Módulo Relógio RTC DS3231	48
2.4.3.6	Liquid Crystal Display – LCD	49
2.4.3.7	LED	50
2.4.3.8	Sinalizar Sonoro - Buzzer	51
2.4.3.9	Protoboard e Jampers	52
2.4.3.10	Cabo De Compensação Tipo K 2x24 Awg Ansi Aço / Fibra 1 Metro	53
2.4.3.11	Cabo Adaptador e Bateria 9v	54
2.4.3.12	Balança Digital	54
2.4.3.13	IDE Arduino	54
2.4.3.14	Bibliotecas	55
2.4.3.15	Tinkercad	56
2.4.3.16	Google Colab	57
2.4.3.17	Figma	58
3	METODOLOGIA	59
3.1	Tipo de Pesquisa e Abordagem Metodológica	59
3.2	Delimitação e Caracterização da Área de Estudo	59
3.2.1	Modelo Produtivo Tradicional	60
3.2.2	Infraestrutura da Casa de Farinha	60
3.2.3	Características do Forno	61
3.3	Desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT)	61
3.3.1	Diagrama de Bloco	62
3.3.2	Arquitetura do Sistema de Monitoramento	62
3.3.3	Esquema Eletrônico do Sistema	64
3.3.4	Valores dos Materiais Utilizados	65
3.3.5	Integração Física do SMT ao Ambiente de Produção	66
3.4	Protocolo Experimental	67
3.4.1	Procedimentos de Coleta de Dados	67
3.4.2	Testes com e sem o Sistema	70
3.4.3	Avaliação Sensorial e Análises Físico-Químicas	70
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1	Avaliação do Desempenho Térmico com Base nos Gráficos de Temperatura	71
4.2	Avaliação Físico-Química da Farinha de Mandioca	73
4.2.1	Farinha Produzida sem o Sistema de Monitoramento	73
4.2.2	Farinha Produzida com o Sistema de Monitoramento	74
4.2.3	Comparação Gráfica dos Resultados	75
4.3	Análise Comparativa do Consumo de Lenha	76

4.3.1	Dados Experimentais do Consumo de Lenha	77
4.3.2	Análise Estatística do Consumo	77
4.3.3	Projeção Anual de Economia de Lenha por Ciclo Produtivo	78
4.3.4	Estimativa de Redução de Emissões de CO ₂ a Partir da Economia de Lenha .	79
4.3.5	Estimativa de Economia com Base em Dias Úteis de Produção	79
4.3.6	Conversão Financeira da Biomassa Economizada	79
4.3.7	Projeção da Redução Total de CO ₂ Associada à Produção Anual	80
4.3.8	Equivalência da Redução de CO ₂ com Emissão de Veículos Automotores . .	81
4.3.9	Projeção Integrada de Economia de Lenha, Custos e Emissões de CO ₂ . . .	82
4.4	Avaliação do Tempo de Produção	83
4.4.1	Dados Temporais por Etapa do Processo	83
4.4.2	Discussão dos Resultados Temporais	83
4.5	Avaliação Sensorial da Farinha de Mandioca	84
4.5.1	Metodologia da Avaliação Sensorial	84
4.5.2	Resultados Obtidos	85
4.6	Discussão dos Resultados Obtidos	86
4.6.1	Conexão com Estudos Anteriores	86
4.6.2	Impactos Sociais e Ambientais	86
4.6.3	Viabilidade e Expansão da Tecnologia	87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
5.1	Conclusões	88
5.2	Limitações do Estudo	89
5.3	Sugestões para Trabalhos Futuros	89
	REFERÊNCIAS	91
6	APÊNDICE	102
6.1	Apêndice A - Ficha de Avaliação Sensorial	102

1 INTRODUÇÃO

A farinha de mandioca é um alimento de origem indígena profundamente incorporado à cultura alimentar brasileira, exercendo papel central na subsistência, na identidade cultural e na economia de diversas regiões do país (Silva, 2024). Sua produção está amplamente difundida no território nacional, sobretudo em contextos de agricultura familiar, nos quais frequentemente representa a principal fonte de renda e constitui item indispensável na dieta cotidiana (Ayache; Pedrinho; Neto, 2021).

Obtida a partir das raízes da mandioca, a farinha passa por processos específicos de transformação. O estado do Pará lidera a produção nacional, com uma média anual de 4,1 milhões de toneladas, contribuindo significativamente para o mercado interno (IBGE, 2023). Em comunidades rurais, a produção artesanal é uma tradição transmitida entre gerações, especialmente nas emblemáticas *casas de farinha*¹, locais onde a mandioca, principal matéria-prima, é processada até se transformar em farinha, um alimento básico da dieta amazônica (Corrêa, 2019).

No arquipélago do Marajó, o município de Salvaterra se destaca pela preservação de métodos tradicionais no processo de fabricação da farinha. Segundo Rocha, Dionísio e Bezerra (2024), a produção é manual e coletiva, composta por etapas como o arranquio da mandioca, transporte, raspagem, prensagem e torrefação. O uso de equipamentos rudimentares e a predominância de mão de obra familiar ou comunitária caracterizam esse modelo produtivo. As etapas de escaldagem e torragem, realizadas em fornos a lenha, são determinantes para a textura, o sabor e a qualidade final do produto (Stahlhöfer, 2019).

Apesar de sua relevância cultural e econômica, a produção artesanal de farinha apresenta desafios, como a carência de avanços tecnológicos ao longo dos anos. Sobre isso, Brito (2017) salienta que a maioria dos produtores ainda utilizam ferramentas rudimentares, como terçados e facões, evidenciando a necessidade de tecnologias acessíveis e adaptadas para atender às demandas dos pequenos produtores. A modernização dessa produção pode melhorar etapas como extração, transporte e descascamento, aumentando a eficiência e melhorando as condições de trabalho.

Diante desse cenário um dos principais desafios enfrentados nesse processo de produção é o controle adequado da temperatura nos fornos utilizados para o cozimento e torra da massa de mandioca. Esse controle é geralmente realizado de forma empírica, baseado na experiência dos produtores, o que pode levar a variações significativas na qualidade do produto final, além de desperdícios de lenha e aumento do tempo de produção. Essa falta de padronização também pode influenciar na competitividade dos produtos em mercados mais amplos, onde há demandas crescentes por qualidade e produtividade.

¹ São espaços tradicionais, geralmente comunitários, onde ocorre o processamento artesanal da mandioca para produzir farinha e outros derivados. Segundo Corrêa (2019) são locais onde a mandioca, principal matéria-prima, é processada até se transformar em farinha.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo investigar de que forma o monitoramento da temperatura em fornos de casas de farinha, utilizados na produção artesanal de farinha de mandioca, pode ser aprimorado com o uso de uma plataforma baseada em Arduino. O sistema desenvolvido tem por finalidade auxiliar os agricultores no acompanhamento das variações térmicas durante as etapas de escaldagem e torragem, fornecendo informações em tempo real sobre a temperatura do forno, a fim de orientar intervenções manuais mais precisas no manejo do fogo e da lenha.

Um dos processos mais importantes na produção de farinha é a escaldagem ou grolagem e a torragem, torra ou torração. Embora os termos possam variar conforme a região, estado ou cidade, essas etapas desempenham papéis cruciais no resultado final. A escaldagem, realizada na região do Marajó, consiste em um tratamento térmico aplicado à massa esfarelada, com o objetivo de aumentar a granulometria da farinha, conferir o sabor característico ao produto e remover grande parte do ácido cianídrico ainda presente. Já a torragem tem uma grande influência na qualidade, pois é responsável por definir a cor, o sabor e a durabilidade da farinha. Essas etapas são tradicionalmente realizadas em tachos de cobre, cilindros rotativos ou em fornos de argila (Chisté e Cohen, 2006) (Stahlhöfer, 2019) (Folegatti, Matsuura e Filho, 2005).

Os benefícios esperados nesse sistema buscam contribuir para a uniformidade na produção, em consonância com as diretrizes estabelecidas pela Instrução Normativa; diminuição do tempo necessário para as etapas de escaldagem e torragem e redução do consumo de lenha, principal combustível utilizado no processo.

A regulamentação da farinha de mandioca no Brasil é estabelecida pela Instrução Normativa nº 52, de 7 de novembro de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Este documento define o padrão oficial de classificação da farinha de mandioca, estabelecendo requisitos de identidade e qualidade, critérios de amostragem, formas de apresentação e exigências de rotulagem. A normativa visa garantir a qualidade do produto e a segurança alimentar (Brasil, 2011).

Neste sentido, a implementação das propostas neste estudo busca também contribuir na agricultura familiar, integrando sistemas de monitoramento térmico às práticas tradicionais para aprimorar a qualidade e a eficiência do processo produtivo, além de fortalecer a economia e valorizar a cultura local. Como aponta Rocha, Dionísio e Bezerra (2024), as casas de farinha representam não apenas os saberes tradicionais, mas também constituem um importante sustento econômico, fortalecendo os laços identitários durante a produção do alimento, aumentando a renda familiar e promovendo os vínculos do trabalho comunitário.

1.1 Contexto, Problema e Questões de Pesquisa

A produção artesanal de farinha no Quilombo² de São Benedito da Ponta, localizado no município de Salvaterra – Ilha de Marajó - PA é caracterizada por práticas tradicionais que influenciam diretamente em sua qualidade. Sobre isso, Neves et al., (2020) enaltece que as etapas como pré-gelatinização³ e torração dependem de fatores, tais como: tipo de forno, temperatura e tempo, o que podem influenciar na padronização do produto.

Enquanto algumas casas de farinha semiartesaniais utilizam equipamentos como fornos elétricos e prensas hidráulicas, as casas de farinha artesanais ainda dependem de métodos tradicionais. Nesse contexto, Abreu e Claudino (2020) destacam o conceito de "tecnologias híbridas" na produção de farinha, que inclui artefatos desenvolvidos pelos próprios agricultores.

Neste estudo, será utilizado os termos *meios tecnológicos*, *inovação tecnológica*, *tecnologia e tecnologia avançada*, conforme citado por Santos (2018), Souza et al., (2024) e Pinto (2005), para referir-se a ferramentas ou equipamentos que operam com eletricidade ou sistemas hidráulicos, como fornos elétricos, trituradores elétricos e prensas hidráulicas. Esses equipamentos são amplamente empregados em casas de farinha, tanto em contextos de produção semiartesanal quanto industrial.

Santos (2018) salienta que, na Comunidade Quilombola de Santa Rita de Barreira-PA, a introdução de tecnologias no processo de produção de farinha de mandioca resultou em um aumento significativo da produção semanal, passando de 120 kg para 1.200 kg. Além disso, a adoção desses recursos tecnológicos reduziu consideravelmente o esforço físico dos trabalhadores.

Seguindo essa proposta, o desenvolvimento do protótipo de monitoramento de temperatura tem como objetivo auxiliar na regulação térmica do forno, buscando garantir uma produção mais uniforme da farinha. Além disso, espera-se que o uso do sistema contribua para a redução do tempo de processamento e do consumo de lenha, otimizando o desempenho do processo produtivo nas casas de farinha. De acordo com Brito e Gomes (2023), o processo tradicional de torra demanda o revezamento entre dois agricultores, como forma de mitigar o tempo de exposição ao calor intenso do forno. Nesse sentido, o monitoramento térmico também pode representar uma melhoria nas condições de trabalho dos operadores, reduzindo a necessidade de intervenção humana direta e contínua durante o processo.

Nessa configuração, as casas de farinha artesanais e semiartesaniais apresentam diferenças

² Relativo ou pertencente aos descendentes das comunidades tradicionais afro descendente formadas nos quilombos que, por meio da tradição oral e da memória coletiva, mantiveram vivo o patrimônio cultural de matriz africana (ex.: educação escolar quilombola; líder quilombola). O Quilombo São Benedito da Ponta, em Salvaterra-PA, foi certificado como remanescente de quilombo pela Fundação Cultural Palmares, Ipatrimônio (2024).

³ De acordo Ribeiro, Baptista e Novais (2024), confere aos amidos nativos ou modificados a capacidade de absorção de água a frio que, dessa forma, não é necessário o cozimento em altas temperaturas para a obtenção da viscosidade e consistência.

significativas em relação ao processo produtivo. Nas casas artesanais, o trabalho é realizado predominantemente de forma manual, resultando em elevada carga física para os trabalhadores e baixa produtividade (Souza e Menegon, 2015). Por outro lado, as casas semiartesanais incorporam equipamentos que otimizam o processo produtivo, promovendo maior produtividade e viabilidade econômica (Alves e Modesto Júnior, 2021).

Dessa forma, a modernização do processo produtivo na agricultura familiar ainda ocorre de forma lenta. De acordo com Gomes (2019), um dos principais obstáculos para essa mudança é a falta de apoio dos órgãos públicos financiadores. O descaso com os pequenos agricultores ainda dificulta a adoção de aparatos tecnológicos no processo produtivo. O uso de tecnologias avançadas apresenta benefícios, como a redução da carga física, diminuição dos custos operacionais e promoção da sustentabilidade do setor. Essas tecnologias, além de respeitarem as práticas culturais, também contribuem para o fortalecimento da economia, introduzindo novos padrões de qualidade, garantindo a conformidade com normas legais e ampliando o acesso a mercados mais exigentes.

Souza et al., (2024) destacam a importância de priorizar investimentos em extensão rural e assistência técnica para promover a disseminação de boas práticas na produção de farinha, contribuindo para a modernização e competitividade da agricultura familiar. Ribeiro, Baptista e Novais (2024) corroboram que é necessário investir em pesquisa, desenvolvimento, infraestrutura, logística, políticas públicas de incentivo, capacitação dos produtores e estratégias de agregação de valor e diversificação dos produtos, além de adotar tecnologias e buscar subsídios para exportações.

Neste cenário, a modernização desses processos torna-se notável para melhorar a eficiência produtiva e a qualidade do produto final. Apesar das casas de farinha estarem presentes em todo o país, ainda há poucos estudos que abordem as especificidades técnicas relacionadas ao monitoramento térmico durante as etapas de produção. Em particular, a literatura científica carece de análises que integrem aspectos como a relação entre a temperatura ideal de torração, a uniformidade do produto final, e o consumo de recursos como lenha, um dos principais insumos energéticos dessas unidades.

Sousa e Ramos (2023) apontam que o monitoramento e a aplicação correta das temperaturas são fundamentais para garantir uma farinha de qualidade. Nesse contexto, o uso de tecnologias de monitoramento em fornos de casas de farinha apresenta-se como uma alternativa viável para modernizar o processo produtivo, mantendo as características essenciais da atividade tradicional.

Nesse sentido, o acompanhamento da temperatura durante o processo de produção da farinha busca contribuir para a padronização da qualidade do produto, tornando-o mais uniforme e alinhado às exigências do mercado, conforme a Instrução Normativa MAPA nº 52/2011 (Brasil, 2011). Além disso, visa-se à redução do tempo de produção e à melhoria das etapas de escaldagem e torração por meio da disponibilização de dados térmicos em tempo real, que

auxiliam na tomada de decisões operacionais por parte dos agricultores. Nesse contexto, Souza e Menegon (2015) destacam que o aumento da eficiência das unidades semi-mecanizadas, em comparação às manuais, é um fator relevante para alcançar esses objetivos. Outro benefício está na possibilidade de redução do consumo de lenha. Embora seja uma fonte de energia de baixo custo, seu uso excessivo acarreta impactos ambientais significativos, como apontado por Ayache, Pedrinho e Neto (2021). Dessa forma, a adoção de sistemas de monitoramento pode contribuir para práticas mais sustentáveis, atendendo simultaneamente às demandas ambientais e econômicas.

Portanto, a implementação de tecnologias voltadas ao monitoramento busca não apenas modernizar a produção, mas também tornar o processo simples e melhorar os resultados, reduzindo o consumo de recursos e aprimorando a qualidade do produto, o tempo de produção e o uso da lenha. Com base nesses desafios e na importância da atividade para a economia local, este trabalho busca responder à seguinte questão norteadora: *Como o monitoramento de temperatura nos fornos de casas de farinha pode impactar a qualidade do produto, o tempo de produção e o consumo de lenha?*

1.2 Motivação

A cidade de Salvaterra, localizada na Ilha do Marajó, no estado do Pará, possui uma forte relação com a agricultura familiar, em especial com a mandiocultura. Com uma população predominantemente rural, sua economia é sustentada por atividades como pesca, artesanato e, principalmente, a produção agrícola. Entre as culturas de maior destaque, a mandioca ocupa posição central por sua resistência e adaptação ao clima paraense, garantindo a subsistência de muitas famílias (Nogueira et al., 2021). Tradicionalmente, o cultivo e o processamento dessa raiz são realizados por métodos rudimentares, resultando em produtos como a farinha, essencial tanto para a segurança alimentar quanto para a geração de renda local (Silva et al., 2021).

Além de sua relevância econômica, a mandiocultura representa um importante elemento da identidade cultural e social de Salvaterra. Contudo, muitas famílias da região, especialmente as comunidades quilombolas, ainda desenvolvem suas atividades em condições precárias, utilizando ferramentas tradicionais e enfrentando limitações que comprometem sua produtividade e qualidade de vida. Esse cenário evidencia a necessidade de iniciativas que promovam não apenas ganhos técnicos e produtivos, mas também avanços sociais e culturais.

Nesse contexto, torna-se essencial refletir sobre o papel da sustentabilidade como eixo de transformação das práticas produtivas locais. Segundo Azevedo et al. (2023), a agricultura sustentável é compreendida como aquela que mantém a capacidade produtiva dos recursos naturais, assegurando a produção em quantidade e qualidade em benefício da humanidade, em consonância com os princípios da Agroecologia. A adoção de alternativas tecnológicas alinhadas a esses princípios pode representar uma oportunidade para integrar o saber tradicional

às inovações modernas, promovendo benefícios em produtividade, sustentabilidade e melhoria da qualidade de vida.

Assim, este estudo surge do desejo de contribuir para a modernização das casas de farinha no município de Salvaterra, buscando caminhos que favoreçam a adoção de tecnologias acessíveis e adequadas ao contexto da agricultura familiar. A escassa utilização de inovações tecnológicas na mandiocultura marajoara, agravada pela carência de conhecimento técnico e de infraestrutura, reforça a importância de propostas que conciliem tradição e inovação, fortalecendo a resiliência socioeconômica e ambiental das comunidades locais.

1.3 Justificativa

A mandiocultura desempenha um papel essencial na economia, cultura e segurança alimentar do Quilombo de São Benedito da Ponta, localizado em Salvaterra, no arquipélago do Marajó. Além de ser uma fonte de renda, a produção de mandioca contribui para a preservação de tradições culturais da comunidade. No entanto, apesar de sua importância, a produção de farinha de mandioca enfrenta desafios, decorrentes do uso de métodos tradicionais, da carência de recursos tecnológicos e da infraestrutura inadequada. Esses fatores podem comprometer o potencial produtivo e dificultar melhorias das condições de trabalho e da qualidade de vida da comunidade.

Entre os principais desafios enfrentados no processo produtivo das casas de farinha, destaca-se o controle da temperatura nos fornos, fator crucial para assegurar a padronização e a qualidade do produto final. Atualmente, esse controle é realizado de forma empírica, com base exclusivamente na experiência do agricultor, o que pode comprometer a precisão do processo. A ausência de tecnologias de apoio ou de sistemas de monitoramento pode ocasionar diversos problemas, como o desperdício de matéria-prima, o aumento no uso de lenha e o prolongamento do tempo de trabalho dos produtores. Além disso, observa-se, a falta de apoio em tecnologias voltadas à mandiocultura e de alternativas que promovam maior eficiência produtiva e contribuam para o fortalecimento da agricultura familiar.

A justificativa para este estudo está pautada na necessidade de enfrentar as lacunas tecnológicas presentes na agricultura familiar do Quilombo de São Benedito da Ponta-PA, por meio da aplicação de um sistema voltado ao acompanhamento das condições térmicas nos fornos das casas de farinha. A implementação dessa alternativa visa reduzir a inconsistência na produção decorrente do controle empírico, oferecendo orientações em tempo real sobre as faixas de temperatura mais adequadas durante as etapas de escaldagem e torragem. O desenvolvimento do sistema fundamenta-se na identificação colaborativa, junto aos agricultores, das faixas térmicas ideais e na análise de dados coletados em produções locais, permitindo a definição de parâmetros operacionais mais precisos para cada etapa do processo.

Do ponto de vista científico, este trabalho é relevante diante da escassez de estudos sobre

o acompanhamento das condições térmicas em fornos de casas de farinha na região marajoara, especialmente no que se refere à aplicação de sistemas voltados à melhoria do processo produtivo. Levantamentos realizados em repositórios da CAPES e em periódicos científicos evidenciam uma lacuna significativa em pesquisas que integrem tecnologia e mandiocultura no contexto da agricultura familiar. Doravante, a investigação busca preencher essa lacuna, oferecendo conhecimento que beneficie os agricultores locais e promova avanços econômicos, culturais e sociais.

Portanto, o sistema de monitoramento térmico proposto para os fornos das casas de farinha busca melhorar o processo produtivo por meio do emprego de sensor, coleta de dados e análise em tempo real. Essa abordagem promove inovação, impacto social e sustentabilidade, ampliando os horizontes da computação aplicada ao adaptar tecnologias às necessidades de comunidades rurais.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Investigar os impactos da implementação de um sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha da comunidade quilombola de São Benedito da Ponta (Salvaterra-PA), com foco na qualidade do produto, no tempo de produção e no consumo de lenha.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Desenvolver um sistema de monitoramento de temperatura para fornos de casas de farinha, a fim de informar o agricultor sobre as condições térmicas e favorecer a estabilidade do calor nas etapas de escaldagem e torragem da mandioca;
2. Avaliar o desempenho térmico do sistema em condições reais de uso;
3. Analisar a influência do monitoramento da temperatura na qualidade da farinha de mandioca, com base nos padrões da Instrução Normativa nº 52/20111;
4. Verificar os impactos do sistema sobre o consumo de lenha durante a produção;
5. Avaliar o impacto do sistema no tempo de produção da farinha;
6. Realizar uma análise sensorial da farinha produzida com e sem o sistema, considerando a aceitação por consumidores.

1.5 Principais Contribuições

Este estudo tem como principal objetivo contribuir para o aprimoramento do monitoramento de temperatura em fornos utilizados nas casas de farinha, com o intuito de melhorar a qualidade do produto final, reduzir o tempo de produção e diminuir o consumo de lenha. Essa iniciativa visa beneficiar diretamente a agricultura familiar dedicada à mandiocultura, especialmente em regiões com limitações de infraestrutura e acesso a tecnologias.

A partir da fundamentação teórica e da realização de análises práticas no quilombo de São Benedito da Ponta, localizado em Salvaterra, na Ilha de Marajó (PA), foi desenvolvido um sistema de monitoramento de temperatura composto por sensor térmico e controlador eletrônico. Essa solução tecnológica busca tornar o processo produtivo mais preciso e eficiente, promovendo autonomia aos agricultores, independentemente de sua experiência prévia no manuseio de fornos de casas de farinha.

O sistema proposto permite a condução do processo de produção da farinha de mandioca com maior segurança e uniformidade, por meio de orientações em tempo real em cada etapa da produção. Além de otimizar o processo, o equipamento valoriza a agricultura familiar ao estimular a adoção de tecnologias que incrementam a produtividade operacional e promovem a sustentabilidade no uso dos recursos naturais.

Ao integrar inovações tecnológicas às práticas tradicionais, este estudo não apenas contribui para a modernização da produção artesanal de farinha, como também fortalece a cultura da mandiocultura e amplia as oportunidades para a implementação de novas tecnologias no meio rural. Essa iniciativa colabora, ainda, para a valorização dos produtos derivados da mandioca no mercado, promovendo o reconhecimento e a agregação de valor à produção local.

Ademais, o desenvolvimento da proposta busca oferecer soluções inovadoras e sustentáveis para enfrentar os desafios ambientais, sociais e econômicos, com especial foco na realidade amazônica. A pesquisa reflete o compromisso do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPCA) ao propor uma solução tecnológica que alia produtividade à sustentabilidade ambiental, contribuindo para o avanço do conhecimento científico na área de computação aplicada. Essa abordagem demonstra a capacidade de integrar metodologias interdisciplinares voltadas à consolidação de práticas e produtos inovadores com foco no desenvolvimento regional.

No aspecto social, o estudo promove a inclusão tecnológica e o fortalecimento da agricultura familiar, especialmente em comunidades onde a mandiocultura representa uma das principais fontes de subsistência. O uso do equipamento de monitoramento facilita o trabalho dos agricultores e possibilita que indivíduos com pouca ou nenhuma experiência desempenhem suas atividades com precisão. A integração entre saberes tradicionais e inovações tecnológicas contribui, ainda, para a preservação do patrimônio cultural associado à produção de farinha de mandioca.

Por fim, ao tratar de questões relacionadas à sustentabilidade e à produtividade, esta

pesquisa reforça o papel da ciência no enfrentamento de problemas reais e mostra o impacto positivo que a tecnologia pode gerar no cotidiano das comunidades rurais. A proposta contribui diretamente para o fortalecimento do desenvolvimento regional, de forma acessível, inclusiva e alinhada com as necessidades locais.

1.6 Trabalhos Relacionados

A presente pesquisa dialoga com diversos trabalhos acadêmicos que abordam o controle de temperatura, a qualidade da farinha de mandioca, o consumo energético e o uso de tecnologias em ambientes produtivos. Embora nem todos estejam inseridos no contexto da agricultura familiar, esses estudos oferecem importantes fundamentos conceituais e práticos para a modernização das casas de farinha. A seguir, apresentam-se os principais estudos relacionados, organizados conforme a proximidade com os objetivos desta dissertação:

Trabalho 1 — Fauzi, Sepeeh e Zulkifli (2021): Desenvolveram um sistema de monitoramento térmico em tempo real para caldeiras industriais com NodeMCU ESP8266 e Blynk. A contribuição mostra o potencial da IoT para controle térmico. Contudo, limita-se ao setor industrial. A proposta desta dissertação preenche a lacuna ao transpor tais soluções para o contexto artesanal das casas de farinha, adaptando-as às condições da agricultura familiar.

Trabalho 2 — Rodrigues et al. (2021): Propuseram controle de temperatura e umidade com ESP32 em composteiras. Embora demonstre viabilidade em ambientes rurais, não considera processos produtivos alimentares. A presente pesquisa amplia essa perspectiva ao aplicar hardware acessível no monitoramento térmico em fornos, integrando qualidade do produto e eficiência energética.

Trabalho 3 — Álvares, Souza e Lambertucci (2022): Evidenciam a relevância do controle térmico para a qualidade físico-química da farinha, mas não apresentam um sistema prático de monitoramento. A presente dissertação contribui para essa lacuna ao propor e testar experimentalmente um sistema embarcado, possibilitando maior padronização nas etapas de escaldagem e torragem.

Trabalho 4 — Lima et al. (2019): Criaram um protótipo com Arduino para conservação de vacinas, com princípios como Poka Yoke. Apesar de mostrar eficiência em saúde, não dialoga com a realidade agrícola. A pesquisa aqui descrita adapta tais fundamentos técnicos ao setor agroalimentar artesanal.

Trabalho 5 — Ramos (2017): Desenvolveu controle PID aplicado à brassagem de cerveja artesanal, assegurando estabilidade térmica. A presente dissertação diferencia-se por empregar o mesmo princípio no processamento artesanal da mandioca, relacionando estabilidade térmica à qualidade final e à redução de insumos.

Trabalho 6 — Cabó (2015): Propôs sistema microcontrolado com lógica fuzzy em

fornos cerâmicos, priorizando eficiência energética. Embora avançado, não contempla ambientes de agricultura familiar. O trabalho em pauta adapta esse enfoque para casas de farinha, unindo eficiência energética e valorização sociocultural.

Trabalho 7 — Borges et al. (2018): Automatizaram controle térmico em instalações suínícolas com Arduino, baseando-se em entalpia. Apesar de alinhado à sustentabilidade, não aborda processos alimentares tradicionais. Esta pesquisa incorpora princípios semelhantes, mas voltados à farinha de mandioca.

Trabalho 8 — Santos (2014): Desenvolveu-se um sistema automatizado de irrigação para pequenas propriedades, utilizando Arduino e sensores, com foco em práticas de sustentabilidade e eficiência na horticultura. Embora apresente contribuição relevante nesse contexto, não contempla aspectos de controle térmico. A presente dissertação amplia esse uso tecnológico ao aplicá-lo ao processo artesanal de torração da mandioca, estabelecendo relação entre estabilidade térmica, qualidade final do produto e uso racional de recursos.

Trabalho 9 — Nedelcu (2024): Desenvolveu monitoramento com Raspberry Pi 3, termopar tipo K e MAX6675 para ambientes industriais. Embora robusto, apresenta custo elevado e pouca acessibilidade. O sistema proposto nesta dissertação, ao empregar Arduino Mega 2560, prioriza baixo custo e replicabilidade em comunidades.

Trabalho 10 — Silva, Souza e Souza (2021): Investigam os custos de produção de farinha em agroindústria catarinense, evidenciando o impacto do consumo energético. Embora não tragam uma solução técnica, o trabalho reforça a necessidade de tecnologias que otimizem recursos e promovam sustentabilidade, como o sistema proposto nesta dissertação.

Trabalho 11 — Alves e Modesto Júnior (2017): Avaliam os impactos ambientais do uso intensivo de lenha na produção de farinha e defendem práticas sustentáveis, como o reaproveitamento de resíduos. No entanto, não apresentam um método técnico de mitigação. A presente dissertação contribui nesse sentido ao propor um sistema de monitoramento térmico que oferece solução direta para a redução do consumo de lenha e das emissões associadas.

Trabalho 12 — Silva Júnior e Cruz (2019): Estudam a incorporação de tecnologias em uma agroindústria familiar em Bragança (PA), com melhorias observadas na qualidade do produto. Embora o controle térmico não seja o foco, o estudo demonstra o valor da inovação para elevar a eficiência e a sustentabilidade produtiva, princípios centrais da dissertação.

Trabalho 13 — Lima et al. (2020): Analisam o cenário da agricultura familiar em Jacarequara, evidenciando práticas tradicionais e a baixa tecnificação, além de apresentarem dados socioeconômicos relevantes. Embora o estudo ofereça importante caracterização do contexto local, não propõe soluções práticas. Esta dissertação atua diretamente nessa lacuna ao apresentar uma proposta tecnológica concreta, voltada a agricultores familiares, por meio da aplicação de um sistema de monitoramento térmico.

Trabalho 14 — Alves, Gutjahr e Pontes (2020): Investigam o perfil de agricultores

familiares em Marapanim (PA), destacando a mandioca como base econômica e evidenciando carências estruturais que limitam a autonomia produtiva. O estudo reforça a necessidade de soluções técnicas para o desenvolvimento sustentável, lacuna à qual esta dissertação responde ao propor um sistema de monitoramento térmico.

Trabalho 15 — Brito e Gomes (2023): Refletem sobre os aspectos socioculturais das casas de farinha em Amontada (CE), destacando a relevância comunitária dessa prática. Embora não proponham soluções tecnológicas, fundamentam a necessidade de aperfeiçoamento nos processos produtivos. A presente dissertação complementa esse enfoque ao inserir inovação que respeita a tradição cultural e comunitária.

Com base nos trabalhos 1 a 15, que abordam soluções diversas — como Internet das Coisas (IoT), controle PID, lógica fuzzy, sensores, automação de irrigação, além de análises econômicas e socioculturais —, evidencia-se que, embora contribuam para o avanço do entendimento sobre controle térmico, sustentabilidade e inovação em ambientes produtivos, tais estudos não contemplam a aplicação integrada dessas tecnologias ao contexto das casas de farinha. Essa ausência configura uma lacuna na literatura, especialmente no que diz respeito a soluções tecnológicas adaptadas à realidade da agricultura familiar.

A presente dissertação busca responder a essa lacuna ao propor e validar em campo um sistema de monitoramento térmico acessível e replicável, que alia viabilidade técnica, redução de custos, eficiência energética, melhoria da qualidade do produto e respeito aos aspectos socioculturais locais. Dessa forma, o trabalho avança na modernização sustentável da mandiocultura, oferecendo uma contribuição inédita e de relevância prática para a agricultura familiar. Para contextualizar o percurso da pesquisa, apresenta-se a seguir a estrutura da dissertação.

1.7 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, além dos elementos pós-textuais, conforme descrito a seguir:

Capítulo 1 — Introdução: apresenta a contextualização do tema, a delimitação do problema, as questões de pesquisa, a motivação, a justificativa, os objetivos (geral e específicos) e as principais contribuições do estudo. Inclui, ainda, a subseção Trabalhos Relacionados, na qual são discutidos estudos que dialogam diretamente com esta pesquisa.

Capítulo 2 — Referencial Teórico: reúne os fundamentos conceituais e técnicos que sustentam o trabalho, abordando: (i) agricultura familiar, mandiocultura e casas de farinha; (ii) qualidade, segurança alimentar e sustentabilidade; (iii) fundamentos do monitoramento térmico (medição de temperatura, critérios e tipos de sensores); e (iv) plataformas e tecnologias aplicadas, com ênfase no Arduino Mega 2560 e nos principais componentes utilizados, tais como termopar tipo K, módulo MAX6675, micro-SD, RTC, LCD, LEDs, buzzer, bibliotecas e ambientes de

apoio.

Capítulo 3 — Metodologia: descreve o tipo de pesquisa e a abordagem metodológica, a delimitação e caracterização da área de estudo, o desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) — contemplando diagrama de blocos, arquitetura, esquema eletrônico, lista de materiais e integração física ao ambiente produtivo — e o protocolo experimental, incluindo procedimentos de coleta, testes comparativos com e sem o sistema, além dos métodos de avaliação sensorial e análises físico-químicas.

Capítulo 4 — Resultados e Discussão: apresenta e interpreta os resultados obtidos em campo, contemplando: (i) desempenho térmico com base nos gráficos de temperatura; (ii) avaliação físico-química da farinha; (iii) análise comparativa do consumo de lenha, incluindo testes estatísticos, projeções anuais, estimativas de redução de CO₂ e conversões financeiras; (iv) avaliação do tempo de produção; (v) avaliação sensorial; e (vi) discussão integrada acerca dos impactos sociais e ambientais, da relação com estudos anteriores, da viabilidade prática e das possibilidades de expansão da tecnologia.

Capítulo 5 — Considerações Finais: sintetiza as conclusões do trabalho, explicita as limitações identificadas e apresenta recomendações para pesquisas futuras.

Por fim, incluem-se os elementos pós-textuais, compostos pelas Referências e pelo Apêndice A – Ficha de Avaliação Sensorial.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que sustentam a pesquisa, abordando os principais conceitos relacionados à agricultura familiar, com ênfase em sua relevância socioeconômica e nos desafios enfrentados em contextos rurais. Em seguida, discute-se a mandiocultura e as casas de farinha, considerando aspectos sociais, produtivos e econômicos. São exploradas também as questões de qualidade e segurança alimentar, o uso da lenha como fonte energética, o tempo de produção e os impactos ambientais associados, além da importância das tecnologias sociais para a sustentabilidade na agricultura familiar.

2.1 Agricultura Familiar e Casas de Farinha

A agricultura familiar é um modelo produtivo no qual a gestão e a execução das atividades agrícolas são predominantemente realizadas por membros da própria família. Esse sistema é caracterizado pela diversidade de cultivos, utilização de práticas tradicionais e foco na produção voltada ao consumo local e à subsistência familiar (Back, 2021).

Segundo Souza e Matias (2023), a agricultura familiar envolve o uso de recursos naturais e humanos de maneira sustentável e tem como principais características a diversidade na produção e a preservação dos saberes tradicionais. Ela se contrapõe, em muitos casos, aos modelos industriais de produção agrícola, que priorizam a monocultura e a utilização intensiva de insumos tecnológicos.

2.1.1 Agricultura Familiar: Definição, Características e Importância

Segundo Souza e Menegon (2015), a agricultura familiar desempenha papel essencial na economia de diversas regiões, especialmente em áreas rurais, onde pequenas propriedades são responsáveis pela geração de alimentos, preservação ambiental e fortalecimento comunitário.

A Lei nº 11.326/2006 define os critérios legais que identificam a agricultura familiar no Brasil, destacando os seguintes aspectos:

- **Área de Produção Limitada:** O agricultor familiar não pode deter área maior do que quatro módulos fiscais, salvo em casos específicos de condomínio rural ou outras formas coletivas de propriedade, desde que a fração ideal por proprietário não ultrapasse esse limite.
- **Uso Predominante da Mão de Obra Familiar:** A lei determina que a força de trabalho nas atividades econômicas do estabelecimento deve ser composta majoritariamente pelos próprios membros da família.

- **Origem da Renda Familiar:** A principal fonte de renda da unidade produtiva deve estar vinculada às atividades econômicas desenvolvidas no próprio estabelecimento rural.
- **Gestão Familiar:** O empreendimento deve ser dirigido pela família proprietária, garantindo que suas decisões e administração sejam feitas pelos próprios membros.
- **Diversidade na Produção:** Além dos agricultores familiares tradicionais, a lei reconhece como beneficiários silvicultores, aquicultores, extrativistas e pescadores artesanais, desde que atendam aos requisitos estabelecidos.

A agricultura familiar ocupa papel central na sustentabilidade econômica, social e ambiental das comunidades rurais brasileiras. Essa modalidade produtiva é responsável por garantir a segurança alimentar, preservar práticas agrícolas tradicionais e fomentar significativamente a economia local. Conforme apontado por Alves, Gutjahr e Pontes (2020), no município de Marapanim, no estado do Pará, a agricultura familiar constitui-se como a principal fonte de renda e subsistência para diversas famílias, gerando impactos expressivos nos âmbitos social, econômico e cultural das comunidades envolvidas.

O estudo realizado por esses autores investigou três comunidades específicas — Cipoteua, Guarajubal e Porto Alegre — e evidenciou que a produção agrícola local é voltada, principalmente, para culturas como mandioca, milho e macaxeira. Parte dessa produção é destinada ao autoconsumo, enquanto o excedente é comercializado, assegurando renda para os agricultores e contribuindo para o abastecimento de populações tanto rurais quanto urbanas da região. Destaca-se, nesse contexto, o beneficiamento artesanal da mandioca como uma prática relevante, especialmente pela produção de itens essenciais à alimentação local, como farinha e goma.

Além de seu valor econômico, as práticas tradicionais de cultivo — como o sistema de derruba e queima, observado em municípios como Marabá (PA) — representam expressões da identidade cultural e do conhecimento ancestral acumulado por gerações. No entanto, tais métodos devem ser analisados criticamente sob a ótica da sustentabilidade ambiental. A integração entre saberes tradicionais e tecnologias agrícolas modernas pode favorecer a conservação dos recursos naturais, ao mesmo tempo em que assegura a continuidade das práticas culturais regionais (Alves, Gutjahr e Pontes, 2020).

2.1.2 Desafios da Agricultura Familiar

Apesar de sua relevância e dos inúmeros benefícios que proporciona, a agricultura familiar enfrenta entraves significativos que comprometem seu desenvolvimento e sua sustentabilidade a longo prazo. Entre os principais obstáculos estão as dificuldades de acesso ao crédito e financiamento, bem como a limitação no uso de tecnologias e inovações.

As barreiras encontradas por pequenos produtores na obtenção de crédito estão diretamente associadas à gestão financeira e à falta de conhecimento sobre como e onde buscar apoio financeiro. A continuidade da atividade depende do acesso a esses recursos, que viabilizam melhores resultados, aumento da produção e maior eficiência no escoamento dos produtos. Com isso, promove-se a sustentabilidade, a geração de renda e um posicionamento estratégico e competitivo no mercado (Balieiro, 2024).

Ainda que haja avanços em políticas públicas voltadas ao fortalecimento do setor, muitas famílias rurais continuam enfrentando dificuldades para manter sua produção e garantir renda. Entre os fatores que agravam essa situação estão a escassez de tecnologias apropriadas, a carência de recursos e infraestrutura, a logística deficiente para comercialização e a ausência de políticas públicas consistentes que valorizem e apoiem efetivamente esse segmento (Guimarães, 2023).

Silva (2024) reforça que a falta de recursos, assistência técnica e conhecimento sobre práticas sustentáveis impõe barreiras significativas à adoção plena dessas práticas pelos agricultores familiares. Diante desse cenário, sua pesquisa destaca a necessidade de políticas públicas e programas de capacitação que incentivem a transição para uma agricultura mais resiliente e sustentável.

Nesse contexto, Perez e Conceição (2024) analisam a inclusão da agricultura familiar no Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária (Plano ABC+), evidenciando os entraves enfrentados por esse grupo na integração às políticas agrícolas de escala nacional. As limitações identificadas refletem a dificuldade de inserção dos agricultores familiares em planos estruturantes, evidenciando a importância de medidas específicas que considerem as particularidades socioeconômicas e produtivas desses sujeitos.

Por fim, conforme destaca a EMBRAPA (2008), o desenvolvimento sustentável no meio rural deve resultar de ações articuladas que induzam mudanças socioeconômicas e ambientais. Nesse processo, torna-se essencial o fortalecimento da agricultura familiar, aliado à diversificação econômica dos territórios rurais – sobretudo por meio do estímulo a atividades não agrícolas – e à promoção de práticas agroecológicas e sustentáveis, pilares fundamentais para a melhoria da qualidade de vida e do bem-estar das populações do campo.

2.1.3 Mandiocultura e Casas de Farinha: Aspectos Sociais e Produtivos

A mandiocultura possui um profundo enraizamento cultural no Brasil, sendo considerada uma das atividades agrícolas mais antigas do país. Introduzida e difundida pelos povos indígenas, a mandioca se consolidou como um dos principais alimentos da base alimentar brasileira (Abbate e Albuquerque, 2024). O cultivo da mandioca não apenas reflete a história e a tradição das comunidades rurais, mas também desempenha um papel crucial na segurança alimentar de milhões de famílias, especialmente nas regiões Norte e Nordeste (Santos e Claudino, 2020).

As casas de farinha representam um elo essencial na agricultura familiar e na economia

local. Esses espaços tradicionais são locais de processamento comunitário, onde pequenos agricultores transformam a mandioca em produtos de valor agregado, como farinha e tapioca. Para muitas comunidades, as casas de farinha vão além do aspecto econômico, funcionando como um ponto de integração social e preservação de práticas culturais transmitidas por gerações (Silva, 2011).

Os processos produtivos nas casas de farinha ainda se baseiam, em grande parte, em métodos artesanais. Etapas como a colheita, transporte, descascamento, lavagem, moagem⁴, prensagem, esfarelamento, torrefação, classificação e embalagem são realizadas de forma manual ou com o auxílio de equipamentos rudimentares (Júnior e Cruz, 2019). Esses métodos, embora representem a tradição e o saber popular, conferem ao produto final características únicas, como sabor, textura e aroma, valorizados em mercados locais e regionais (Santana, 2018).

Contudo, as casas de farinha enfrentam inúmeros desafios que comprometem sua eficiência e sustentabilidade. A infraestrutura deficiente, com instalações improvisadas e equipamentos obsoletos, dificulta a padronização e a qualidade dos produtos (Corrêa, 2019). Além disso, os métodos artesanais, embora culturalmente ricos, carecem de eficiência para atender a demandas maiores ou cumprir exigências sanitárias rigorosas (Oliveira, 2021). Soma-se a isso a variabilidade na qualidade da matéria-prima e o acesso limitado a tecnologias modernas, que poderiam otimizar os processos produtivos e ampliar as oportunidades de mercado (Álvares, Miqueloni e Negreiros, 2016).

Nesse sentido, as casas de farinha são estabelecimentos rurais dedicados à produção da farinha de mandioca, um dos principais produtos alimentares consumidos no Brasil e em diversas regiões tropicais. Essas unidades produtivas têm uma importância histórica, econômica e cultural significativa, especialmente no contexto da agricultura familiar e das comunidades rurais. Brito e Gomes (2023), exemplificam as relações entre a memória e os processos de produção realizados em Casas de Farinha:

Cada processo desenvolvido no local possui seus costumes e tradições entre os próprios trabalhadores, que são preservados na medida em que cada trabalhador e trabalhadora participa e vincula-se aos processos de produção consciente e coletivo, gerando memórias individuais que se emaranham com as de outros trabalhadores e passam a compor as memórias das Casas de Farinha (Brito e Gomes, 2023. P.21).

2.1.4 Casas de Farinha: Definição, Classificação e Processo Produtivo

As casas de farinha são unidades produtivas rurais onde se realiza o processamento da mandioca para a obtenção da farinha de mandioca, um alimento amplamente consumido no Brasil,

⁴ Processo de triturar ou ralar a mandioca descascada e prensada, transformando-a em massa granulada, que será posteriormente torrada para obter a farinha.

especialmente nas regiões Norte e Nordeste. Essas unidades variam de estruturas rudimentares a instalações mais modernas, sendo operadas por agricultores familiares, cooperativas ou pequenas indústrias (Folegatti, Matsuura e Filho, 2005).

De acordo com o trabalho de Santana (2018), as casas de farinha são classificadas em três tipos: artesanal, semi-industrial e industrial. As artesanais são pequenas unidades familiares ou comunitárias, com processos manuais e equipamentos simples. As semi-industriais combinam métodos tradicionais com alguma mecanização, aumentando a eficiência sem eliminar totalmente o caráter artesanal. Já as industriais são grandes unidades mecanizadas, focadas na produção em larga escala, garantindo maior produtividade e padronização do produto.

A presente pesquisa será desenvolvida na comunidade de São Benedito da Ponta, localizada no município de Salvaterra, na Ilha de Marajó, Pará. O local de estudo é uma casa de farinha tradicional pertencente a uma família de agricultores locais, cuja produção é voltada tanto para o consumo próprio quanto para a comercialização em feiras regionais. Esta casa de farinha representa um dos principais espaços de atividade produtiva da comunidade, sendo um ambiente de saberes tradicionais e práticas que se mantêm preservadas ao longo de gerações. A escolha do local se justifica pela relevância sociocultural e econômica da atividade, bem como pela possibilidade de integrar tecnologias de monitoramento que possam contribuir com a melhoria das condições de trabalho e da qualidade do produto final.

O processo de produção na referida casa de farinha é realizado de forma artesanal, envolvendo diversas etapas que exigem esforço físico e atenção por parte dos agricultores. A mandioca, após ser colhida, passa pelos processos de descascamento, lavagem, ralagem e prensagem para extração do líquido (manipueira). Em seguida, a massa é peneirada e levada ao forno rústico de barro para a torração, etapa considerada uma das mais críticas do processo, principalmente devido à exposição contínua ao calor intenso. Esse modelo produtivo, embora tradicional e culturalmente significativo, apresenta desafios relacionados ao controle de temperatura do forno e à ergonomia dos trabalhadores, aspectos que serão abordados nesta pesquisa. A Figura 1 ilustra a casa de farinha onde será realizada a aplicação do sistema de monitoramento proposto.

Figura 1 – Casa de Farinha

Fonte: Autor (2025)

O processamento da farinha de mandioca segue um fluxo bem estruturado, conforme descrito por Folegatti, Matsuura e Filho (2005) e Bezerra (2011). Ambos os autores destacam etapas essenciais como a lavagem, descascamento, ralação, prensagem, esfarelamento e peneiragem, fundamentais para a qualidade do produto. Enquanto Folegatti, Matsuura e Filho (2005) enfatizam a torração como um processo para conferir sabor e textura, Bezerra (2011) acrescenta a etapa de escaldamento para a eliminação de toxinas. Ao final, ambos ressaltam a importância do acondicionamento e armazenamento adequados, garantindo a segurança e a durabilidade da farinha para consumo e comercialização.

2.1.5 Importância Econômica e Social e Desafios Atuais

As casas de farinha têm uma importância econômica significativa, especialmente nas zonas rurais, onde representam uma das principais atividades produtivas e fontes de renda. Elas desempenham um papel fundamental na economia local e na sobrevivência das comunidades rurais. Alguns dos aspectos mais relevantes incluem:

- **Fonte de Renda:** As casas de farinha desempenham um papel central na vida das comunidades locais, gerando renda e emprego para trabalhadores rurais e contribuindo para a sustentabilidade socioeconômica da região (Brito e Gomes, 2023).
- **Valorização da Agricultura Familiar:** Produzida nas casas de farinha, a farinha de mandioca permanece como um dos principais produtos da agricultura familiar na Amazônia, desempenhando um papel fundamental na culinária e na subsistência das populações locais (Souza et al., 2024).
- **Preservação Cultural:** As técnicas empregadas na produção da farinha são constituídas por saberes tradicionais repassados entre as gerações, constituindo o patrimônio cultural das comunidades produtoras (Santos, Lima e Ribeiro, 2023).

- **Segurança Alimentar:** Nas Regiões Norte e Nordeste, além da farinha, o consumo in natura da mandioca é essencial devido ao fácil cultivo e à sua importância na segurança alimentar, especialmente em áreas remotas, onde é um alimento acessível e nutritivo (IBGE, 2023).

Embora as casas de farinha desempenhem um papel fundamental na produção de farinha de mandioca, elas enfrentam diversos desafios que dificultam sua sustentabilidade e crescimento. Alguns dos principais desafios incluem:

- **Saúde e Segurança:** Segundo Brito e Gomes (2023), as condições de trabalho nas casas de farinha apresentam desafios significativos, especialmente em relação à saúde e à segurança dos trabalhadores.
- **Infraestrutura Precária:** Segundo Nogueira et al., (2021), um dos principais problemas ao longo do processo produtivo da mandioca está relacionado à infraestrutura das "casas de farinha". Entre os agricultores entrevistados, 85% relataram dificuldades no cultivo da cultura, sendo a falta de infraestrutura a mais expressiva, mencionada por 34,78% dos participantes. A principal dificuldade enfrentada pelos produtores de mandioca é a precariedade das unidades produtivas, que são, em sua maioria, semiartesanais. Esse fator exige um maior esforço físico.
- **Falta de Capacitação:** É necessária a implantação das BPF (Boas Práticas de Fabricação) na casa de farinha, pois essa ferramenta da qualidade, quando corretamente implementada, ajuda a prevenir a ocorrência de perigos, promovendo a obtenção de produtos com maior qualidade (Santos, Lima e Ribeiro, 2023).
- **Acesso ao Mercado:** A farinha de mandioca de Bragança recebeu registro de Indicação Geográfica, reconhecendo sua qualidade e origem, o que pode ampliar seu mercado consumidor (Silva e Cruz, 2024). Entretanto, a obtenção de registros formais ainda é limitada; até dezembro de 2024, apenas nove estabelecimentos produtores de farinha possuíam registro estadual, com expectativa de mais sete até o final de 2024 (Agência Pará, 2024).
- **Falta de Políticas Públicas de Apoio:** Segundo Sousa e Ramos (2023), as casas de farinha representam espaços coletivos essenciais para a produção e sustentabilidade de muitas famílias. No entanto, a escassez de apoio limita o pleno desenvolvimento dessas produções, o que reforça a necessidade urgente de políticas públicas que incentivem e fortaleçam a atuação dos pequenos produtores. É necessário implementar melhorias estruturais na casa de farinha bem como adquirir maquinários apropriados de forma a garantir a completa adequação do produto fabricado à norma regulamentadora que o rege (Santos, Lima e Ribeiro, 2023).

- **Qualidade da farinha:** De acordo com Álvares, Souza e Lambertucci (2022), a qualidade da farinha de mandioca é um fator essencial para sua valorização no mercado, sendo influenciada por características como cor, granulometria e textura. Esses atributos são avaliados empiricamente pelos compradores, que estabelecem classificações subjetivas para o produto. Dessa forma, farinhas consideradas “de primeira”, ou seja, de melhor qualidade, tendem a alcançar preços mais elevados, enquanto variações nesses parâmetros podem impactar a aceitação comercial e o valor final do produto.

2.2 Qualidade, Segurança Alimentar e Sustentabilidade

A segurança alimentar é um conceito fundamental para garantir o acesso regular e permanente a alimentos em quantidade e qualidade adequadas, promovendo uma alimentação saudável e nutricionalmente equilibrada. Já a insegurança alimentar (INSA) ocorre quando a população não possui acesso contínuo e frequente aos alimentos em quantidade e qualidade suficientes para a sua sobrevivência, representando uma aquisição incerta ou irregular, o que caracteriza uma questão preocupante no Brasil e representa um problema para as populações de baixa renda (Reinaldo, 2023).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1996), um ambiente político, social e econômico pacífico, adequado e estável, é a condição essencial para que os Estados sejam capazes de dar uma adequada prioridade à segurança alimentar e à erradicação da pobreza. A democracia a promoção e a proteção de todos os direitos humanos e liberdades fundamentais, incluindo o direito ao desenvolvimento e a uma completa e igual participação dos homens e mulheres, são indispensáveis para se alcançar uma segurança alimentar sustentável para todos.

No Brasil, a segurança alimentar está diretamente relacionada à produção agrícola, especialmente à agricultura familiar, que desempenha um papel essencial no fornecimento de alimentos básicos para a população. As casas de farinha, por exemplo, são um elo importante nesse contexto, pois garantem o processamento da mandioca, um alimento amplamente consumido e de alto valor energético, essencial para a dieta de comunidades rurais e urbanas.

2.2.1 Padrões de Qualidade e Boas Práticas de Fabricação

Belik (2003), assevera que a alimentação disponível para o consumo da população não pode estar submetida a qualquer tipo de risco por contaminação, problemas de apodrecimento ou outros decorrentes de prazos de validade vencido. Além disso, a adoção de boas práticas de fabricação (BPF) e o cumprimento das normas sanitárias são fundamentais para garantir a qualidade dos alimentos e evitar contaminações que possam prejudicar a saúde da população.

Dessa forma, é importante adotar as BPF, durante a produção artesanal da farinha de mandioca, observando-se, como, por exemplo, a manutenção periódica e programada de

equipamentos e utensílios utilizados na casa de farinha, cuidados que permeiam todas as etapas do processamento e são considerados muito importantes (Álvares, Souza e Lambertucci, 2022).

As Boas Práticas de Fabricação da Farinha são procedimentos higiênicos, sanitários e operacionais que devem ser aplicados em todo o fluxo da produção, desde a obtenção de ingredientes, matérias-primas e embalagens até a distribuição do produto final, com o objetivo de garantir a qualidade, conformidade e segurança dos produtos destinados à alimentação humana (Modesto Júnior e Alves, 2014). Para que a farinha chegue à mesa do consumidor como um produto seguro, ou seja, que não ofereça perigos à sua saúde, deve haver por parte do farinheiro a preocupação da adoção das Boas Práticas de Fabricação⁵ – BPF (Bezerra, 2011).

A qualidade da farinha de mandioca é determinada por parâmetros físico-químicos e sensoriais que asseguram sua identidade, segurança para o consumo e aceitação no mercado. Conforme estabelece a Instrução Normativa nº 52/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os principais critérios incluem o teor de umidade, acidez aquossolúvel, teor de amido, cinzas, fibra bruta e a ausência de matérias estranhas. Adicionalmente, aspectos sensoriais como coloração, sabor e odor são avaliados com o objetivo de verificar a conformidade do produto com os padrões exigidos para o consumo. A granulometria, por sua vez, é um parâmetro relevante, pois determina a classificação da farinha em fina, média ou grossa, influenciando diretamente a preferência dos consumidores e a padronização dos lotes (BRASIL, 2011).

Para a aferição desses parâmetros, é imprescindível a aplicação de métodos analíticos apropriados. De acordo com Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008), a análise bromatológica permite verificar a conformidade dos alimentos com as exigências legais e sanitárias, por meio de técnicas confiáveis e de fácil aplicação, como a determinação gravimétrica da umidade, titulação da acidez e quantificação dos teores de fibras e amido. No âmbito desta dissertação, a proposta de implementação de um sistema de monitoramento térmico visa contribuir para a padronização desses indicadores, com ênfase nos níveis de umidade, acidez e cinzas, a partir do fornecimento de dados que auxiliem o agricultor na condução adequada das etapas de escaldagem e torração.

2.2.2 Uso da Lenha, Tempo de Produção e Impactos Ambientais

A produção artesanal de farinha de mandioca, especialmente em comunidades rurais da região amazônica, como a comunidade quilombola de São Benedito da Ponta, no município de Salvaterra-PA, é tradicionalmente realizada com o uso de lenha como principal fonte de energia térmica. Esse combustível é empregado nas etapas de escaldagem e torração da massa, processos que demandam esforço físico contínuo e manutenção de calor intenso, fatores essenciais para a obtenção de um produto final com qualidade aceitável. A preferência pela lenha deve-se à sua ampla disponibilidade na região, ao baixo custo e à familiaridade dos produtores com sua

⁵ São regras que todo mundo que trabalha na área de alimentos deve seguir, pois além de cumprir com a legislação atual, estará obtendo benefícios como uma melhor qualificação de seu produto e aumento de tempo de validade do produto, que podem lhe render ganhos monetários.

utilização, o que justifica sua permanência como fonte energética predominante nesse sistema produtivo.

Entretanto, o uso contínuo e intensivo desse recurso acarreta impactos ambientais significativos, como a pressão sobre os recursos florestais e a emissão de poluentes decorrentes da queima da biomassa. Tais aspectos evidenciam a necessidade de adoção de alternativas mais eficientes ou da incorporação de tecnologias que otimizem o consumo de lenha durante o processo produtivo.

O tempo total necessário para a produção artesanal de farinha de mandioca é variável e depende de diversos fatores, tais como o volume de matéria-prima processada, as condições climáticas, o tipo de mandioca utilizada, o tamanho do forno e o número e experiência dos trabalhadores envolvidos. Especificamente nas etapas de escaldagem e torragem, o tempo médio de trabalho contínuo situa-se entre 8 e 12 horas para a realização de três a cinco fornadas.

Durante as atividades observadas, os agricultores utilizaram tanto mandioca do tipo "mole" quanto "dura". Por exemplo: De um total de 80 kg de raízes, aproximadamente 40 kg foram submersos em água, em bacias, no dia anterior à produção, com o objetivo de amolecer a massa. Os outros 40 kg foram ralados ainda secos. Ambas as massas foram então misturadas no momento da torração. Entre todas as etapas do processo, a escaldagem e a torragem se destacam como as mais prolongadas e extenuantes, devido à necessidade de controle manual da temperatura e à constante homogeneização da massa no forno.

A ausência de mecanismos de automação ou monitoramento térmico contribui para a variabilidade da qualidade do produto final e pode aumentar o tempo total de produção. Nesse contexto, a implementação de tecnologias voltadas ao acompanhamento contínuo da temperatura apresenta potencial relevante para aumentar a eficiência do processo, reduzir o consumo de lenha e mitigar o desgaste físico dos trabalhadores.

2.2.3 Sustentabilidade e Tecnologias Sociais na Agricultura Familiar

A promoção da sustentabilidade na agricultura familiar exige a adoção de práticas que conciliem a preservação ambiental, o fortalecimento socioeconômico e o respeito aos saberes tradicionais. Nesse contexto, as tecnologias sociais surgem como ferramentas estratégicas para enfrentar os desafios da produção rural em comunidades com recursos limitados. Tais tecnologias, quando aplicadas de forma participativa, contribuem significativamente para melhorar a qualidade de vida no campo, ampliar a eficiência produtiva e estimular o uso consciente dos recursos naturais. A presente pesquisa insere-se nessa perspectiva ao propor um sistema de monitoramento térmico acessível e funcional, capaz de integrar inovação tecnológica e práticas sustentáveis nas casas de farinha da agricultura familiar amazônica.

As tecnologias sociais são compreendidas como soluções desenvolvidas com foco na inclusão social, com participação ativa das comunidades e adaptação às suas realidades culturais,

ambientais e econômicas. Essas tecnologias priorizam o uso de materiais de baixo custo, simplicidade operacional e reaplicabilidade. No contexto da agricultura familiar, elas atuam como ferramentas de transformação social ao promoverem melhorias nas condições de produção e de vida das comunidades rurais (Guimarães, 2023). O sistema de monitoramento térmico proposto nesta pesquisa insere-se nessa categoria ao empregar tecnologia acessível, como o Arduino, e ser aplicado diretamente por agricultores em suas práticas tradicionais, promovendo autonomia e inovação local.

2.2.4 Práticas Sustentáveis e Tecnologias de Apoio

A sustentabilidade na agricultura familiar envolve o equilíbrio entre a produção de alimentos, a conservação dos recursos naturais e a valorização dos saberes tradicionais. Além de garantir a subsistência das famílias, esse modelo produtivo contribui para o desenvolvimento territorial e a segurança alimentar (Almeida, 2023). Na região amazônica, onde se concentra grande parte da produção artesanal de farinha, práticas sustentáveis são essenciais para reduzir os impactos ambientais decorrentes do uso intensivo de lenha e da pressão sobre os ecossistemas. A introdução de tecnologias apropriadas fortalece esse modelo, permitindo maior eficiência produtiva com menor impacto socioambiental.

2.2.5 Contribuições do Monitoramento Térmico para a Sustentabilidade

O sistema de monitoramento de temperatura busca contribuir para a sustentabilidade da agricultura familiar, a fim de otimizar o uso da lenha, reduzir o tempo de produção e melhorar a qualidade do produto final. Ao fornecer dados em tempo real sobre a temperatura dos fornos, o sistema auxilia os agricultores na tomada de decisões mais precisas durante as etapas de escaldagem e torragem, promovendo um uso racional da energia e diminuindo os impactos ambientais relacionados às emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a solução respeita as práticas tradicionais e pode ser replicada em outras comunidades, promovendo impactos positivos de longo prazo nas dimensões ambiental, social e econômica.

2.3 Fundamentos Técnicos para Monitoramento Térmico

Apresentam-se os fundamentos teóricos e práticos que sustentam o desenvolvimento do sistema de monitoramento de temperatura aplicado a fornos de casas de farinha. São discutidos os conceitos de medição e controle térmico, os principais tipos de sensores de temperatura e suas aplicações, com ênfase em tecnologias acessíveis e adequadas ao contexto da agricultura familiar. Também são abordadas as funcionalidades da plataforma Arduino e revisados trabalhos acadêmicos relacionados, que contribuem para a fundamentação técnica e metodológica desta pesquisa.

2.3.1 Medidas de Temperatura: Conceitos e Aplicações

A temperatura é um dos parâmetros físicos mais comuns e talvez um dos mais medidos na indústria, pois afetam diretamente boa parte dos processos manufaturados e neste contexto é classificado como processo térmico (Silva, 2021). Siqueira (2019), aponta que a temperatura é uma medida da energia cinética molecular média de uma substância. Quanto mais as moléculas e átomos em uma substância vibrarem, maior a sua temperatura. Quanto menos as moléculas e átomos de uma substância vibrarem, mais baixa é a sua temperatura. Se as moléculas e átomos pararem de vibrar, a temperatura é conhecida como zero absoluto.

Todo sistema produtivo possui variáveis a serem medidas, e nos processos térmicos não é diferente. Existem dispositivos específicos para a mensuração dessa grandeza (Silva, 2021). No desenvolvimento de um sistema de monitoramento térmico, compreender a importância dessa medição é fundamental, pois ela permite quantificar o nível de aquecimento do processo, fornecendo dados precisos para controle, automação e tomada de decisões.

2.3.2 Critérios para a Seleção de Sensores de Temperatura

Para se conhecer o valor da temperatura produzida nos fornos de casas de farinha é necessário utilizar de um sistema de medição adequado. Segundo Cabó (2015) apud Bega et al., (2011), afirma que a parte crítica da especificação do sistema é a escolha do sensor mais apropriado, levando em consideração alguns critérios como: faixa de medição, precisão, repetibilidade, proteção do sensor e seu tempo de resposta.

Considerando esses critérios, optou-se pelo termopar tipo K, modelo WRNK-131, cuja faixa operacional (0°C a 1300°C), robustez, resistência à água e resposta rápida o tornam adequado às condições rústicas dos fornos de casas de farinha (Thermocouples, 2025; Cabó, 2015).

2.3.3 Sensores de Temperatura: Aplicações e Tipos

A medição precisa da temperatura é fundamental em diversas áreas, e sua importância pode ser observada nas seguintes aplicações:

- **Indústria Alimentícia:** Silva (2009) desenvolveu um sistema composto por um sensor capaz de realizar a leitura precisa da umidade no interior das massas alimentícias, utilizando micro-ondas, além de sensores semicondutores integrados para medir temperatura e umidade relativa.
- **Saúde e bem-estar:** Carvalho (2019) destaca a importância do monitoramento e da medição de temperatura no desenvolvimento de sistemas tecnológicos, como o *Elfa Monitoring Systems*. Esse sistema foi projetado para reconhecer e monitorar quedas de idosos em ambientes internos e externos, utilizando um circuito eletrônico com acelerômetro integrado

e a tecnologia *Internet of Things* (IoT) para transmitir alertas a familiares e profissionais de saúde.

- **Agricultura:** Borges et al., (2018) desenvolveram um sistema automatizado de baixo custo para monitorar e controlar o ambiente térmico em instalações suinícolas. Utilizando sensores conectados a um microcontrolador Arduino, o sistema acionava ventiladores e nebulizadores para manter a temperatura e umidade dentro dos padrões adequados, conforme as exigências dos animais.
- **Medicina:** Sanefuji e Jianzhuang (2018) destacam a importância da medição e do monitoramento contínuo da temperatura, especialmente em contextos críticos, como o acompanhamento de neonatos e pacientes hospitalizados. O estudo aborda o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real, evidenciando a relevância de sensores de alta precisão para garantir a estabilidade térmica e a segurança dos indivíduos monitorados.

A medição precisa da temperatura é essencial em diversas áreas, destacando-se por sua importância em vários contextos. A evolução dos sensores de temperatura, como termopares, termistores e termômetros infravermelhos, tem sido crucial para o aprimoramento dos sistemas de monitoramento e controle térmico. Esses avanços desempenham um papel importante na automação de processos em diferentes setores.

De acordo com Ramos (2017, apud Albertazzi Jr., 2008), o controle é caracterizado como uma ação ativa, cujo objetivo é manter uma ou mais variáveis de um processo dentro de limites previamente estabelecidos. Trata-se de uma função essencial na automação, pois permite que o sistema reaja a desvios identificados na medição, promovendo ajustes necessários para garantir a estabilidade e a eficiência do processo.

Segundo Ramos (2017, apud Albertazzi Jr., 2008), consiste em observar ou registrar, de forma passiva, os valores de determinadas variáveis ao longo do tempo. Essa atividade possibilita a análise do comportamento da temperatura em momentos específicos, bem como a identificação de tendências, variações e padrões, servindo como base para a tomada de decisões corretivas. O monitoramento é, portanto, indispensável para a coleta de dados que subsidiam o controle efetivo do processo.

Sensores de temperatura são dispositivos dotados de componentes sensíveis às variações térmicas e são projetados especificamente para utilizar essa característica na medição precisa da temperatura (Kogeratski, 2019). Neste estudo, foram considerados e comparados diversos tipos de sensores comumente empregados em sistemas de monitoramento térmico, tais como termopares, termômetros de resistência (RTDs), termistores e sensores infravermelhos. Cada tecnologia possui atributos particulares que podem influenciar diretamente no desempenho e na adequação ao ambiente de aplicação.

Durante a seleção do sensor mais apropriado, foram examinadas cuidadosamente as características técnicas, a robustez e a viabilidade de implementação de cada dispositivo, considerando as condições específicas de operação nos fornos utilizados na produção artesanal de farinha. Observou-se que muitos sensores não atendiam adequadamente às exigências desse ambiente, especialmente devido à exposição contínua a altas temperaturas, à necessidade de instalação prática e à resistência a condições adversas.

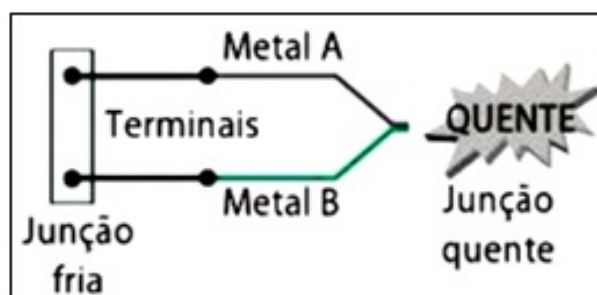
Diante dessas exigências, tornou-se essencial selecionar um sensor que reunisse bom desempenho técnico e adaptabilidade ao contexto específico do processo artesanal. Assim, optou-se por aquele que melhor atendesse aos critérios de operação e funcionalidade dentro do sistema de monitoramento de temperatura desenvolvido. A seguir, descrevem-se os principais sensores analisados.

2.3.3.1 Termopares

Segundo Freire (2017), os termopares são sensores simples, robustos e de baixo custo, formados por dois fios metálicos distintos unidos em uma extremidade. Quando corretamente configurados, são capazes de medir uma ampla faixa de temperaturas, sendo amplamente utilizados em diferentes contextos industriais. A escolha do tipo e do material do termopar depende do conhecimento de sua estrutura, funcionamento e especificações técnicas.

O seu princípio de funcionamento é baseado na soldagem de dois fios de materiais diferentes, onde é gerada uma tensão contínua previsível, que esta relacionada à diferença de temperatura entre a junção quente e a junção fria, chamado de efeito Seebeck. De acordo com a Figura 2, a junção quente é a extremidade do termopar que deve ser exposta ao processo que se deseja medir a temperatura (Cabó, 2015). A junção fria (junção de referência) é a extremidade do termopar mantida a uma temperatura constante, para fornecer um ponto de referência (Petruzella, 2013).

Figura 2 – Princípio de Funcionamento do Termopar



Fonte: Petruzella (2013)

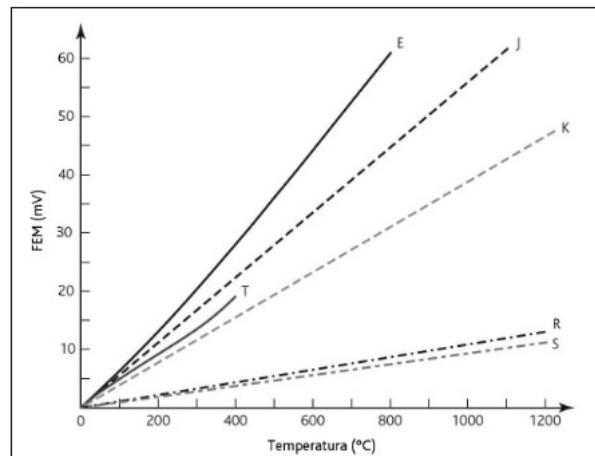
Os termopares são identificados por letras, conforme sua composição, faixa de medição e coeficiente de Seebeck. A tensão de saída varia conforme o modelo e é fornecida por cada fabricante. A Tabela 1, mostra as faixas de operação de alguns termopares.

Tabela 1 – Características de Termopares

Ref.	Materiais	Faixa de Temperatura (°C)	Coefficiente de Seebeck ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
B	Platina 30%, Ródio/Platina 6% Ródio	0 a 1800	3
E	Cromel/Constantan	-200 a 1000	63
J	Ferro/Constantan	-200 a 900	53
K	Cromel/Alumel	-200 a 1300	41
N	Nirosil-Nisil	-200 a 1300	28
R	Platina/Platina 13% de Ródio	0 a 1400	6
S	Platina/Platina 10% de Ródio	0 a 1400	6
T	Cobre/Constantan	-200 a 400	43

Fonte: Bolton (2010).

A Figura 3 apresenta um gráfico que relaciona a Força Eletromotriz (FEM) com a temperatura para diferentes tipos de termopares. Conforme ilustrado, alguns sensores geram um sinal de resposta linear, garantindo maior precisão, enquanto outros não. Para corrigir a não linearidade de certos termopares, é necessário um circuito eletrônico que minimize os erros.

Figura 3 – Temperatura Versus FEM de Termopares

Fonte: Bolton (2010)

Segundo Bega et al. (2006), a força eletromotriz (F.E.M.) que se desenvolve em um circuito que apresenta juntas quente e fria à temperaturas determinadas T_1 e T_2 , depende somente dos metais ou ligas que compõem os condutores e das temperaturas T_1 e T_2 . Esta lei garante que, na medição, não há influência da temperatura ao longo dos fios dos termopares.

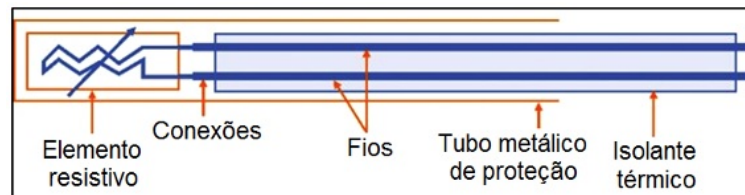
2.3.3.2 Termômetros de Resistência (RTD)

Os RTDs operam com base na variação da resistência elétrica em função da temperatura, proporcionando medições de alta precisão, com erro típico de $\pm 0,1^\circ\text{C}$. A platina é o material

mais utilizado, devido à sua excelente linearidade e estabilidade térmica.

Sensores de filme de platina operam normalmente entre -50°C e 260°C , enquanto os de fio de platina abrangem faixas de -200°C até 648°C . No ambiente industrial, a faixa de operação mais comum está entre -200°C e 500°C (Cabó, 2015). A Figura 4 mostra a estrutura básica de um RTD.

Figura 4 – Elementos do RTD



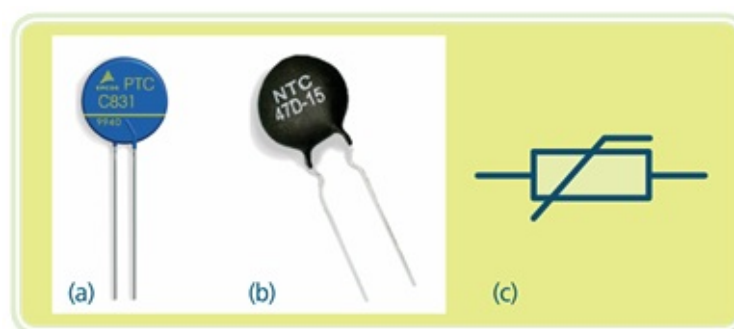
Fonte: Cabó (2015)

2.3.3.3 Termistores

De acordo com Roggia e Fuentes (2016), os termistores são sensores semicondutores fabricados com óxidos metálicos, cuja resistência elétrica varia de forma sensível com a temperatura. Apresentam baixo custo e elevada sensibilidade, porém são limitados a temperaturas inferiores a 300°C .

Existem dois tipos principais: os NTC (Negative Temperature Coefficient), cuja resistência diminui com o aumento da temperatura, e os PTC (Positive Temperature Coefficient), que apresentam o comportamento oposto. A Figura 5 ilustra esses tipos e suas simbologias.

Figura 5 – Termistor: PTC (a), NTC (b) e Simbologia (c)



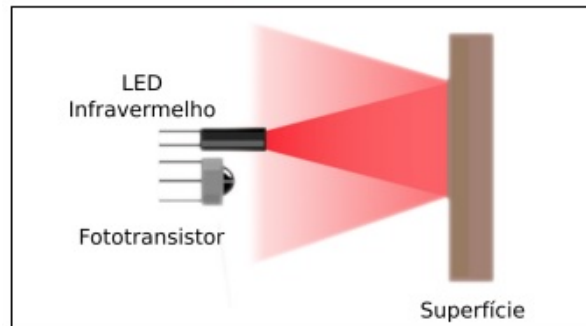
Fonte: Roggia e Fuentes (2016)

2.3.3.4 Sensores Infravermelhos

Rocha (2019) descreve os sensores infravermelhos como dispositivos que utilizam emissores de luz IR e fototransistores para realizar medições com base na absorção e reflexão da luz sobre superfícies. A precisão da leitura depende das características de refletância do objeto analisado.

Os fototransistores convertem a luz recebida em sinal elétrico, variando sua resistência de acordo com a intensidade luminosa. Devido a essa resposta linear, tais sensores são amplamente utilizados em aplicações como medição de distância e detecção de obstáculos. A Figura 6 ilustra seu princípio de funcionamento.

Figura 6 – Funcionamento de Sensor Infravermelho



Fonte: Rocha (2019)

2.3.4 Considerações sobre a Escolha do Sensor

Diante das particularidades estruturais e operacionais dos fornos utilizados nas casas de farinha, alguns sensores analisados mostraram-se inadequados. Os termistores, apesar do baixo custo e elevada sensibilidade, não demonstraram estabilidade suficiente em ambientes de calor intenso e variações térmicas constantes. Os RTDs, embora precisos, são frágeis e de instalação complexa, o que dificulta seu uso em ambientes rústicos. Os sensores infravermelhos, por sua vez, são suscetíveis a impurezas e variações superficiais — fatores comuns nesse tipo de forno.

Considerando esses aspectos, o termopar tipo K (modelo WRNK-131) foi selecionado por apresentar ampla faixa de operação, robustez, resistência a condições adversas e facilidade de instalação, atendendo de forma eficaz às exigências do sistema de monitoramento de temperatura proposto.

2.4 Plataformas e Tecnologias Aplicadas

O Arduino surgiu como uma alternativa acessível e flexível para desenvolvimento e prototipagem de sistemas eletrônicos, permitindo desde aplicações simples, como acender e apagar luzes, até projetos sofisticados e profissionais. Sua complexidade está diretamente relacionada ao nível de conhecimento do usuário sobre programação e eletrônica (Araújo; Cavalcante; Silva, 2019).

Segundo Costa (2019), trata-se de uma plataforma de prototipagem eletrônica composta por uma placa de circuito impresso com microcontrolador integrado, dotada de portas analógicas e digitais. Estas portas podem ser configuradas via programação, em linguagem específica, para

funcionarem como entradas ou saídas de sinais, conforme os comandos definidos no software. Tal característica confere ao Arduino uma ampla capacidade de conexão com sensores e atuadores, viabilizando sua aplicação em projetos de automação e interação com o ambiente físico.

Além disso, a plataforma utiliza microcontroladores da família ATmega e um Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE), no qual o código é elaborado. A transferência do programa para a placa é realizada por meio de uma conexão USB, permitindo que o Arduino execute as instruções programadas e interaja com os dispositivos conectados (Tostes, 2022 apud Soares e Faria, 2021).

Dentre os modelos disponíveis, destacam-se o Arduino Uno, Nano e Mega, cujas especificações atendem a diferentes demandas. A ampla comunidade de desenvolvedores contribui com bibliotecas, tutoriais e recursos diversos, facilitando a implementação de funcionalidades como comunicação sem fio, controle de motores e interfaces com o usuário. Essa combinação de fatores consolida o Arduino como uma ferramenta versátil, amplamente utilizada tanto em contextos educacionais quanto industriais (Arduino, 2024).

A seguir, apresenta-se a Tabela 2 com alguns dos principais modelos de placas Arduino, destacando suas características.

Tabela 2 – Tipos de Arduino

Característica	Arduino Uno Rev3	Arduino Nano	Arduino Mega 2560 Rev3	Arduino Leonardo	Arduino Due
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega328P	ATmega2560	ATmega32U4	ATSAM3X8E
Tensão de Operação	5V	5V	5V	5V	3.3V
Pinos Digitais I/O	14	14	54	20	54
Pinos PWM	6	6	15	7	12
Pinos Analógicos	6	8	16	12	12
Memória Flash	32 KB	32 KB	256 KB	32 KB	512 KB
SRAM	2 KB	2 KB	8 KB	2.5 KB	96 KB
Clock	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz
Conectividade	USB-B	Mini USB	USB-B	Micro USB	Micro USB

Fonte: Arduino (2024)

2.4.1 Aplicações do Arduino na Agricultura

O Arduino tem se destacado em diversas áreas, como automação residencial, projetos de robótica, educação tecnológica e monitoramento ambiental. No campo da automação residencial, por exemplo, a plataforma permite o controle remoto de dispositivos, promovendo conforto e economia de energia. Hipólito, Silva e Rapanello (2018) desenvolveram um sistema automatizado utilizando Arduino, capaz de integrar múltiplos dispositivos controlados via smartphones e computadores conectados à rede doméstica.

No contexto da agricultura familiar, plataformas como o Arduino apresentam potencial significativo para aplicação em ambientes produtivos que demandam soluções de baixo custo e fácil implementação. Sua capacidade de integração com sensores de temperatura e sua flexibilidade de programação tornam essa tecnologia especialmente promissora para o desenvolvimento de sistemas de monitoramento térmico em tempo real, como nas casas de farinha, contribuindo para a melhoria da eficiência dos processos e para a adoção de práticas mais sustentáveis.

2.4.2 Seleção da Placa Arduino Mega 2560

Apesar da existência de microcontroladores mais potentes, a escolha da placa Arduino Mega 2560 para esta pesquisa deve-se ao seu equilíbrio entre desempenho, custo e capacidade de integração. A plataforma se destaca pela facilidade de uso, acessibilidade e robustez, favorecendo a prototipagem rápida e a aplicação em contextos educacionais e de pesquisa (Arduino, 2024).

A placa Arduino Mega 2560 oferece um maior número de entradas e saídas analógicas e digitais em relação a outros modelos, o que a torna adequada para projetos com múltiplos pontos de controle. Taira e Siqueira (2018) destacam que a ampla disponibilidade de bibliotecas e a comunidade ativa de desenvolvedores facilitam a integração de componentes, promovendo confiabilidade e eficiência na implementação de sistemas embarcados.

2.4.3 Tecnologias Utilizadas

A escolha do hardware para a implementação do sistema de monitoramento de temperatura do forno da casa de farinha foi baseada em critérios como compatibilidade, eficiência e custo-benefício. Foram selecionados componentes amplamente utilizados em sistemas embarcados, garantindo confiabilidade e facilidade na integração dos dispositivos. O sistema é composto por sensores, microcontrolador, módulos de comunicação e armazenamento, além de interfaces de exibição e sinalização.

2.4.3.1 Sensores

O sensor utilizado no sistema de monitoramento de temperatura foi o termopar tipo K, selecionado por sua simplicidade de montagem, baixo custo e ampla faixa de medição, que varia de 0°C a 1300°C, sendo adequado para as condições térmicas dos fornos em casas de farinha.

O modelo adotado possui fio em liga de níquel-cromo (Nisiloy) e tubo em aço inoxidável 304, conferindo alta resistência mecânica e durabilidade. Com 500 mm de comprimento e 3 mm de diâmetro, o sensor se integra de forma eficiente ao sistema de monitoramento térmico. A Figura 7 apresenta o modelo selecionado.

Figura 7 – Termopar Utilizado no Sistema de Monitoramento



Fonte: MercadoLivre (2024)

2.4.3.2 Módulo Max6675

É um dispositivo compacto e preciso projetado para medir temperaturas entre 0°C e 1024°C usando termopares do tipo K. Ele oferece comunicação SPI (3 fios), detecção de quebra do termopar e é compatível com microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi e PIC. Inclui bornes para conexão da sonda de temperatura e é fácil de usar. Suporta alimentação de 3,0V a 5,5V, com uma corrente de operação de 50mA (Santos, 2023).

Amplamente empregado em projetos com estufas, fornos, refrigeradores e outros ambientes. Para maior controle e eficiência, conta ainda com circuito para detecção de quebra do termopar, garantido que os resultados obtidos sejam corretos e defeitos de quebra sejam comunicados ao usuário (Usinainfo, 2024). A Figura 8 apresenta o módulo Max6675.

Figura 8 – Módulo Max6675

Fonte: Usinainfo (2024)

2.4.3.3 Placa Arduino

O modelo escolhido foi a placa Arduino Mega 2560 é uma plataforma robusta e acessível, equipada com o microcontrolador ATmega2560. Ela oferece 54 pinos digitais de entrada/saída, dos quais 15 podem ser utilizados como saídas PWM (*Pulse Width Modulation*), e 16 entradas analógicas. Com uma oscilação de 16 MHz, esta placa também inclui 4 portas seriais, uma conexão USB, um conector de alimentação e um botão de reset, atendendo perfeitamente às necessidades de projetos mais complexos. Sua compatibilidade com diversos shields e a fácil interface com o software Arduino tornam-na uma escolha ideal para protótipos e aplicações (Arduino, 2024). A Figura 9 mostra a placa utilizada no projeto.

Figura 9 – Arduino Mega2560

Fonte: Arduino (2024)

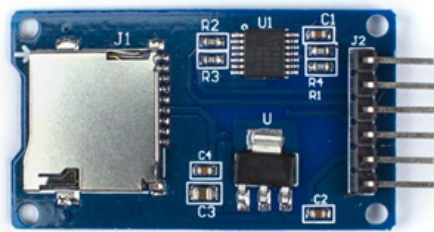
2.4.3.4 Módulo Cartão Micro SD

O armazenamento de dados ao longo do processo de produção da farinha de mandioca é fundamental para registrar a faixa de temperatura ideal dentro do forno. Durante a pesquisa de campo, os valores de temperatura interna foram coletados continuamente, com durações que variaram entre minutos e horas. No entanto, devido à capacidade limitada de memória da placa Arduino, tornou-se necessária a integração de um módulo com cartão MicroSD, garantindo o registro contínuo, seguro e confiável dessas informações.

A implementação desse módulo viabilizou a análise detalhada das temperaturas em cada etapa da produção, permitindo o cálculo do tempo médio das fases de escaldagem e torragem, além da temperatura média de cada uma. Assim, os dados armazenados possibilitam um estudo aprofundado do processo produtivo, contribuindo para sua melhoria.

Conforme ilustrado na Figura 10, a comunicação com o cartão MicroSD é realizada via interface SPI, operando em nível de sinal de 3,3 V. No entanto, o módulo possui um divisor de tensão integrado, permitindo a conexão direta com placas que operam em 5 V, como o Arduino, sem a necessidade de conversores adicionais. Além disso, é compatível com cartões MicroSD e MicroSDHC de alta velocidade, assegurando maior desempenho na gravação e leitura de dados (Robocore, 2024).

Figura 10 – Módulo Cartão MicroSD



Fonte: Robocore (2024)

2.4.3.5 Módulo Relógio RTC DS3231

O módulo RTC (*Real Time Clock*) é um componente eletrônico que fornece um relógio de tempo real para aplicações em sistemas embarcados (Teles e Sabino, 2023). Compacto e eficiente, ele realiza a contagem precisa de segundos, minutos, horas, dias, semanas, meses e anos, sendo amplamente utilizado com microcontroladores como Arduino, Raspberry Pi, AVR, PIC e ARM (Usinainfo, 2024).

A utilização desse módulo foi fundamental para o registro preciso de data e horário ao longo da pesquisa, garantindo a rastreabilidade dos dados coletados. Sua capacidade de manter a contagem exata do tempo possibilitou o monitoramento detalhado das variações térmicas durante a produção de farinha, permitindo a correta associação entre os dados registrados e cada etapa do processo no forno da casa de farinha. A Figura 11 apresenta o Módulo Relógio RTC utilizado no projeto.

Figura 11 – Módulo Relógio RTC DS3231

Fonte: Usinainfo (2024)

Dentre os modelos disponíveis no mercado, o DS3231 destaca-se por sua alta precisão e confiabilidade. Este circuito integrado opera com tensões entre 3,3 V e 5 V e comunica-se com microcontroladores por meio do protocolo I2C. Além disso, o módulo incorpora uma memória EEPROM AT24C32 de 32 Kbits, destinada ao armazenamento de dados, o que amplia suas funcionalidades em projetos que exigem controle de tempo e registro de informações.

Outro aspecto relevante é a sua faixa de operação, que varia entre 0°C e 40°C, com margem de erro de aproximadamente $\pm 3^\circ\text{C}$ na medição da temperatura interna. Essas características tornam o DS3231 uma solução robusta e eficiente para aplicações em que a precisão do tempo é fundamental (Usinainfo, 2024).

2.4.3.6 Liquid Crystal Display – LCD

O display LCD 16x2 é amplamente utilizado em projetos que exigem uma interface homem-máquina (IHM) simples e eficiente. Composto por 16 colunas e 2 linhas, possui caracteres na cor branca sobre fundo azul retroiluminado, o que garante boa legibilidade em diferentes condições de luminosidade. Esse modelo permite a exibição clara de letras, números e símbolos, sendo compatível com diversos microcontroladores, como Arduino, Raspberry Pi e PIC. Além disso, sua comunicação via protocolo I2C facilita a conexão e reduz o número de pinos utilizados, o que o torna especialmente atrativo para aplicações embarcadas de pequeno porte (Curtocircuito, 2024).

Neste trabalho, o display LCD foi utilizado com o objetivo de fornecer ao agricultor uma visualização em tempo real da temperatura medida no forno durante a produção da farinha de mandioca. A exibição contínua dos valores captados pelo termopar permite maior controle do processo, reduzindo a dependência de métodos empíricos baseados exclusivamente na experiência do agricultor. Essa integração tecnológica é particularmente relevante nas fases de escaldagem e torragem, em que a precisão térmica é essencial para evitar que a farinha fique

excessivamente úmida (com aspecto de "bijusada") ou tostada, como ressaltado por Cruz et al., (2021). A Figura 12 mostra o Display LCD.

Figura 12 – Display LCD



Fonte: Usinainfo (2024)

2.4.3.7 LED

Os LEDs (*Light Emitting Diode*) são componentes eletrônicos que emitem luz de forma eficiente e econômica, sendo amplamente utilizados em sistemas embarcados por seu baixo consumo de energia e alta durabilidade. Cada LED possui dois terminais: um ânodo (positivo) e um cátodo (negativo), sendo que o terminal mais longo corresponde ao polo positivo (Tostes, 2022).

Neste trabalho, os LEDs foram utilizados com o objetivo de facilitar a interpretação do comportamento térmico do sistema por parte do agricultor, especialmente em situações em que a leitura numérica dos valores exibidos no display se torne de difícil compreensão. Assim, foi implementado um sistema de sinalização visual baseado em cores, de forma intuitiva e acessível.

Durante o funcionamento do sistema, o LED azul indica que o equipamento está ligado, operando em temperatura ambiente e abaixo do limite mínimo estabelecido. Quando a temperatura atinge a faixa ideal para o processo de produção de farinha, acende-se o LED verde, sinalizando condições adequadas. Caso a temperatura se aproxime do limite superior permitido, o LED amarelo é acionado como alerta. Por fim, o LED vermelho indica que a temperatura ultrapassou o valor máximo estabelecido, exigindo intervenção.

Essa sinalização por cores torna o monitoramento mais acessível e contribui para a tomada de decisões rápidas e assertivas durante a produção. A Figura 13 apresenta exemplos dos LEDs utilizados no sistema.

Figura 13 – LEDs Transparente Alto Brilho 5mm

Fonte: Usinainfo (2024)

2.4.3.8 Sinalizar Sonoro - Buzzer

O buzzer foi utilizado neste trabalho com o objetivo de emitir alertas sonoros durante o processo de produção da farinha de mandioca, especialmente nas etapas críticas de escaldagem e torragem. Essas fases são essenciais para a qualidade do produto final. Segundo Neves et al., (2020), o controle adequado do tempo e da temperatura na torração é fundamental para a padronização da farinha.

Dessa forma, o buzzer foi implementado como um mecanismo de sinalização auditiva para alertar o agricultor quando os limites de temperatura preestabelecidos forem atingidos, indicando a necessidade de intervenção manual no controle térmico do forno. Essa estratégia visa promover maior estabilidade no processo produtivo, prevenindo o superaquecimento e contribuindo para a manutenção da qualidade da farinha.

O buzzer é um dispositivo eletrônico composto por dois pinos e um elemento piezelétrico em seu interior, formado por um disco de cerâmica central cercado por um disco metálico vibratório. Quando energizado, o disco cerâmico se contrai ou expande, provocando a vibração do disco metálico e, conseqüentemente, a emissão de som. A frequência do som pode ser ajustada conforme a necessidade do sistema (Tostes, 2022). A Figura 14 apresenta o buzzer utilizado no projeto.

Figura 14 – Buzzer 3V

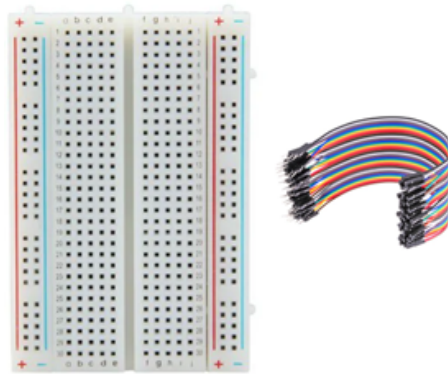
Fonte: Usinainfo (2024)

2.4.3.9 Protoboard e Jumpers

Durante o desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT), a utilização de diversos circuitos e componentes eletrônicos exigiu o uso de ferramentas adequadas para a fase de prototipagem. Nesse contexto, a protoboard e os jumpers desempenharam um papel fundamental na montagem, teste e validação dos circuitos eletrônicos envolvidos no projeto.

A protoboard é uma ferramenta amplamente utilizada na prototipagem eletrônica por permitir a montagem rápida, segura e reutilizável de circuitos sem a necessidade de soldagem. Consiste em uma placa plástica com uma matriz de furos interconectados eletricamente, onde componentes e fios podem ser inseridos com facilidade. Essa estrutura favorece experimentações, ajustes e testes antes da implementação definitiva em placas de circuito impresso.

Complementando essa funcionalidade, os jumpers são fios condutores com revestimento isolante utilizados para realizar conexões temporárias entre os pontos da protoboard ou de outras interfaces de prototipagem. Sua flexibilidade e reutilização tornam possível modificar circuitos com agilidade, otimizando o processo de desenvolvimento e reduzindo a necessidade de conexões permanentes na fase experimental. Após a validação dos circuitos, essas conexões podem ser substituídas por ligações definitivas (Makerhero, 2024). A Figura 15 mostra o protoboard e jumpers.

Figura 15 – Protoboard e Jumpers

Fonte: Makerhero (2024)

2.4.3.10 Cabo De Compensação Tipo K 2x24 Awg Ansi Aço / Fibra 1 Metro

O cabo de compensação tipo K 2x24 AWG ANSI é um componente projetado para aplicações que requerem alta confiabilidade e conformidade com padrões técnicos. Com dois condutores de 24 AWG, fabricados em aço e revestidos com material em fibra, o cabo proporciona excelente resistência mecânica, durabilidade e estabilidade na transmissão de sinais térmicos. Seu uso é comum em ambientes industriais e sistemas de medição, especialmente quando associados a sensores tipo K. A conformidade com as normas ANSI reforça sua adequação para projetos que exigem segurança, precisão e desempenho consistente (Mercadolivre, 2024).

No presente projeto, a escolha por esse cabo foi motivada pela necessidade de conectar a sonda termopar, fixada no interior do forno, ao sistema de leitura posicionado próximo ao agricultor. Para isso, era indispensável um cabo de maior alcance que suportasse as elevadas temperaturas do ambiente e garantisse a integridade dos sinais captados. O cabo tipo K 2x24 AWG mostrou-se ideal por atender a esses requisitos, assegurando a precisão dos dados e a confiabilidade do sistema de monitoramento térmico. A Figura 16 apresenta o cabo de compensação utilizado no sistema.

Figura 16 – Cabo de Compensação Tipo K

Fonte: Mercadolivre (2024)

2.4.3.11 Cabo Adaptador e Bateria 9v

Com o objetivo de garantir a alimentação do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) em ambientes com limitações estruturais, foi utilizado um cabo adaptador para bateria de 9V. Durante o início da pesquisa de campo, observou-se que algumas casas de farinha estão localizadas próximas às roças de mandioca, visando facilitar o transporte da matéria-prima e otimizar o processo produtivo. No entanto, muitas dessas unidades não possuem acesso à rede elétrica convencional.

Diante dessa realidade, tornou-se necessário desenvolver um sistema capaz de operar tanto com energia elétrica residencial (110V) quanto com uma fonte alternativa portátil. A bateria de 9V, associada ao cabo adaptador, foi a solução adotada por sua praticidade, disponibilidade e capacidade de alimentar o sistema em condições isoladas. A Figura 17 apresenta o cabo adaptador e a bateria utilizados no projeto.

Figura 17 – Cabo Adaptador Bateria e Bateria



Fonte: Mercadolivre (2024)

2.4.3.12 Balança Digital

A balança digital com capacidade para 50 kg foi utilizada no projeto com o objetivo de mensurar com precisão o peso da lenha empregada no processo de combustão do forno na casa de farinha. Esse instrumento permitiu a obtenção de dados quantitativos essenciais para a análise da eficiência térmica do sistema, possibilitando a correlação entre a quantidade de lenha consumida com e sem a utilização do sistema de monitoramento térmico. Assim, o uso da balança digital contribui para a avaliação do consumo energético e para a formulação de estratégias voltadas à otimização dos recursos na produção da farinha de mandioca.

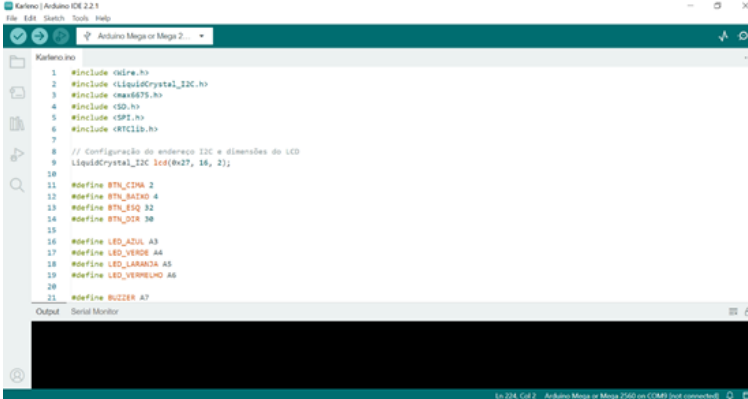
2.4.3.13 IDE Arduino

Na implementação do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT), foi utilizada a Arduino IDE, versão 2.2.1. Trata-se de uma plataforma de desenvolvimento de código aberto amplamente empregada em projetos embarcados, devido à sua versatilidade e facilidade de uso.

A ferramenta oferece um ambiente intuitivo para escrita, compilação e gravação de códigos em placas Arduino, facilitando a integração com sensores e módulos periféricos. Além

disso, apresenta recursos como editor de código aprimorado, suporte à depuração e gerenciamento simplificado de bibliotecas, o que contribui para maior eficiência no desenvolvimento e na manutenção do software do sistema. A Figura 18 apresenta a interface da IDE Arduino.

Figura 18 – Interface IDE Arduino



```
1 #include <I2C.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <max6675.h>
4 #include <SD.h>
5 #include <SPI.h>
6 #include <RTClib.h>
7
8 // Configuração do endereço I2C e dimensões do LCD
9 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
10
11 #define BTN_CIMA 2
12 #define BTN_DIREITA 4
13 #define BTN_ESQ 32
14 #define BTN_BAIXO 30
15
16 #define LED_AZUL A3
17 #define LED_VERDE A4
18 #define LED_LARANJA A5
19 #define LED_VERMELHO A6
20
21 #define BUZZER A7
```

Fonte: Arduino (2024)

2.4.3.14 Bibliotecas

Em programação, uma biblioteca é um conjunto de funções e rotinas previamente desenvolvidas, organizadas e disponibilizadas para facilitar a implementação de funcionalidades em diferentes aplicações, sem a necessidade de escrever extensos trechos de código manualmente (Ramos, 2017).

No contexto deste projeto, as bibliotecas foram essenciais para otimizar o desenvolvimento do sistema, permitindo a integração eficiente entre os sensores, módulos e a placa controladora. A Tabela 3 apresenta as bibliotecas utilizadas na programação, detalhando sua aplicação e relevância para o funcionamento do sistema de monitoramento de temperatura.

Tabela 3 – Lista de Bibliotecas

Biblioteca	Função
Wire.h	Permite a comunicação via protocolo I2C, essencial para a interface com dispositivos como o display LCD.
LiquidCrystal_I2C.h	Facilita o uso do display LCD com comunicação I2C, otimizando o número de pinos utilizados no Arduino.
max6675.h	Responsável pela leitura da temperatura do sensor termopar tipo K, comunicando-se com o módulo MAX6675.
SD.h	Habilita a leitura e escrita de dados em cartões SD, permitindo o armazenamento das medições de temperatura.
SPI.h	Fornecer suporte à comunicação SPI, necessária para dispositivos como o módulo SD e o MAX6675.
RTClib.h	Gerencia o relógio de tempo real (RTC), permitindo registrar data e hora das medições.

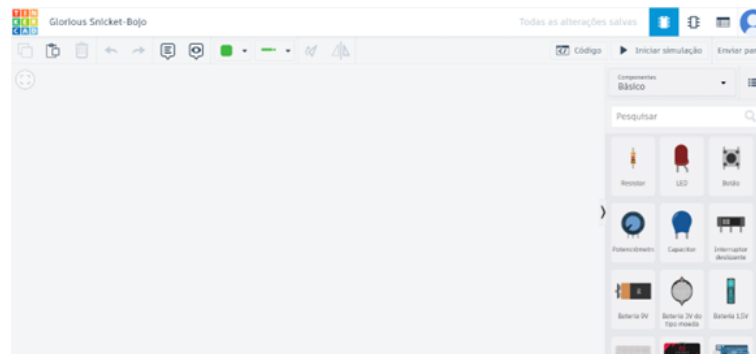
Fonte: Autor (2024)

2.4.3.15 Tinkercad

O ambiente de simulação Tinkercad foi utilizado como ferramenta auxiliar na etapa de testes e validação do circuito eletrônico. Trata-se de uma plataforma online que permite a prototipagem virtual de circuitos, viabilizando a simulação do funcionamento dos componentes antes da montagem física.

No contexto deste projeto, o Tinkercad foi empregado para testar a comunicação entre a placa Arduino Mega 2560 e os periféricos utilizados, como o display LCD, LEDs e sensor. Essa simulação possibilitou a identificação e correção de falhas tanto no código quanto no esquema de ligações elétricas, reduzindo significativamente o tempo e os custos envolvidos na construção do protótipo físico.

Dessa forma, a utilização do Tinkercad contribuiu diretamente para o desenvolvimento do sistema, proporcionando maior eficiência, confiabilidade e segurança na implementação final. A Figura 19 apresenta a interface da plataforma Tinkercad.

Figura 19 – Interface Tinkercad

Fonte: Tinkercad (2024)

2.4.3.16 Google Colab

Para a análise e visualização dos dados coletados, foi utilizada a plataforma Google Colab, uma ferramenta baseada em nuvem que permite a execução de códigos em Python, eliminando a necessidade de configurações locais complexas. Sua acessibilidade e integração com bibliotecas científicas tornam-na uma solução eficaz para o tratamento de dados em projetos acadêmicos e técnicos.

Os dados armazenados no cartão SD foram importados para o ambiente do Colab, onde passaram por etapas de tratamento e análise. Com o uso de bibliotecas como Pandas e Matplotlib, foi possível gerar gráficos que representam a variação da temperatura interna do forno ao longo do tempo. Essa visualização permitiu identificar padrões térmicos associados às diferentes fases do processo produtivo, contribuindo para uma avaliação mais precisa da estabilidade e da eficiência térmica durante o funcionamento do sistema.

Dessa forma, a utilização do Google Colab possibilitou uma abordagem prática, dinâmica e reproduzível para a análise dos dados, características fundamentais para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. A Figura 20 apresenta a interface da plataforma utilizada.

Figura 20 – Interface Google Colab

Fonte: Google Colab (2024)

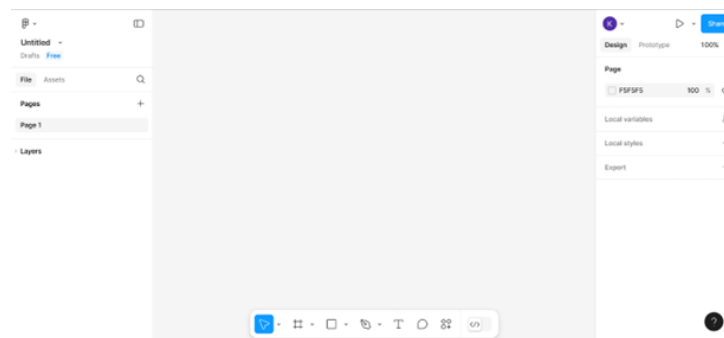
2.4.3.17 Figma

O Figma é uma plataforma baseada em nuvem que permite a criação e edição de imagens de forma colaborativa, oferecendo um ambiente intuitivo para o desenvolvimento de diagramas, esquemas de circuitos e interfaces gráficas. Por funcionar diretamente no navegador, facilita o acesso e a colaboração em tempo real entre diferentes usuários.

No contexto deste projeto, o Figma foi utilizado para a elaboração de ilustrações detalhadas do sistema, abrangendo a disposição dos componentes eletrônicos, fluxogramas e representações visuais dos dados coletados. Essa abordagem possibilitou a criação de figuras padronizadas e com alta qualidade visual, aspectos fundamentais para a documentação técnica e a apresentação dos resultados da pesquisa.

Com isso, a utilização do Figma contribuiu significativamente para a clareza visual do trabalho, aprimorando a comunicação das informações técnicas e a organização dos elementos gráficos. A Figura 21 apresenta a interface da plataforma Figma.

Figura 21 – Interface Figma



Fonte: Figma (2024)

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, com ênfase no desenvolvimento, aplicação e avaliação de um sistema de monitoramento de temperatura em fornos utilizados em casas de farinha da agricultura familiar. A metodologia proposta busca aliar conhecimentos científicos e saberes tradicionais, promovendo inovação tecnológica e sustentável para comunidades rurais. Com base em métodos experimentais, quantitativos e aplicados, o estudo visa analisar os impactos dessa tecnologia sobre o monitoramento térmico, qualidade do produto final, tempo de produção e uso racional de recursos naturais, como a lenha.

3.1 Tipo de Pesquisa e Abordagem Metodológica

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de natureza experimental e abordagem quantitativa. A pesquisa aplicada visa à geração de conhecimento com propósito prático, sendo indicada para o desenvolvimento de tecnologias voltadas à resolução de problemas concretos (Gil, 2008).

A natureza experimental permitiu o controle e a manipulação das variáveis envolvidas, como temperatura, tempo de produção e consumo de lenha, para observar os efeitos do sistema de monitoramento proposto. A abordagem quantitativa foi adotada por possibilitar a análise estatística dos dados obtidos em campo e em laboratório, incluindo medições térmicas, análises físico-químicas e sensoriais da farinha de mandioca produzida.

A combinação dessas abordagens metodológicas possibilitou avaliar, de forma objetiva, os impactos da inserção tecnológica na produção artesanal da farinha, respeitando as particularidades do contexto local.

3.2 Delimitação e Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na comunidade quilombola de São Benedito da Ponta, situada no município de Salvaterra, Ilha de Marajó – Pará. A escolha da localidade deve-se à relevância sociocultural da atividade de produção de farinha e à preservação de práticas tradicionais que viabilizam a integração de soluções tecnológicas com os saberes locais.

A casa de farinha analisada está situada em área oficialmente reconhecida como remanescente de quilombo pela Fundação Cultural Palmares, nas coordenadas geográficas -0.791025° de latitude e -48.597486° de longitude. A produção destina-se tanto ao consumo interno quanto à comercialização em feiras regionais, sendo uma importante fonte de renda e subsistência.

3.2.1 Modelo Produtivo Tradicional

A unidade produtiva analisada segue o modelo artesanal, com uso predominante de força de trabalho manual e ausência de mecanismos para o controle térmico. As etapas de produção incluem o descascamento, lavagem, prensagem, esfarelamento, escaldagem e torragem, sendo estas duas últimas realizadas em forno a lenha. O controle da temperatura é feito de forma empírica, baseado na experiência dos agricultores, o que pode acarretar variações na qualidade da farinha, consumo excessivo de lenha e aumento do tempo de produção.

3.2.2 Infraestrutura da Casa de Farinha

O ambiente físico da casa de farinha caracteriza-se por sua rusticidade e funcionalidade, sendo projetado para atender às diferentes etapas do processamento da mandioca. Trata-se de uma edificação simples, localizada nos fundos da residência dos agricultores, composta por um barracão com piso de chão batido, estrutura de madeira e cobertura de palha. As laterais abertas permitem a ventilação natural do espaço, favorecendo as condições de trabalho.

O espaço é equipado com utensílios e equipamentos básicos necessários à produção da farinha de mandioca, como o forno movido a lenha, o tipiti, peneiras, rodos, e recipientes adaptados, como paneirões confeccionados a partir de pneus de automóveis, que possuem tábuas de madeira como base para o armazenamento do produto recém-produzido. Além desses, são utilizados diversos instrumentos manuais próprios da prática tradicional de beneficiamento da mandioca. A Figura 22 ilustra a estrutura da casa de farinha selecionada.

Figura 22 – Casa de farinha, Quilombo São Benedito da Ponta



Fonte: Autor (2025)

3.2.3 Características do Forno

Os fornos utilizados nas casas de farinha exercem função central no processo de produção da farinha de mandioca, sendo responsáveis pela torrefação da massa até que se atinja o ponto ideal de secagem e textura. Tradicionalmente construídos com materiais como alvenaria, barro ou metal, esses fornos operam por meio da queima de lenha, que gera o calor necessário para o cozimento uniforme do produto. A superfície de torra, geralmente composta por uma chapa de cobre ou base cerâmica, é onde a massa é constantemente movimentada com o auxílio de pás ou rodos de madeira.

O controle da temperatura, na maioria dos casos, é feito de forma empírica pelo agricultor, que ajusta a quantidade de lenha e a distribuição do calor com base na sua experiência. Embora funcional, esse método pode resultar em oscilações na qualidade final da farinha devido à ausência de um controle térmico preciso. A Figura 23 apresenta o espaço de produção analisado, evidenciando o forno e a lenha utilizados no processo.

Figura 23 – Forno e Lenha



Fonte: Autor (2025)

3.3 Desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT)

O desenvolvimento do SMT contemplou concepção, montagem e validação de um protótipo para monitoramento térmico em fornos artesanais, utilizando os componentes descritos no Referencial Teórico (Capítulo 2): termopar tipo K, módulo MAX6675, Arduino Mega 2560, display LCD, LEDs, buzzer, módulo SD e RTC DS3231.

O sistema foi projetado para:

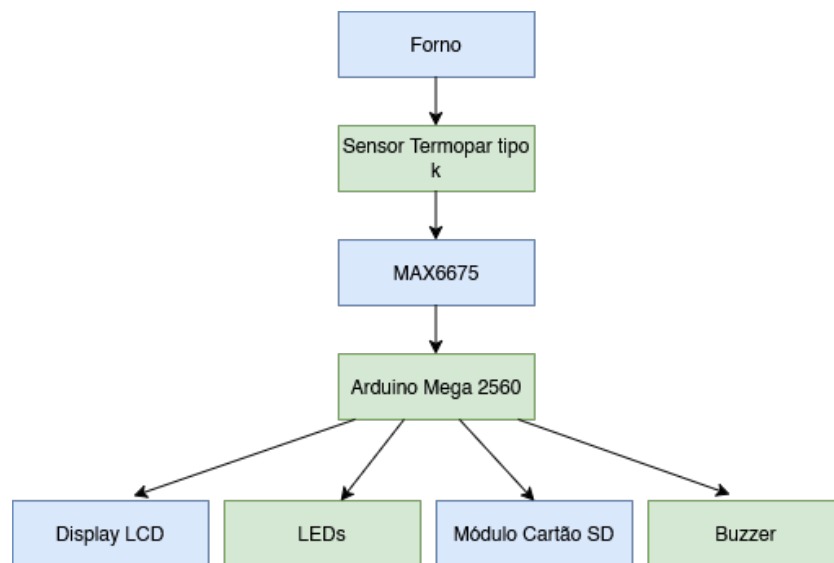
1. Captar a temperatura interna do forno;

2. Processar os dados via Arduino;
3. Emitir alertas visuais (LEDs, LCD) e sonoros (buzzer);
4. Armazenar registros em cartão SD (CSV) para posterior análise estatística.

3.3.1 Diagrama de Bloco

Conforme ilustrado na Figura 24, o sistema de monitoramento térmico é composto por uma arquitetura em blocos que interliga os principais componentes utilizados. A medição da temperatura do forno é realizada por um sensor termopar tipo K, cuja leitura é convertida pelo módulo MAX6675 e enviada ao microcontrolador Arduino Mega 2560. Este, por sua vez, processa os dados e aciona os dispositivos de saída, como o display LCD, LEDs, módulo de cartão SD e buzzer, responsáveis por fornecer informações visuais, armazenar registros e emitir alertas sonoros ao operador durante o processo de escaldagem e torragem.

Figura 24 – Diagrama de Bloco

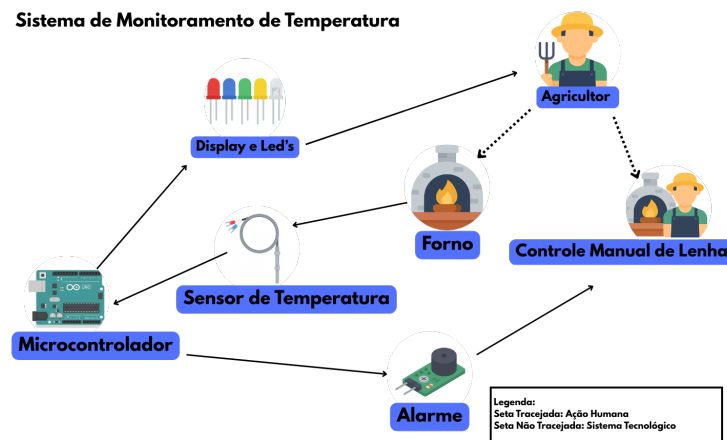


Fonte: Autor (2024)

3.3.2 Arquitetura do Sistema de Monitoramento

A Figura 25 apresenta uma representação ilustrativa do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) desenvolvido, destacando a integração dos componentes eletrônicos responsáveis pelo monitoramento térmico. O SMT foi projetado para operar por meio da interação entre sensores e um controlador central, possibilitando a captação contínua e o processamento das medições de temperatura ao longo das etapas do processo de produção da farinha de mandioca.

Figura 25 – Visão Geral do SMT



Fonte: Autor (2025)

O SMT foi desenvolvido com base nos valores térmicos de referência definidos para cada etapa do processo, especialmente nas fases de escaldagem e torragem. Durante a operação, o sistema realiza o monitoramento constante da temperatura, informando o agricultor sobre variações por meio de um display e LEDs integrados ao protótipo. Caso os limites preestabelecidos sejam ultrapassados, uma sirene é acionada para alertar a necessidade de intervenção manual, como a regulação da quantidade de lenha no forno. Essa funcionalidade visa garantir maior estabilidade térmica, contribuindo para a qualidade e a produtividade da farinha.

O funcionamento do sistema inicia-se com a captação da temperatura pelo sensor, estrategicamente posicionado no interior do forno. O sinal analógico gerado pelo termopar tipo K é transmitido ao circuito integrado MAX6675, responsável por convertê-lo em sinal digital compatível com o microcontrolador Arduino Mega 2560. A comunicação entre os dispositivos é realizada por meio do protocolo SPI, assegurando uma transmissão rápida e precisa dos dados.

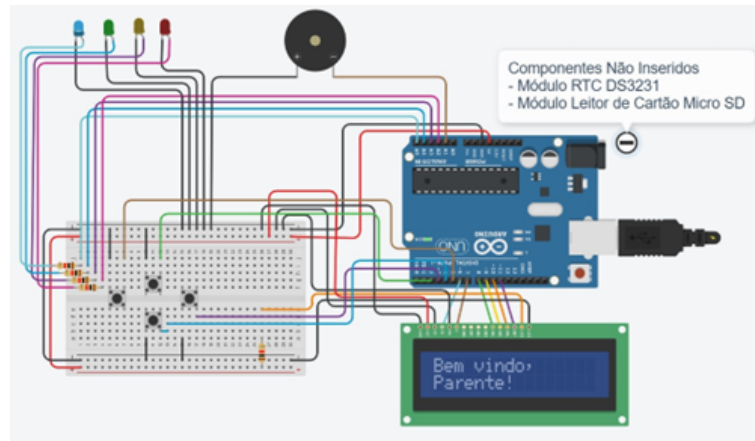
Após a conversão, o Arduino processa as informações e, em tempo real, exibe os valores no display LCD, permitindo o monitoramento visual contínuo por parte do agricultor. Paralelamente, os dados são armazenados em um módulo com cartão MicroSD, possibilitando análises posteriores do comportamento térmico do sistema. Quando os parâmetros ultrapassam os limites definidos, um buzzer é acionado, emitindo um alerta sonoro e orientando a intervenção imediata.

Assim, a implementação do SMT proporciona um monitoramento preciso e confiável das condições térmicas, aliando monitoramento contínuo, armazenamento de dados e mecanismos de alerta. Essa abordagem tecnológica contribui diretamente para a padronização do processo e o aumento da eficiência na produção da farinha de mandioca.

3.3.3 Esquema Eletrônico do Sistema

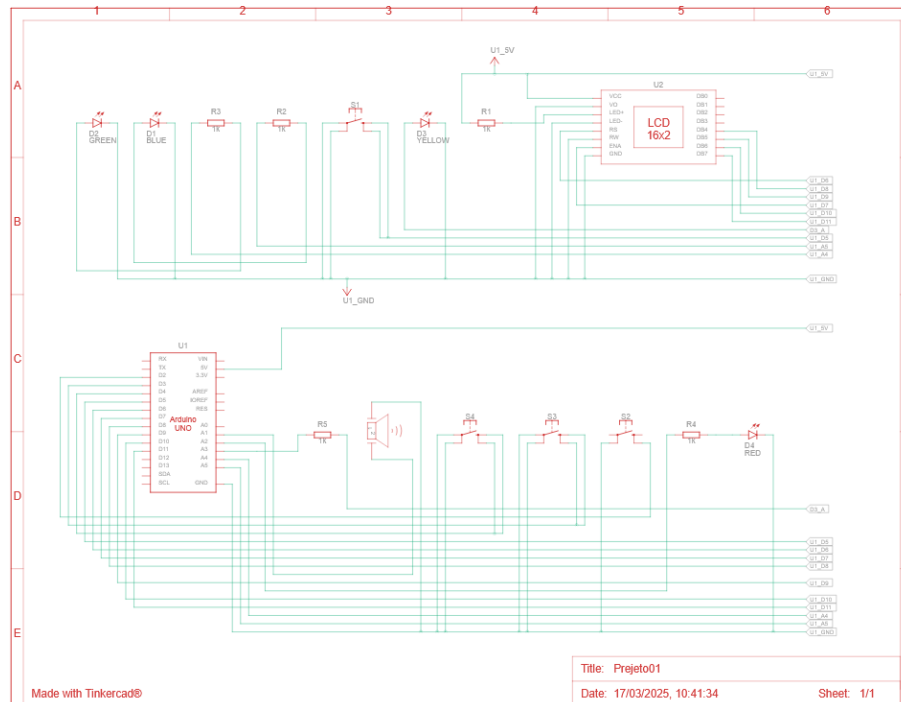
A descrição do circuito eletrônico do sistema é apresentada de forma detalhada na Figura 26, que exibe a conexão entre alguns componentes utilizados, como o microcontrolador Arduino Mega 2560, o display LCD, os LEDs indicadores e o buzzer. Já a Figura 27 apresenta a vista esquemática do sistema, facilitando a visualização da distribuição dos elementos eletrônicos e das interligações que compõem a arquitetura do SMT.

Figura 26 – Vista do Circuito



Fonte: Autor (2024)

Figura 27 – Vista Esquemática



Fonte: Autor (2024)

O forno da casa de farinha onde a pesquisa foi desenvolvida possui formato redondo, ca-

racterística predominante na região. O termopar escolhido apresenta um comprimento adequado para instalação no forno, garantindo uma medição precisa da temperatura. Inicialmente, a fixação do sensor exigiria a perfuração da estrutura, o que poderia comprometer sua integridade. Para evitar danos, optou-se por instalá-lo na abertura por onde a lenha é inserida. Como a sonda capta o calor ao longo de toda a sua extensão, o termopar foi posicionado sob as chamas, no centro da caldeira, a uma distância de 5 centímetros da estrutura de cobre, assegurando a captação das variações térmicas durante o processo produtivo.

3.3.4 Valores dos Materiais Utilizados

A Tabela 4 apresenta os materiais utilizados no sistema de monitoramento de temperatura, detalhando os itens, suas respectivas quantidades e os valores unitários. Essa tabela tem como objetivo fornecer uma visão clara e organizada dos recursos empregados no projeto, além de viabilizar uma análise precisa dos custos envolvidos na sua implementação.

Tabela 4 – Lista de Componentes e Valores

Item	Quantidade	Valor (R\$)
Sensor de temperatura de sonda de aço inoxidável Termopar	1	98,79
Cabo De Compensação Tipo K 2x24 Awg Ansi Aço / Fibra 1 Metro	1	59,50
Placa Arduino MEGA 2560 R3	1	49,51
Protoboard 400 pontos + Kit 65 jumpers macho/macho	1	82,80
Módulo Nanoshield Thermocouple Tipo K da Circuitar Eletrônicos	1	43,04
Display LCD 16x2 – Backlight Azul	1	21,06
LED transparente alto brilho 5mm	4	26,98
Resistor 150R 1/4W	4	24,05
Buzzer 3V	1	24,20
Módulo Cartão Micro SD	1	13,99
Módulo Relógio RTC DS3231 e bateria	1	22,50
Bateria 9V	1	18,79
Cabo Adaptador Bateria 9V para Arduino	1	14,00
Bateria de Lítio	1	8,90
Cartão de memória	1	8,71
Balança Digital 50kg	1	25,48
TOTAL:		542,30

A Tabela 3 apresenta todos os itens utilizados e seus respectivos custos, totalizando R\$ 542,30. Apesar de representar um investimento relativamente baixo em termos tecnológicos, esse valor ainda pode ser um obstáculo para pequenos agricultores, especialmente em regiões

de baixa renda, o que reforça a importância de políticas de incentivo ou apoio à adoção de tecnologias no meio rural.

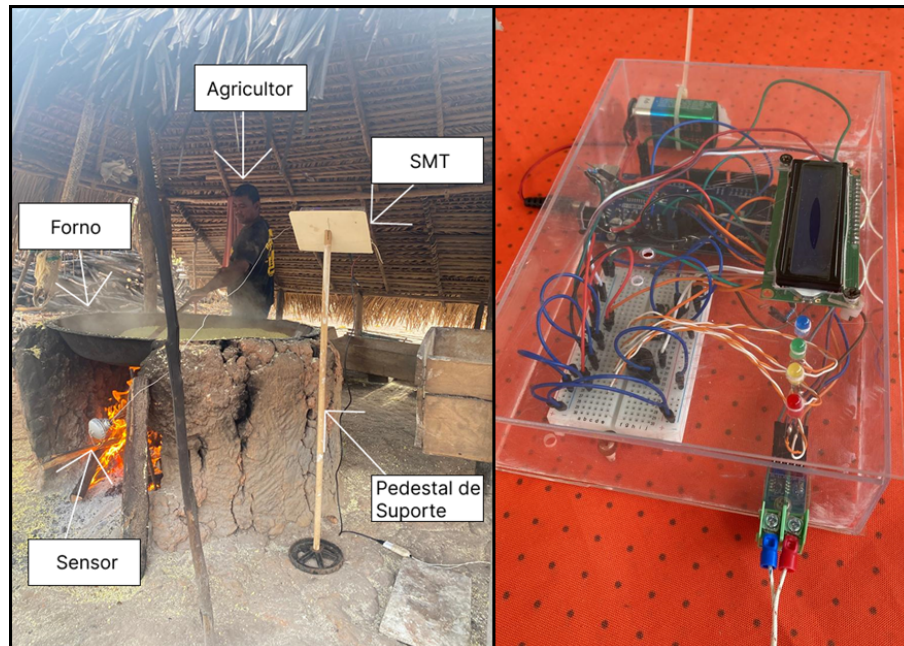
3.3.5 Integração Física do SMT ao Ambiente de Produção

Para assegurar a precisão das medições térmicas durante o processo de produção da farinha de mandioca, o sensor termopar tipo K foi fixado no centro do forno, próximo à entrada de lenha, permitindo captar as variações de temperatura. Conectado ao módulo MAX6675 e ao Arduino Mega 2560, o sistema realiza leituras contínuas, armazenando os dados em um cartão SD no formato CSV.

Durante os testes experimentais, foram seguidos os seguintes procedimentos:

- **Posicionamento do Sensor:** O sensor foi fixado estrategicamente no centro do interior do forno, próximo à entrada onde ocorre a alimentação de lenha, de forma a captar com precisão as variações térmicas durante o processo produtivo.
- **Período de Coleta:** As medições foram realizadas durante o processo de produção da farinha. A duração das coletas variou conforme a quantidade a ser produzida. Em geral, em cada dia agendado são realizadas de três a cinco produções.
- **Pesagem:** Foram realizadas pesagens da lenha utilizada, da mandioca processada e da farinha obtida. Também foram coletadas amostras da farinha para análise laboratorial, a fim de avaliar sua qualidade.
- **Registro e Armazenamento:** Os dados coletados foram armazenados no cartão SD e, posteriormente, transferidos para um software estatístico para análise detalhada.

A Figura 28 ilustra a aplicação prática do SMT em uma casa de farinha tradicional, evidenciando o agricultor em atividade, a instalação do sensor no forno e o módulo eletrônico montado sobre suporte próximo ao agricultor. A estrutura embarcada permite a visualização dos dados em tempo real e emite alertas luminosos e sonoros conforme os limites de temperatura estabelecidos.

Figura 28 – Integração do SMT ao Forno Artesanal

Fonte: Autor (2025)

3.4 Protocolo Experimental

A validação do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) desenvolvido para casas de farinha foi conduzida por meio de um protocolo experimental cuidadosamente estruturado. O objetivo era avaliar seu desempenho técnico e sua integração às práticas produtivas tradicionais, testando em condições reais de operação a efetividade do sistema no auxílio à regulação térmica durante o processamento da mandioca. Foram considerados critérios como estabilidade da temperatura, tempo de produção, consumo de lenha e qualidade do produto final.

O planejamento metodológico envolveu três fases principais: a calibração do sensor e a caracterização térmica do processo tradicional (7 ciclos iniciais sem intervenção do sistema); testes comparativos com e sem o uso do SMT, avaliando consumo de lenha, tempo de produção e variação térmica; e análises laboratoriais da farinha produzida (físico-químicas e sensoriais), seguindo a Instrução Normativa nº 52/2011 (MAPA). A adoção desse protocolo possibilitou uma análise abrangente dos efeitos do monitoramento térmico no contexto da agricultura familiar, preservando os saberes locais e respeitando as condições socioprodutivas da comunidade envolvida.

3.4.1 Procedimentos de Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada na casa de farinha da Comunidade Quilombola de São Benedito da Ponta, em Salvaterra (PA), local reconhecido pela tradição na produção artesanal de farinha de mandioca. O experimento comparativo foi desenhado para verificar as diferenças

entre a produção com e sem o uso do SMT, tanto em termos operacionais quanto de resultado final do produto.

Na etapa inicial, foram executados sete ciclos de produção com o sistema em modo passivo (sem a influência do sistema). Essa fase exploratória teve como finalidade calibrar o sensor termopar tipo K e identificar os intervalos de temperatura característicos das etapas de escaldagem e torragem. Como não havia registros técnicos disponíveis sobre essas faixas térmicas na região, a definição dos parâmetros contou com a colaboração dos agricultores, cujos conhecimentos empíricos foram fundamentais para identificar os momentos ideais de cada fase do processo.

O sistema operou como coletor de dados, registrando continuamente a temperatura interna dos fornos. As transições entre as fases foram determinadas por meio de observação direta e relatos dos produtores. A análise dos dados permitiu estabelecer limites térmicos médios, que foram utilizados para reprogramar o sistema e garantir sua aplicabilidade prática.

As faixas de temperatura definidas foram:

- **Escaldagem:** 306°C a 406°C.
- **Torragem:** 205°C a 305°C.

A Tabela 5 apresenta os valores registrados para as diferentes fases, incluindo médias, máximos, mínimos, desvios padrão e intervalos de confiança.

Tabela 5 – Temperaturas nas Fases do Processo

Fase	Média (°C)	Máxima (°C)	Mínima (°C)	Desvio Padrão	Intervalo de Confiança (95%)
Escaldagem – Inicial	306.33	314	300	7.02	(296.57, 316.10)
Escaldagem – Final	490.67	684	350	171.94	(287.56, 693.77)
Torragem – Inicial	205.33	209	200	4.73	(198.61, 212.06)
Torragem – Final	290.33	377	244	71.60	(206.45, 374.22)

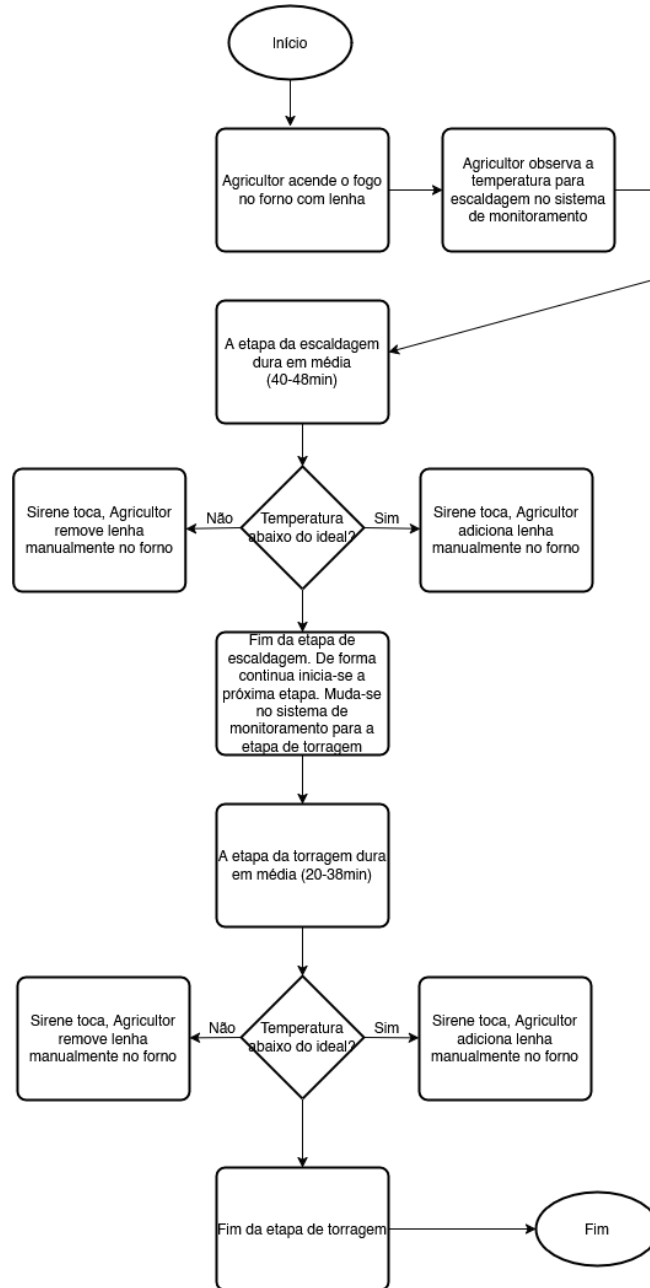
Fonte: Autor (2024)

Após a calibração, o SMT passou a operar de forma ativa, emitindo alertas visuais e sonoros sempre que os limites térmicos fossem ultrapassados. O agricultor, então, era orientado a intervir no processo conforme essas sinalizações. Essa interação entre sistema e operador

viabilizou um monitoramento mais preciso da temperatura, promovendo maior estabilidade térmica e reduzindo desperdícios energéticos.

A Figura 29 sintetiza visualmente o funcionamento do processo produtivo com a integração do SMT. O fluxograma demonstra, passo a passo, a atuação do sistema nas fases críticas do processo, desde o acendimento do forno até o fim da torragem.

Figura 29 – Fluxograma das Etapas de Produção da Farinha com Orientações do Sistema de Monitoramento Térmico



Fonte: Autor (2025)

3.4.2 Testes com e sem o Sistema

Para avaliar a eficácia do SMT, foram realizados seis testes comparativos na mesma casa de farinha: três ciclos sem o uso do sistema (cenário tradicional) e três com o uso do sistema. Os testes foram conduzidos sob as mesmas condições ambientais, com o mesmo tipo de forno e com agricultores experientes da comunidade.

Durante os experimentos, registraram-se dados referentes ao tempo de produção, consumo de lenha, variações térmicas e rendimento do produto. A comparação entre os dois cenários permitiu identificar as vantagens e eventuais limitações da aplicação tecnológica no ambiente produtivo.

Os dados obtidos serviram como base para análises estatísticas apresentadas no capítulo seguinte, permitindo aferir a contribuição do SMT em relação ao monitoramento térmico do processo, à economia de recursos e à qualidade da farinha.

3.4.3 Avaliação Sensorial e Análises Físico-Químicas

A última etapa do protocolo experimental consistiu na avaliação da farinha produzida nos dois cenários. Foram realizadas análises físico-químicas e testes sensoriais, com base em parâmetros como cor, textura, umidade e aceitação pelos consumidores.

Essas análises seguiram metodologias laboratoriais reconhecidas e protocolos de avaliação sensorial apropriados ao contexto da produção artesanal. Os resultados obtidos contribuíram para verificar se o uso do SMT, além de oferecer benefícios operacionais, também influenciava positivamente na qualidade do produto final.

Essa etapa complementa a análise técnica do sistema, permitindo uma visão mais holística de sua aplicação prática na agricultura familiar.

Dessa forma, a metodologia adotada neste estudo permitiu a implementação e a avaliação de um sistema de monitoramento de temperatura adaptado às condições reais de uma casa de farinha tradicional. Ao integrar soluções tecnológicas ao contexto da agricultura familiar, foi possível conduzir experimentos comparativos e obter dados quantitativos relevantes sobre o desempenho térmico do sistema, o tempo de produção, o consumo de lenha e a qualidade da farinha. Os procedimentos descritos fornecem embasamento técnico e científico para a análise dos resultados apresentados nos capítulos seguintes, reforçando a viabilidade e os potenciais benefícios da proposta no aprimoramento do processo produtivo artesanal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos por meio da implementação do sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha, com base em experimentos realizados na comunidade quilombola de São Benedito da Ponta, Salvaterra-PA. A comparação entre os cenários com e sem a utilização do sistema foi realizada com base nos aspectos analíticos relacionados aos objetivos específicos da pesquisa: desempenho térmico do sistema, qualidade da farinha, tempo de produção, consumo de lenha e aceitação sensorial do produto final.

4.1 Avaliação do Desempenho Térmico com Base nos Gráficos de Temperatura

Esta seção apresenta a análise dos perfis térmicos registrados durante seis ciclos produtivos distintos, sendo três com e três sem a utilização do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT), cujos dados foram comparados entre si. As Figuras 30, 31 e 32 mostram, de forma integrada, a variação da temperatura ao longo do tempo para ambos os cenários, com base nos dados coletados continuamente pela plataforma Arduino MEGA 2560 durante as etapas de escaldagem e torragem.

As faixas de temperatura consideradas ideais foram previamente definidas no protocolo experimental: de 306°C a 406°C para a escaldagem (representada pelo sombreamento amarelo nos gráficos) e de 205°C a 305°C para a torragem (sombreamento rosa). Esses parâmetros foram estabelecidos com base no conhecimento empírico dos agricultores locais, passando a orientar o monitoramento térmico do forno.

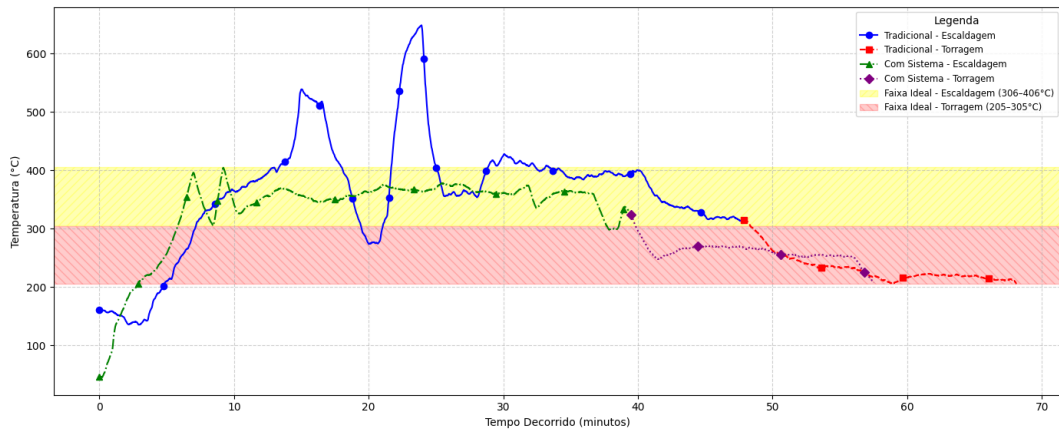
A análise dos dados gráficos evidencia que, nos ciclos com o uso do SMT, a temperatura se manteve mais estável dentro das faixas estipuladas, apresentando menor ocorrência de picos e quedas abruptas. Essa estabilidade térmica é fundamental para o cozimento homogêneo da massa, contribuindo para a padronização da qualidade da farinha, conforme discutido por Sousa e Ramos (2023). O controle térmico mais uniforme também reduz perdas por sobreaquecimento ou subaquecimento.

Nos mesmos gráficos, observa-se que, nos ciclos realizados sem o uso do SMT, as oscilações térmicas foram mais acentuadas, refletindo a condução empírica do processo. Essa instabilidade pode comprometer a eficiência operacional e resultar em maior consumo de lenha, devido à necessidade de ajustes manuais frequentes na intensidade do fogo.

A coleta contínua de temperatura em tempo real durante as etapas de escaldagem e torragem permitiu uma avaliação mais precisa do desempenho do sistema, proporcionando subsídios objetivos para a tomada de decisões durante a produção. Entre os principais benefícios

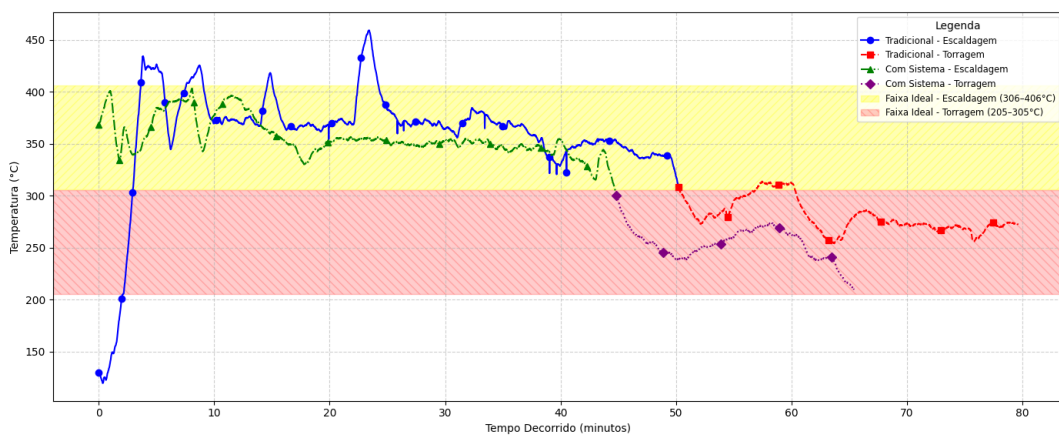
observados destacam-se: maior uniformidade da farinha, redução no tempo total de produção e tendência de diminuição no consumo de lenha — aspectos essenciais para a sustentabilidade e eficiência das casas de farinha da agricultura familiar.

Figura 30 – Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 1ª Produção de Farinha.

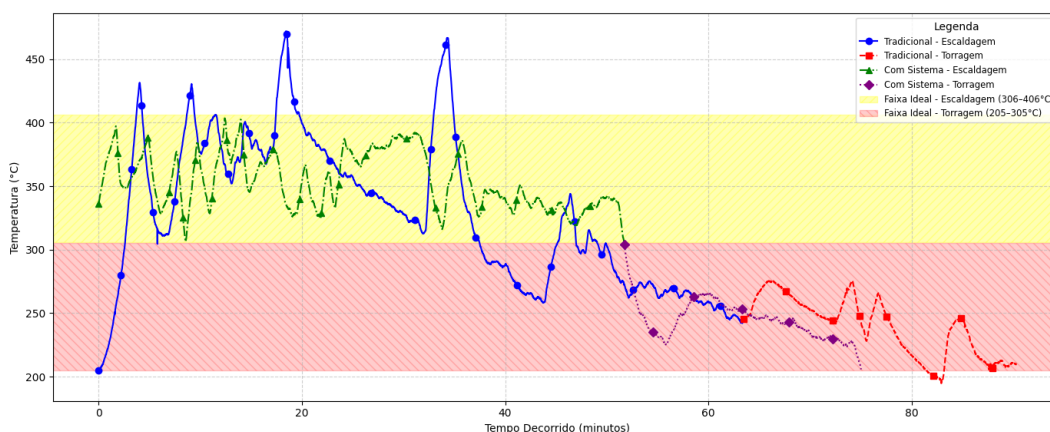


Fonte: Autor (2025)

Figura 31 – Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 2ª Produção de Farinha.



Fonte: Autor (2025)

Figura 32 – Variação da Temperatura ao Longo do Tempo Obtida na 3ª Produção de Farinha.

Fonte: Autor (2025)

Em síntese, a avaliação térmica dos ciclos produtivos demonstrou que a implementação do SMT contribuiu de forma significativa para a estabilização da temperatura nos fornos. Essa estabilidade favoreceu a homogeneidade do produto final, otimizou o uso de energia e contribuiu para a redução dos impactos ambientais, confirmando a eficácia da solução proposta no contexto da agricultura familiar marajoara.

4.2 Avaliação Físico-Química da Farinha de Mandioca

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade do Estado do Pará (UEPA) – Campus Salvaterra. Os procedimentos seguiram os protocolos estabelecidos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008) e os critérios definidos na Instrução Normativa nº 52, de 7 de novembro de 2011, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabelece os padrões de identidade e qualidade para a farinha de mandioca.

A coleta de amostras foi conduzida em dois contextos experimentais distintos:

- **Cenário 1:** Produção tradicional da farinha de mandioca, sem o uso do SMT;
- **Cenário 2:** Produção com a implementação do SMT.

Em cada cenário, foram realizadas três repetições (A1, A2 e A3). Para garantir maior precisão estatística e reduzir a influência de possíveis valores atípicos, os cálculos de média e desvio padrão foram baseados nas repetições A1 e A2.

4.2.1 Farinha Produzida sem o Sistema de Monitoramento

A Tabela 6 apresenta os resultados físico-químicos obtidos das amostras de farinha produzidas sem o uso do SMT. Observa-se variabilidade nos valores obtidos, especialmente nos

parâmetros de acidez titulável e pH, indicando menor uniformidade no processo de produção quando comparado às demais condições avaliadas.

Tabela 6 – Caracterização Físico-Química da Farinha Sem o Emprego do Sistema de Monitoramento.

Análises	A1	A2	A3	Média (A1 e A2)	DP (A1 e A2)
Umidade (%)	5,70	5,70	6,40	5,70	0,00
Cinzas (%)	2,49	2,52	3,10	2,51	0,02
Acidez Titulável (%)	7,79	6,64	9,50	7,22	0,81
pH	4,35	4,65	3,90	4,50	0,21

Fonte: Autor (2025)

A umidade das amostras analisadas encontra-se dentro dos padrões estabelecidos que é inferior a 13%. Em relação ao teor de cinzas, cujo limite máximo permitido é de 1,4%, os valores observados foram de 2,49% para a amostra A1 e 2,52% para a amostra A2, ambos acima do limite recomendado. Quanto à acidez titulável, considerando-se o parâmetro de até 5,0% para acidez baixa e acima de 5,0% para acidez elevada, ambas as amostras apresentaram valores indicativos de alta acidez: A1 com 7,79% e A2 com 6,64%. Por fim, quanto ao pH, cuja faixa ideal varia entre 4,53 e 4,95, observou-se que a amostra A1 apresentou um valor de 4,35, abaixo do intervalo estabelecido, enquanto a amostra A2, com pH 4,65, encontra-se dentro dos limites aceitáveis.

4.2.2 Farinha Produzida com o Sistema de Monitoramento

A Tabela 7 reúne os dados das amostras produzidas com o SMT. Nota-se uma maior consistência entre os valores, especialmente nos parâmetros de acidez e pH. Os resultados sugerem melhor controle das variáveis térmicas ao longo do processo, promovendo maior padronização da farinha.

Tabela 7 – Caracterização Físico-Química da Farinha com o Emprego do Sistema de Monitoramento.

Análises	A1	A2	A3	Média (A1 e A2)	Desvio Padrão (A1 e A2)
Umidade (%)	9,4	8,1	12,0	8,75	0,92
Cinzas (%)	0,4	0,5	1,2	0,45	0,07
Acidez Titulável (%)	5,5	6,5	8,8	6,00	0,71
pH	4,53	4,45	3,90	4,49	0,06

Fonte: Autor (2025)

A umidade das amostras analisadas encontra-se dentro do limite estabelecido pela legislação vigente, que é inferior a 13%. Em relação ao teor de cinzas, cujo valor máximo permitido é de 1,4%, as amostras A1 (0,4%) e A2 (0,5%) também atendem aos critérios normativos. Quanto à acidez titulável, valores inferiores ou iguais a 5,0 indicam acidez baixa, enquanto valores superiores a esse limite caracterizam acidez elevada. As amostras A1 (5,5) e A2 (6,5) apresentaram acidez alta. Por fim, em relação ao pH, cujos valores aceitáveis variam entre 4,53 e 4,95, observou-se que a amostra A1 apresentou pH de 4,53, situando-se no limite inferior da faixa permitida, enquanto a amostra A2 apresentou pH de 4,45, valor abaixo do recomendado.

4.2.3 Comparação Gráfica dos Resultados

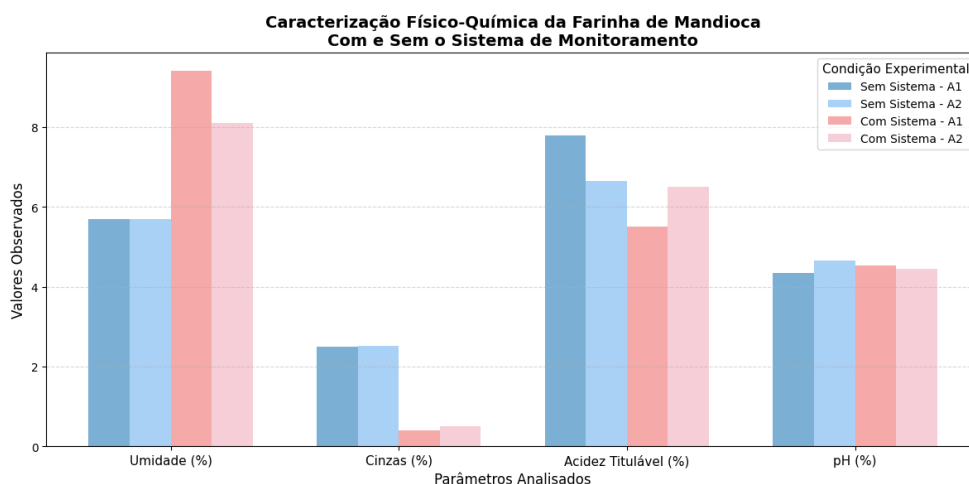
A Figura 33 apresenta uma síntese visual dos parâmetros físico-químicos obtidos nos dois cenários avaliados: com e sem a utilização do SMT. A análise gráfica dos dados permitiu observar os seguintes aspectos:

Com o uso do SMT:

- Aumento no teor de umidade da farinha, indicando menor ressecamento da massa e potencial melhoria na textura e frescor do produto.
- Redução nos teores de cinzas e acidez titulável, refletindo um processo térmico mais controlado e preservação das características físico-químicas desejáveis.

Sem o uso do SMT:

- Teores mais elevados de acidez, o que pode comprometer a aceitação sensorial e a estabilidade do produto.
- Maior variabilidade nos resultados entre os ciclos, evidenciando a falta de padronização no processo produtivo.

Figura 33 – Comparação dos Resultados Físico-Químicos da Farinha de Mandioca com e sem o Uso do Sistema de Monitoramento de Temperatura

Fonte: Autor (2025)

A padronização proporcionada pelo SMT resultou em melhorias significativas na qualidade da farinha. A menor acidez, o menor teor de cinzas e a maior homogeneidade nos valores de pH são indicativos de um processo térmico mais estável. Além disso, o teor de umidade, mantido dentro dos limites da Instrução Normativa nº 52/2011, contribui para melhores características sensoriais. Os resultados reforçam o potencial do SMT como uma solução viável para aprimorar a produção em casas de farinha da agricultura familiar.

4.3 Análise Comparativa do Consumo de Lenha

A lenha é a principal fonte de energia utilizada nas casas de farinha, desempenhando papel fundamental no aquecimento dos fornos durante as etapas de escaldagem e torragem. Contudo, o uso intensivo pode acarretar custos operacionais elevados e provocar significativos impactos ambientais, como a degradação de recursos florestais e a emissão de gases de efeito estufa (IPCC, 2006). Nesse contexto, o uso racional da biomassa lenhosa configura-se como uma estratégia essencial para garantir a sustentabilidade do processo produtivo.

Com o intuito de avaliar o impacto da implementação do SMT sobre o consumo de lenha, foram realizados experimentos em dois cenários distintos: (i) produção tradicional, sem o uso do SMT, e (ii) produção com o sistema em funcionamento. Cada cenário foi repetido três vezes, utilizando balança digital de alta precisão para aferição da massa total de lenha consumida por ciclo.

4.3.1 Dados Experimentais do Consumo de Lenha

A Tabela 8 apresenta os dados coletados, incluindo os valores individuais de cada ciclo, médias, desvios padrão e o total de lenha consumida nos dois cenários.

Tabela 8 – Resumo das Produções com e sem o Uso do Sistema de Monitoramento de Temperatura

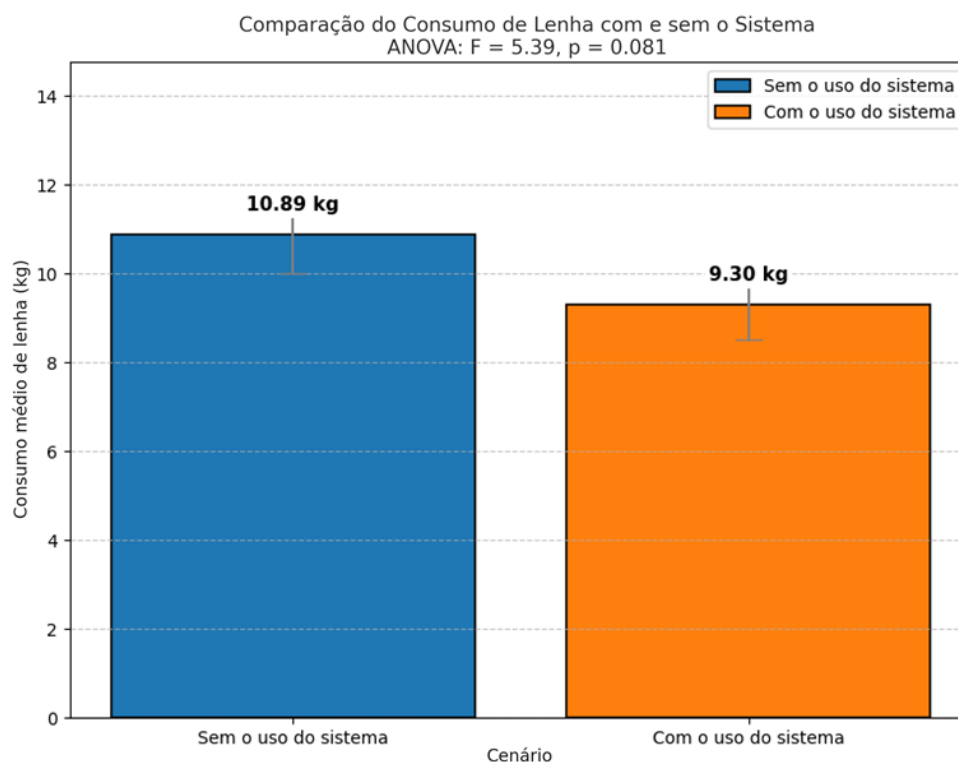
	Sem o uso do sistema	Com o uso do sistema
1ª produção	11,42 kg	8,53 kg
2ª produção	9,87 kg	10,11 kg
3ª produção	11,37 kg	9,26 kg
Média	10,89 kg	9,30 kg
Desvio Padrão	0,85	0,79
Total	32,66 kg	27,90 kg
Economia: 4,76 kg		

Fonte: Autor (2025)

Observa-se uma redução média de 1,59 kg por ciclo, representando uma economia relativa de aproximadamente 14,6% em comparação com o cenário tradicional. Esse resultado indica ganhos consideráveis de eficiência energética no contexto da agricultura familiar.

4.3.2 Análise Estatística do Consumo

Para verificar se a diferença entre as médias é estatisticamente significativa, aplicou-se o teste de ANOVA de um fator, apropriado para comparação de grupos independentes com pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias (Montgomery, 2017). Os resultados estão ilustrados na Figura 34.

Figura 34 – Comparação do Consumo de Lenha com e sem o Sistema de Monitoramento (ANOVA)

Fonte: Autor (2025)

Com base na análise de variância, observou-se que, ao nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), o valor de $p = 0,081$ foi superior ao limite crítico. Portanto, não há evidências estatísticas suficientes para rejeitar a hipótese nula de igualdade entre as médias. No entanto, a proximidade do valor de p ao limiar de significância sugere uma tendência de redução no consumo de lenha, que poderá ser confirmada em estudos futuros com maior número de repetições.

Ainda que os resultados não tenham alcançado significância estatística, o padrão observado reforça o potencial do sistema de monitoramento como ferramenta de racionalização do uso da biomassa.

4.3.3 Projeção Anual de Economia de Lenha por Ciclo Produtivo

Com base nos dados obtidos durante os testes experimentais, constatou-se que o sistema de monitoramento de temperatura proporcionou uma economia média de 1,59 kg de lenha por ciclo produtivo. Considerando que uma casa de farinha típica realiza em média, 13 ciclos de produção por mês, a projeção anual alcança 156 ciclos por ano. Assim, a estimativa de economia anual de lenha é dada por:

$$\text{Economia anual} = 1,59 \text{ kg/ciclo} \times 156 \text{ ciclos} = 248,04 \text{ kg/ano}$$

Esse valor representa uma economia significativa no contexto da agricultura familiar, ao evidenciar o potencial de redução no uso de biomassa vegetal. A diminuição do consumo de

lenha impacta positivamente os custos operacionais, ao mesmo tempo em que contribui para práticas produtivas mais sustentáveis em comunidades que dependem da lenha como principal fonte energética.

4.3.4 Estimativa de Redução de Emissões de CO₂ a Partir da Economia de Lenha

A lenha, ao ser utilizada como combustível, gera emissões diretas de dióxido de carbono (CO₂). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006), o fator de emissão é de 1,747 kg de CO₂ para cada 1 kg de lenha queimada. Aplicando esse fator à economia anual estimada de 248,04 kg de lenha, obtém-se:

$$\text{Redução Anual de CO}_2 = 248,04 \times 1,747 = 433,32 \text{ kg de CO}_2$$

Portanto, a implementação do sistema de monitoramento não apenas racionaliza o consumo de biomassa, como também contribui para a mitigação de aproximadamente 433,32 kg de CO₂ por ano. Isso representa um avanço relevante em termos de sustentabilidade ambiental no contexto da produção artesanal de farinha de mandioca.

4.3.5 Estimativa de Economia com Base em Dias Úteis de Produção

Além da projeção baseada na quantidade de ciclos produtivos mensais, elaborou-se uma estimativa anual considerando o calendário de dias úteis, ou seja, os dias de segunda a sexta-feira. Com base no ano civil de 365 dias, ao se subtrair os 104 dias correspondentes aos finais de semana (sábados e domingos), obtém-se um total de 261 dias úteis de produção.

Durante os testes, verificou-se uma economia média diária de 4,76 kg de lenha com o uso do sistema. Assim, a economia total projetada para o ano é:

$$4,76 \text{ kg/dia} \times 261 \text{ dias} = 1.242,36 \text{ kg/ano}$$

Essa projeção evidencia um impacto significativo, com a economia superior a uma tonelada de lenha ao longo do ano. Tal resultado representa benefícios expressivos para a sustentabilidade ambiental, ao reduzir o consumo de biomassa vegetal, além de promover ganhos operacionais e financeiros para os produtores, especialmente no contexto da agricultura familiar.

4.3.6 Conversão Financeira da Biomassa Economizada

De acordo com o Informativo CEPEA nº 271, o preço médio do metro cúbico da prancha de Jatobá na região de Paragominas (PA), no mês de julho de 2024, foi de aproximadamente R\$ 4.200,00. No mesmo período e localidade, o valor médio do metro cúbico da tora de Angelim Vermelho foi estimado em cerca de R\$ 1.400,00 (CEPEA, 2024).

Considerando que não há informações específicas sobre o tipo de madeira utilizada como combustível na casa de farinha analisada, adotou-se, para fins de estimativa, o valor referente à madeira de menor custo — a tora de *Angelim Vermelho* — como referência. A escolha por esse tipo de madeira visa tornar a projeção mais conservadora e realista, especialmente no contexto da agricultura familiar.

Como os preços do CEPEA são apresentados em metros cúbicos (m³) e, neste estudo, o consumo de lenha é expresso em quilogramas (kg), realizou-se a conversão para estimar o custo por quilograma.

Com base na densidade média da madeira de *Angelim Vermelho*, estimada em 1.090 kg/m³ a 15% de umidade, conforme dados do *Catálogo de Madeiras Brasileiras para a Construção Civil*, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT (2013), é possível realizar a conversão de volume para massa utilizando a relação direta entre essas grandezas. Assim, considera-se que 1 metro cúbico de *Angelim Vermelho* corresponde a 1.090 kg de madeira. Com base no valor de R\$ 1.400,00 por metro cúbico, obtém-se:

$$\text{Preço por kg} = \frac{R\$ 1.400,00}{1.090 \text{ kg}} \approx R\$ 1,28/\text{kg}$$

Assim, o valor aproximado de cada quilograma de lenha de *Angelim Vermelho* é de R\$ 1,28, o que possibilita mensurar com maior precisão os custos da biomassa utilizada na produção de farinha e estimar os impactos econômicos da economia proporcionada pelo sistema de monitoramento de temperatura.

Com isso, o preço médio por quilograma de lenha foi aplicado na quantificação do benefício financeiro anual. Multiplicando-se o total economizado de 1.242,36 kg pelo valor de R\$ 1,28/kg, obteve-se uma economia financeira aproximada de:

$$1.242,36 \text{ kg} \times R\$ 1,28/\text{kg} = R\$ 1.590,22$$

Esse resultado demonstra que, além de contribuir para a redução do impacto ambiental causado pela queima excessiva de biomassa, o sistema de monitoramento de temperatura proporciona ganhos econômicos relevantes para os produtores, especialmente no contexto da agricultura familiar, em que o custo com insumos pode comprometer significativamente a renda líquida da atividade.

4.3.7 Projeção da Redução Total de CO₂ Associada à Produção Anual

A redução do consumo de lenha proporcionada pelo uso do sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha representa não apenas um benefício econômico, mas também um impacto ambiental significativo, especialmente no que se refere à mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Considerando a economia total anual de 1.242,36 kg de lenha ao longo de 261 dias de produção e utilizando o fator de emissão proposto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006) — que estima a liberação de 1,747 kg de CO₂ para cada 1 kg de lenha queimada — tem-se:

$$\text{Redução de CO}_2 = 1.242,36 \text{ kg lenha} \times 1,747 = 2.170,40 \text{ kg CO}_2$$

Portanto, a adoção do sistema possibilita uma redução aproximada de 2.170,40 kg de CO₂ por ano, representando um ganho ambiental expressivo. Essa mitigação contribui diretamente para a diminuição da pegada de carbono associada à produção de farinha de mandioca, alinhando-se aos objetivos de sustentabilidade e às metas globais de redução de gases de efeito estufa.

4.3.8 Equivalência da Redução de CO₂ com Emissão de Veículos Automotores

Para contextualizar a mitigação de 2.170,40 kg de CO₂ por ano, realiza-se uma analogia com a emissão média de veículos automotores. De acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2016), um automóvel movido a gasolina emite cerca de 192 g de CO₂ por quilômetro rodado, totalizando aproximadamente 2.496 kg de CO₂ ao ano, considerando uma quilometragem média anual de 13.000 km.

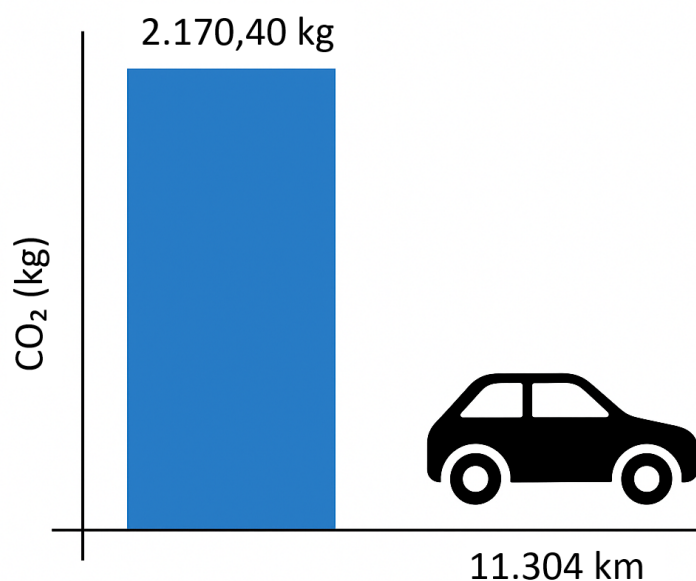
Estes valores são amplamente utilizados em inventários de emissões veiculares, como demonstrado no estudo de Silva, Lima e Almeida (2022), que adotam as métricas da CETESB como referência para o cálculo de emissões veiculares em diferentes categorias e faixas etárias da frota nacional.

Assim, a economia de 2.170,40 kg de CO₂ equivale à emissão de um carro convencional ao percorrer:

$$\frac{2.170,40 \text{ kg CO}_2}{0,192 \text{ kg/km}} \approx 11.304 \text{ km}$$

Esse valor representa uma distância significativa, reforçando o impacto positivo da adoção do sistema no que se refere à redução das emissões de gases de efeito estufa.

Essa equivalência é ilustrada na Figura 35, que representa visualmente a distância que um carro poderia percorrer antes de emitir a mesma quantidade de CO₂ mitigada pelo sistema estudado.

Figura 35 – Redução de CO₂ Equivalente a um Carro Popular Rodando 11.304 km

Fonte: Autor (2025)

4.3.9 Projeção Integrada de Economia de Lenha, Custos e Emissões de CO₂

Para melhor visualização dos benefícios ao longo do tempo, a Tabela 9 apresenta uma projeção considerando diferentes períodos de operação:

Tabela 9 – Projeção de economia com o uso do sistema de monitoramento de temperatura.

Dias	Economia de Lenha (kg)	Economia (R\$)	Redução de CO ₂ (kg)
1	4,76	1,28	8,32
30	142,80	38,40	249,47
261	1.242,36	334,08	2.170,40
365	1.737,40	467,20	3.035,24

Fonte: Autor (2025)

O sistema de monitoramento de temperatura em fornos de casas de farinha demonstrou impactos positivos relevantes, tais como a redução no consumo de lenha, a diminuição das emissões de CO₂ e a geração de economia financeira significativa, especialmente no contexto da agricultura familiar. Sua aplicação contribui para práticas sustentáveis de produção, sem comprometer a produtividade, reforçando o potencial da solução como ferramenta de apoio à modernização sustentável das unidades produtivas tradicionais na região amazônica.

4.4 Avaliação do Tempo de Produção

A análise do tempo total de produção da farinha de mandioca teve como objetivo verificar a influência do Sistema de Monitoramento de Temperatura (SMT) na eficiência do processo produtivo. Todas as etapas foram cronometradas — da escaldagem até a finalização da torragem — tanto nos testes conduzidos de forma tradicional quanto naqueles com o uso do sistema.

4.4.1 Dados Temporais por Etapa do Processo

A Tabela 10 apresenta os tempos registrados em cada etapa de seis ciclos de produção, sendo três realizados sem o uso do sistema e três com o uso do SMT. A redução de tempo total com a utilização do SMT foi de aproximadamente 25 minutos e 23 segundos por ciclo.

Tabela 10 – Tempo de Produção de Farinha de Mandioca.

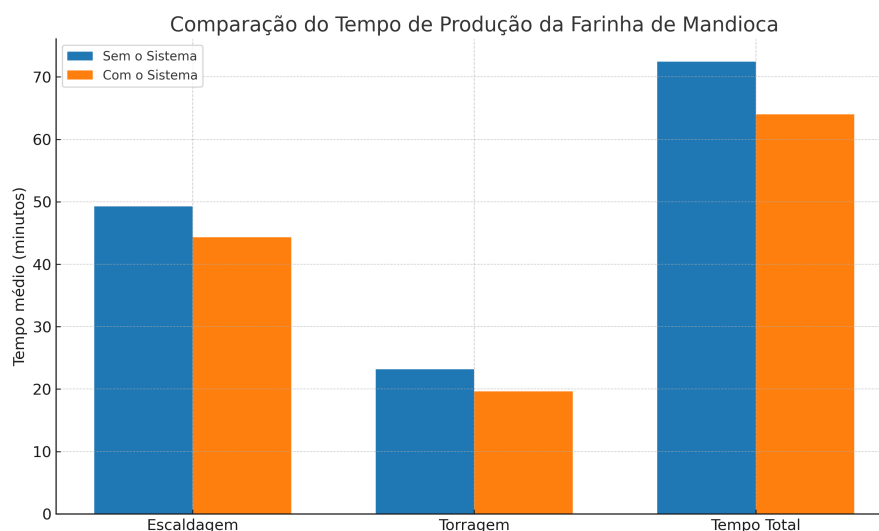
PRODUÇÃO	ESCALDAGEM	TORRAGEM	TOTAL
Sem o uso do sistema			
1ª Produção	0:44:14	0:18:21	1:02:35
2ª Produção	0:42:02	0:27:24	1:09:26
3ª Produção	1:01:29	0:23:50	1:25:19
Com o uso do sistema			
1ª Produção	0:38:28	0:17:03	0:55:31
2ª Produção	0:43:49	0:19:36	1:03:25
3ª Produção	0:50:43	0:22:18	1:13:01
Redução de tempo de produção: 25 minutos e 23 segundos			

Fonte: Autor (2025)

4.4.2 Discussão dos Resultados Temporais

A implementação do SMT resultou em uma redução de 11,67% no tempo médio total necessário para a finalização de uma fornada de farinha, com a média passando de 72,44 minutos para 63,99 minutos por ciclo. Essa redução, correspondente a aproximadamente 8,45 minutos por ciclo, está diretamente relacionada à maior estabilidade térmica promovida pelo sistema, que permitiu um acompanhamento mais preciso da temperatura durante as etapas críticas de escaldagem e torragem.

O SMT, composto por sensores térmicos integrados a um sistema de registro em cartão MicroSD, possibilitou o monitoramento contínuo das temperaturas ao longo do processo produtivo. Esse acompanhamento em tempo real reduziu a necessidade de intervenções manuais frequentes, minimizou interrupções e tornou o processo mais previsível e eficiente. A Figura 36 apresenta graficamente a comparação entre os tempos médios por etapa, com e sem a utilização do sistema.

Figura 36 – Comparação do Tempo de Produção da Farinha de Mandioca

Fonte: Autor (2025)

A redução no tempo total de produção impacta positivamente a produtividade nas casas de farinha, permitindo a realização de um maior número de ciclos em um mesmo período de trabalho. Além disso, a diminuição da duração das etapas contribui para a redução do esforço físico exigido dos agricultores, tornando o processo menos exaustivo e mais compatível com as condições das comunidades da agricultura familiar.

Dessa forma, os resultados evidenciam que o Sistema de Monitoramento de Temperatura contribuiu de forma significativa para a otimização do processo produtivo, promovendo ganhos operacionais e sociais. A maior estabilidade térmica, favorecida pelo monitoramento contínuo, reduziu o tempo total por ciclo e facilitou o manejo do forno, configurando um avanço importante para a eficiência e sustentabilidade das casas de farinha tradicionais.

4.5 Avaliação Sensorial da Farinha de Mandioca

A presente subseção apresenta os resultados da avaliação sensorial da farinha de mandioca, conduzida no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade do Estado do Pará (UEPA), Campus Salvaterra. O teste sensorial envolveu sete participantes, incluindo discentes e servidores da instituição, abrangendo diferentes faixas etárias e gêneros, o que garantiu uma amostra heterogênea e representativa.

4.5.1 Metodologia da Avaliação Sensorial

A análise foi realizada com duas amostras distintas: A1, referente à farinha produzida antes da implementação do SMT, e A2, referente à farinha obtida após a adoção do sistema. O instrumento utilizado para a coleta dos dados sensoriais encontra-se descrito no Apêndice A.

4.5.2 Resultados Obtidos

A Tabela 11 apresenta as médias das notas atribuídas pelos avaliadores para cada atributo sensorial analisado: aparência, aroma, sabor, textura, crocância e impressão global.

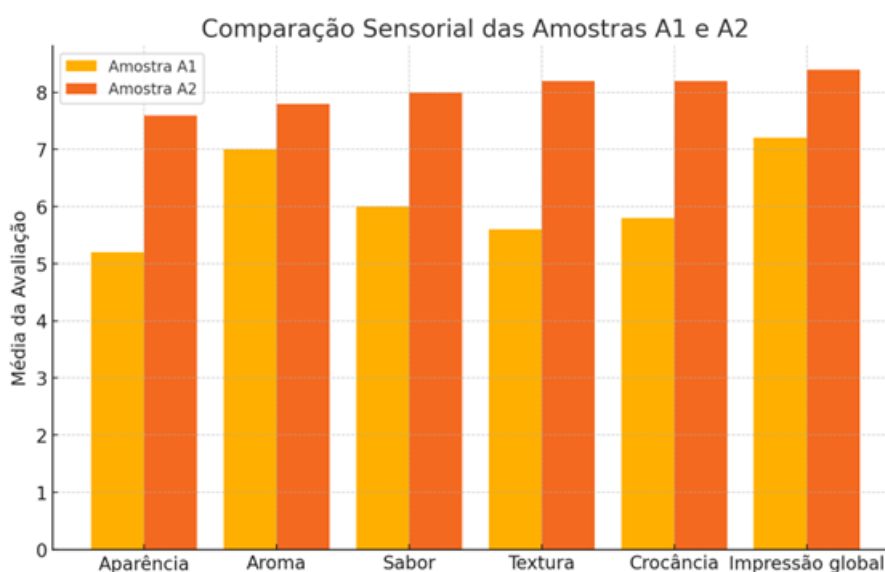
Tabela 11 – Média das Avaliações Sensoriais para A1 e A2

Atributo	Média A1	Média A2
Aparência	5.2	7.6
Aroma	7.0	7.8
Sabor	6.0	8.0
Textura	5.6	8.2
Crocância	5.8	8.2
Impressão Global	7.2	8.4

Fonte: Autor (2025)

A Figura 37 ilustra de forma comparativa o desempenho das duas amostras nos atributos avaliados.

Figura 37 – Comparação Sensorial



Fonte: Autor (2025)

Os dados demonstram uma melhora significativa na percepção sensorial da farinha de mandioca após a implementação do SMT. Todos os atributos avaliados apresentaram aumento nas notas médias, com destaque para os aspectos de textura, crocância e sabor — diretamente influenciados pelo controle térmico durante o processo de produção.

A amostra A2 apresentou desempenho superior em todos os quesitos, indicando que o monitoramento mais preciso da temperatura favoreceu a uniformidade e a qualidade do produto

final. A maior aceitação sensorial sugere que o sistema contribuiu positivamente para uma experiência mais satisfatória por parte dos avaliadores.

A análise sensorial revelou que o uso do Sistema de Monitoramento de Temperatura impactou positivamente a qualidade percebida da farinha de mandioca. A elevação das notas médias em todos os atributos avaliados comprova a eficácia do sistema em melhorar a aceitabilidade do produto final, reforçando seu potencial para aplicação em contextos de produção artesanal.

4.6 Discussão dos Resultados Obtidos

Os resultados obtidos com a implementação do sistema de monitoramento de temperatura evidenciaram impactos positivos em diversos aspectos do processo produtivo da farinha de mandioca. A adoção da tecnologia proposta proporcionou melhorias significativas na estabilidade térmica dos fornos, na redução do tempo total de produção, no consumo de lenha e na qualidade físico-química e sensorial do produto final. Na sequência, são discutidas a relevância desses achados com base na literatura científica, seus desdobramentos socioambientais e o potencial de aplicação da solução em diferentes realidades da agricultura familiar.

4.6.1 Conexão com Estudos Anteriores

Os resultados desta pesquisa confirmam achados de estudos anteriores que destacam a importância do controle térmico para a padronização da qualidade da farinha e para a redução de desperdícios energéticos. Conforme discutido por Sousa e Ramos (2023), a aplicação correta das temperaturas nas etapas de escaldagem e torração é determinante para garantir um produto final homogêneo e seguro. A análise físico-química das amostras mostrou que o uso do sistema contribuiu para a conformidade com os padrões estabelecidos pela Instrução Normativa nº 52/2011 do MAPA, especialmente no que diz respeito à umidade e granulometria.

Adicionalmente, conforme Fauzi, Sepeeh e Zulkifli (2021), sistemas de monitoramento térmico baseados em plataformas acessíveis, como Arduino e NodeMCU, têm se mostrado eficazes em contextos industriais, o que reforça o potencial de sua adaptação para a realidade rural. Os dados desta pesquisa demonstram que a proposta é viável tecnicamente, mesmo em ambientes com infraestrutura limitada, como os encontrados em casas de farinha tradicionais.

4.6.2 Impactos Sociais e Ambientais

Do ponto de vista ambiental, a redução média de 14,6% no consumo de lenha promoveu o uso mais racional dos recursos florestais e a diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Esse resultado está alinhado com os princípios de sustentabilidade apontados por Alves e Modesto Júnior (2017), que destacam a eficiência energética como pilar da produção de farinha.

No aspecto social, o sistema contribuiu para a melhoria das condições de trabalho dos agricultores ao reduzir a exposição ao calor excessivo dos fornos. A interface amigável, com leitura clara e sinais visuais simples, permitiu que agricultores com pouca experiência técnica realizassem o monitoramento térmico com maior autonomia e precisão. Isso fortaleceu a valorização do saber tradicional aliado à inovação tecnológica, promovendo a inclusão e o fortalecimento da participação ativa das comunidades rurais.

4.6.3 Viabilidade e Expansão da Tecnologia

O sistema desenvolvido mostra elevado potencial de aplicação em outras casas de farinha que apresentem características semelhantes às observadas na comunidade de São Benedito da Ponta. Sua estrutura simples, facilidade de operação e capacidade de registro de dados tornam a solução replicável e tecnicamente viável em diferentes contextos da agricultura familiar.

Além disso, a arquitetura do sistema permite sua adaptação para outras atividades que envolvem monitoramento térmico, como secagem de alimentos e estufas agrícolas. Para expansão de sua aplicação, recomenda-se o fortalecimento de ações de extensão rural e programas de capacitação técnica, conforme sugerido por Souza et al. (2024), a fim de viabilizar sua adoção em escala mais ampla.

A discussão integrada dos resultados confirma a eficácia do SMT no aprimoramento da produção de farinha de mandioca. Os impactos positivos observados — técnicos, ambientais e sociais — reforçam o papel da tecnologia como agente de transformação sustentável nas casas de farinha. A viabilidade de replicação do sistema e sua compatibilidade com outras aplicações agrícolas apontam para um caminho promissor de inovação na agricultura familiar brasileira.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresenta uma síntese dos principais resultados obtidos ao longo do estudo, discute as limitações enfrentadas durante a pesquisa e propõe direções para investigações futuras. O objetivo central é consolidar os achados, destacando as contribuições do monitoramento térmico aplicado a fornos utilizados na produção de farinha de mandioca. Além disso, busca-se refletir sobre os impactos técnicos e produtivos observados, com ênfase na qualidade do produto final, na redução do tempo de processamento e na eficiência no uso da lenha.

5.1 Conclusões

Os resultados obtidos demonstram que a implementação do sistema de monitoramento de temperatura contribui significativamente para a melhoria do processo produtivo da farinha de mandioca. A partir da análise dos dados coletados, foi possível identificar benefícios concretos tanto em termos de eficiência operacional quanto de qualidade do produto final.

Entre os principais ganhos observados, destacam-se:

- **Diminuição do tempo de produção:** O monitoramento térmico proporcionou uma economia total de 25 minutos e 23 segundos no tempo de processamento da farinha. Essa diminuição reflete diretamente em maior eficiência operacional e menor esforço físico exigido dos trabalhadores rurais;
- **Redução do consumo de lenha:** Houve uma redução expressiva de 14,57% no uso de lenha durante o processo, o que contribui para a sustentabilidade ambiental ao mitigar os impactos relacionados ao consumo de biomassa, incluindo a diminuição da emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, além de tornar o processo mais viável economicamente;
- **Melhoria na qualidade do produto:** As análises físico-química e sensoriais apontaram que a farinha produzida com o auxílio do sistema de monitoramento térmico apresentou melhores características quanto à umidade, acidez e crocância, fatores que elevam a qualidade e a valorização comercial do produto;
- **Maior estabilidade térmica:** O monitoramento térmico possibilitou a manutenção de temperaturas mais constantes ao longo das etapas do processo, reduzindo oscilações que poderiam comprometer a qualidade da farinha.

Esses resultados confirmam a viabilidade técnica e econômica do sistema na produção de farinha de mandioca, evidenciando avanços importantes tanto na eficiência produtiva quanto na sustentabilidade do processo. Além disso, os dados sugerem que a aplicação de tecnologias pode representar uma alternativa promissora para unidades produtivas rurais, especialmente

aquelas que buscam ampliar sua competitividade no mercado sem abrir mão das características tradicionais do produto artesanal.

5.2 Limitações do Estudo

Embora os resultados obtidos nesta pesquisa sejam promissores, é fundamental reconhecer algumas limitações que podem restringir a generalização dos achados. A adoção de sistemas de monitoramento térmico, apesar de seus benefícios, ainda enfrenta desafios significativos que precisam ser considerados em futuras investigações, especialmente no contexto de casas de farinha em áreas rurais.

Em primeiro lugar, destaca-se o escopo geográfico restrito da pesquisa, realizada em uma comunidade específica. Essa delimitação pode comprometer a aplicabilidade dos resultados em outras regiões com diferentes características ambientais, culturais e estruturais.

Outro ponto a ser considerado refere-se às condições das instalações físicas das casas de farinha, bem como às diferentes etapas do processo produtivo, como a prensagem, a secagem, a torrefação e a moagem. A ausência de padronização nesses aspectos pode interferir nos resultados e exigir adaptações específicas nos sistemas de monitoramento térmico, o que reforça a importância de estudos em contextos mais diversos e com diferentes níveis de infraestrutura.

Além disso, o custo de implementação do sistema representa um desafio relevante. Apesar da eficiência demonstrada, o investimento inicial pode ser um entrave, sobretudo para pequenos produtores com acesso limitado a recursos financeiros e apoio técnico.

Por fim, é importante destacar que a qualidade da farinha não depende exclusivamente do monitoramento térmico. Variáveis como a qualidade da matéria-prima, as técnicas de cultivo adotadas e as condições climáticas locais também exercem influência significativa, mas não foram exploradas em profundidade neste estudo.

Diante dessas limitações, recomenda-se que pesquisas futuras considerem uma abordagem mais abrangente, contemplando diferentes realidades produtivas, estágios do processo e aspectos externos que impactam diretamente a produção e a qualidade final do produto.

5.3 Sugestões para Trabalhos Futuros

Considerando as limitações identificadas e os resultados alcançados neste estudo, algumas direções são recomendadas para pesquisas futuras, com o intuito de aprofundar o conhecimento sobre os fatores que influenciam a produção de farinha:

- **Exploração de Novas Variáveis e Fatores:** Segundo os agricultores, além do monitoramento da temperatura, diversos outros elementos interferem na qualidade final da farinha.

Entre eles, destacam-se a qualidade da matéria-prima, as práticas de cultivo adotadas, as condições climáticas regionais e o período de plantio. A análise sistemática desses aspectos poderá contribuir para um entendimento mais abrangente do processo produtivo;

- **Análise do Impacto da Umidade do Ar:** A umidade relativa do ar é um fator relevante que merece investigação, pois suas variações ao longo do dia podem influenciar diretamente as características físico-químicas da farinha de mandioca. A compreensão desses efeitos pode orientar a adoção de medidas técnicas mais adequadas durante o processo de produção, contribuindo para a padronização e a melhoria da qualidade do produto final.
- **Socialização dos Resultados com a Comunidade:** Destaca-se a importância de compartilhar os resultados com a comunidade quilombola de São Benedito da Ponta, em Salvaterra-PA, de modo a validar o impacto prático do sistema de monitoramento térmico, fortalecer o diálogo entre saberes tradicionais e científicos e favorecer a apropriação comunitária da tecnologia para soluções sustentáveis e adequadas ao contexto local.

REFERÊNCIAS

ABATE, Francidio Monteiro; ALBUQUERQUE, Maria Betânia Barbosa. Cultura alimentar indígena e os cuidados da cunhã, trocas culturais e educação não escolar na Amazônia colonial. *Revista Brasileira de História da Educação*, v. 24, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.4025/rbhe.v24.2024.e340>>.

ABREU, Fernanda Abreu de; CLAUDINO, Livio Sergio Dias. “Isso vem de uma aprendizagem”: discutindo o conceito de tecnologia a partir de diferentes perspectivas. *Revista Tecnologia e Sociedade, Curitiba*, v. 16, n. 43, p. XX-XX, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts>>.

AGÊNCIA PARÁ. Casas de farinha registradas pelo Governo do Estado movimentam a economia paraense. Agência Pará, 2021. Disponível em: <<https://agenciapara.com.br/noticia/61394/casas-de-farinhas-registradas-pelo-governo-do-estado-movimentam-a-economia-paraense>>.

ALMEIDA, Hanna Paula Negreiros de. Agricultura familiar e sustentabilidade ambiental na comunidade rural de Novo Remanso (Amazonas, Brasil). 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2023.

Álvares, V. de S., Miqueloni, D. P., Negreiros, J. R. da S. (2016). Variabilidade físico-química da farinha de mandioca do Território da Cidadania do Vale do Juruá, Acre. *Revista Ceres*, 63(2), 113-121. <<https://doi.org/10.1590/0034-737X201663020001>>.

ÁLVARES, Virgínia de Souza; SOUZA, Joana Maria Leite de; LAMBERTUCCI, Daniel Moreira. Influência do processo artesanal de produção de farinha de mandioca na classificação final do produto. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2022. ISSN 0104-9046.

ALVES, Raimundo Nonato Brabo; MODESTO JÚNIOR, Moisés de Souza. Demanda de lenha para torragem de farinha de mandioca nos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. ISSN 1983-0513.

ALVES, Raimundo Nonato Brabo; MODESTO JÚNIOR, Moisés de Souza. Sistema semimecanizado de produção de mandioca e rentabilidade de fabricação de farinha de bijú no município de Curvelândia – MT. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, Curitiba*, v. 4, n. 1, p. 1258-1270, jan./mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.34188/bjaerv4n1-102>.

ALVES, Raynon Joel Monteiro; GUTJAHR, Ana Lúcia Nunes; PONTES, Altem Nascimento. A agricultura familiar e sua importância para os povos amazônicos: o caso do município de Marapanim, Pará. *Revista Pegada, Presidente Prudente*, v. 21, n. 3. Setembro-Dezembro 2020. DOI: <<https://doi.org/10.33026/peg.v21i3.7792>>.

ARAUJO, Warley Monteiro; CAVALCANTE, Maxwell Machado; SILVA, Rogério Oliveira da. Visão geral sobre microcontroladores e prototipagem com Arduino. *Revista Tecnologias em Projeção*, v. 10, n. 1, p. 36, 2019.

ARDUINO. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 2024.

NAHUZ, Augusto Rabelo (Coord.). Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013. (Publicação IPT; 4371). ISBN 978-85-09-00175-9.

AYACHE, George Elias; PEDRINHO, Denise Renata; REIS NETO, José Francisco dos. Descrição das condições socioeconômicas e processo de produção da farinha de mandioca da Colônia do Pulador, Anastácio, MS. *Uniciencias*, v. 25, n. 2, p. 70-76, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.17921/1415-5141.2021v25n2p70-76>>.

AZEVEDO, James Ribeiro de; VASCONCELOS, Maria da Conceição da Costa de Andrade; SILVA, Antonia Francilene Alves da; AZEVEDO, Gênesis Alves de; SILVA, Maurício Marcon Rebelo da. Análise da sustentabilidade dos sistemas de produção de agricultores familiares de Vargem Grande, Chapadinha e Buriti, Estado do Maranhão. *RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 4, n. 10, 2023. ISSN 2675-6218.

BACK, Matheus Willian. Agricultura familiar – um estudo de caso de uma família rural no município de Medianeira – PR. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônoma) – Faculdade de Ensino Superior de São Miguel do Iguaçu, União de Ensino Superior do Iguaçu Ltda, São Miguel do Iguaçu, 2021.

BALIEIRO, Nadylla. Desafios encontrados pela agricultura familiar na aquisição de financiamentos. *RACE Interdisciplinar – Revista Científica Eletrônica*, ISSN 2674-7134, 2024.

BEGA, Egídio Alberto; DELMÉE, Gerard Jean; COHN, Pedro Estéfano; BULGARELLI, Roberval; KOCH, Ricardo; FINKEL, Vitor Schmidt. *Instrumentação Industrial*. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2006. IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás.

BELIK, Walter. Perspectivas para segurança alimentar e nutricional no Brasil. *Saúde e Sociedade*, v. 12, n. 1, p. 12-20, jan./jun. 2003.

BEZERRA, Valeria Saldanha. Planejando uma casa de farinha de mandioca. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amapá, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Macapá, AP, 2011.

BOLTON, William. Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BORGES, Pedro Hurtado de Mendoza; HURTADO MENDOZA, Zaíra Morais dos Santos; MORAIS, Pedro Hurtado de Mendoza; SANTOS, Ronei Lopes dos. Sistema automatizado de baixo custo para produtores rurais: controle e monitoramento do ambiente térmico na suinocultura. RECoDAF – Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, v. 4, n. 2, 2018. ISSN 2448-0452.

BRASIL. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 25 jul. 2006. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm>.

BRITO, Antonio Elton da Silva; GOMES, João Gabriel Pereira. O trabalho nas casas de farinha do município de Amontada, Ceará, do ano de 2020 ao ano de 2023. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Fortaleza, 2023.

BRITO, Hállisom Luniere. Proposta de melhoria da produtividade do processo de obtenção das raízes de mandioca na agricultura familiar. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Manaus, 2017.

CABÓ, Antônio Eudson Costa. Sistema microcontrolado inteligente de baixo custo para o monitoramento de altas temperaturas em fornos da indústria de cerâmica vermelha. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte; Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

CARVALHO, Maria Luzia Silva de. Elfa monitoring systems: um sistema de monitoramento de pessoas idosas por meio de sensores, utilizando Internet das Coisas. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte; Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Mossoró, RN, 2019.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. Informativo CEPEA – Setor Florestal: preço lista em dólar da celulose no mercado doméstico se estabilizará em agosto, após 8 meses de altas seguidas. Piracicaba, SP: CEPEA, n. 271, jul. 2024.

CHISTÉ, Renan Campos; COHEN, Kelly de Oliveira. Estudo do processo de fabricação da farinha de mandioca. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. (Documentos, 267). Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>.

CORRÊA, Ana Queloene Imbiriba. Perfil sanitário, social, econômico e ambiental de casas de farinha de mandioca no planalto santareno-PA. 2019. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

COSTA, Rodrigo Barbosa. Monitor decorrente alternada utilizando Arduino. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CETEC, Brasil. 2 abr. 2019.

CRUZ, Jozângelo Fernandes da; AZEVEDO, José Marlo Araújo de; SILVA, Eurines Costa da; SOUZA, Renato Epifânio de; COSTA, Celiana Barbosa da. Processamento artesanal da farinha de mandioca no Vale do Juruá, Acre: um estudo de caso. Revista Conexão na Amazônia, v. 2, n. 2, 2021. ISSN 2763-7921.

CURTO CIRCUITO. Display LCD 16x2 Backlight Azul. 2024. Disponível em: <<https://encr.pw/1BJFc>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Estratégias de desenvolvimento rural e alternativas tecnológicas para a agricultura familiar na região Meio-Norte. Francisco das Chagas Oliveira, Valdemício Ferreira de Sousa, José Oscar Lustosa de Oliveira Júnior. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008.

FAUZI, Mohammad A'mirul Ahmad; SEPEEH, Muhamad Syazmie; ZULKIFLI, Shamsul Aizam. Real-time monitoring for mechanical boiler chamber using IoT application. International Journal of Nanoelectronics and Materials, v. 14, esp., p. 183-190, dez. 2021.

FOLEGATTI, Marília Ieda da Silvaiera; MATSUURA, Fernando César Akira Urbano; FERREIRA FILHO, José Raimundo. A indústria da farinha de mandioca. 2005. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024837>>.

FREIRE, David Abrahão. Termopar para Controle Automático de Temperatura. Jacareí: Faculdade Anhanguera de Jacareí, 2017.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, Graciete Pereira. Inovações tecnológicas na produção da farinha de tapioca em Abaetetuba-PA. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Educação do Campo com Ênfase em Ciências Naturais) – Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Baixo Tocantins, Faculdade de Formação e Desenvolvimento do Campo, Abaetetuba, 2019.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Emissões veiculares no Estado de São Paulo: 2015. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, set. 2016.

GUIMARÃES, Juliana Silva. Agricultura familiar e as tecnologias sociais no território do Sertão Produtivo: análise exploratória com foco no desenvolvimento rural. 2023. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Economia e Relações Internacionais, Uberlândia, 2023.

HIPÓLITO, José Guilherme; SILVA, Miquéias de Jesus da; RAPANELLO, Rogério Máximo. Automação residencial com Arduino. Revista Inovação, Tecnologia e Sustentabilidade na Engenharia Elétrica, Bebedouro-SP, v. 1, n. 1, p. 118-139, 2018. Disponível em: <<https://encr.pw/0YzmV>>.

IAL - INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Coordenadores: ZENEBON, O, PASCUET, N.S.; TIGLEA, P. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1ª edição digital, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Estatística da Produção Agrícola. setembro de 2023. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br>>.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL – IPHAN. Salvador – Quilombo São Benedito da Ponta. Disponível em: <<https://www.ipatrimonio.org/salvaterra-quilombo-sao-benedito-da-ponta>>.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

KOGERATSKI, Rodrigo. Sistema de monitoramento para estufas de cultivo de *Agaricus bisporus*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019. <<https://encr.pw/MkWZa>>.

LIMA, Michelle Silva; SANTIAGO, Rayane Fontanella; TRAJANO, João Pedro Maciel; PEREIRA, Leonardo Chahim; ABREU, Sanderson Rocha de. Controle de temperatura com Arduino. Journal homepage. 2019. Disponível em: DOI: <<https://doi.org/10.36674/mythos.v12i2.308>>.

LIMA, Renata Ferreira; SILVA, Alasse Oliveira da; DIAS, Paulo Henrique Batista; SILVA, Bianca Cavalcante da; GUIMARÃES, Wélida do Rosário. A produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) na agricultura familiar da região Nordeste Paraense: estudo a partir da comunidade de Jacarequara, Capanema, Pará. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v. 3, n. 3, p. 1284-1296, jul./set. 2020. ISSN 2595-573X. DOI: <<https://doi.org/10.34188/bjaerv3n3-047>>.

MAKERHERO. Protoboard para prototipagem. 2024. Disponível em: <<https://11nq.com/5nEnZ>>.

MERCADO LIVRE. Cabo de compensação K 2x24 AWG ANSI aço fibra. 2024. Disponível em: <<https://acesse.one/zeayo>>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (Brasil). Instrução Normativa nº 52, de 7 de novembro de 2011. Estabelece normas e procedimentos para classificação de produtos de origem vegetal, seus subprodutos e resíduos de valor econômico. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 9 nov. 2011. Disponível em: <<https://11nk.dev/o2hbf>>.

MODESTO JÚNIOR, Moisés de Souza; ALVES, Raimundo Nonato Brabo. Cultura da mandioca. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014.

MONTGOMERY, Douglas C. Design and analysis of experiments. 9th ed. Hoboken: John Wiley Sons, 2017.

NEDELUCU, Otilia. Design and implementation of a temperature monitoring system in industrial environments. *Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty*, v. 24, n. 2 (51), 2024. ISSN 2286-2455. Disponível em: <<https://doi.org/10.2478/sbeef-2024-0022>>. Acesso em: 28 maio 2025.

NEVES, Elisa Cristina Andrade et al. Classificações e características nutricionais e tecnológicas de farinhas de mandioca comercializadas em Belém, Pará, Brasil. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 23, e2019143, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1981-6723.14319>>.

NOGUEIRA, Amanda da Silva; JESUS, Ana Paula Macedo de; ALMEIDA, Ruth Helena Cristo; FERREIRA, Leonardo Elias; SANTOS, Marcos Antônio Souza dos. Caracterização socioeconômica do sistema de produção de mandioca de agricultores familiares do Município de São Francisco do Pará. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, e473101321355, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21355>>.

OLIVEIRA, Alini Nunes de. De comida à patrimônio: a importância da valorização da farinha de mandioca no litoral do Paraná, Brasil. *Elisée, Rev. Geo. UEG – Goiás*, v.10, n.2, e102218, jul./dez. 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). Declaração de Roma sobre a segurança alimentar mundial e plano de ação da cimeira mundial da alimentação. Roma, 13 nov. 1996. Disponível em: <<https://www.fao.org/4/w3613p/w3613p00.htm>>.

PERES, Júnia Cristina; RODRIGUES DA CONCEIÇÃO, Júnia Cristina Peres. Principais obstáculos enfrentados pela agricultura familiar para sua participação no Plano ABC+. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2024. DOI: <<http://dx.doi.org/10.38116/td2966-port>>.

PETRUZELLA, Frank D. Motores elétricos e acionamentos. Porto Alegre: AMGH, 2013. ISBN 978-85-8055-258-4. 1. Engenharia elétrica. 2. Motores – sistemas de controle.

PINTO, Maria Dina Nogueira. MANDIOCA E FARINHA: subsistência e tradição cultural. In: Mani, Mani oca, Casa de Mani: Mandioca (mito indígena da origem da mandioca). *Revista do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional*, 2005.

Ramos, E. da C. Controle eletrônico da temperatura para brassagem no processo de fabricação de cervejas artesanais. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2017.

REINALDO, Renata França. Insegurança alimentar na população brasileira: uma revisão de literatura sobre os níveis, os fatores de influência e a transferência de renda como medida de enfrentamento. 2023. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

RIBEIRO, Samara Rebeca G.; BAPTISTA, Jose Abel de Andrade; NOVAIS, Rosana Aparecida Bueno de. Análise das exportações de fécula de mandioca de 1997 até 2022. *Engetec em Revista*, São Paulo: Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, v. 1, n. 3, abr. 2024. ISSN 2965-9302. DOI: <[10.5281/zenodo.11075202](https://zenodo.org/record/11075202)>.

ROBOCORE. Módulo cartão micro SD. 2024. Disponível em: <<https://11nq.com/uyhZt>>.

ROCHA, Ariza Maria; DIONÍSIO, Erikles Silva; BEZERRA, José Arimateia Barros. As casas de farinhas de mandioca artesanais do Crato-CE: saberes, afetos e memórias dos/as mandioqueiros/as. *Nutrivisa – Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde*, v. 11, e12193, 2024. ISSN 2357-9617. Disponível em: <<https://doi.org/10.59171/nutrivisa-2024v11e12193>>.

ROCHA, Walber Conceição de Jesus. Desenvolvimento de um sistema de medição de distância baseado em visão computacional utilizando laser de linha. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2019.

RODRIGUES, Luan D.; PEREIRA, Rodrigo M.; PALMERA, David Willy F.; SILVA, Guilherme Henrique A.; LEITE, Marco Antonio F.; SILVA, Juliana S. Controle de temperatura e de umidade de uma composteira utilizando o ESP32. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA (SBIAGRO), 2021. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/sbiagro/article/view/18375>>.

ROGGIA, Leandro; FUENTES, Rodrigo Cardozo. Automação Industrial. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria, 2016. Caderno elaborado para a Rede e-Tec Brasil.

SANEFUJI, Erik Akiyama; JIANZHUANG, Wu. Monitor em tempo real da temperatura corporal de neonatais e de pacientes hospitalizados. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SANTANA, Elina D. Zavasque Ferreira. A casa de farinha como território de aprendizagem e a farinha como processo educativo: estudo de caso no Distrito Janarí, Goianésia do Pará/PA. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade junto a Povos e Terras Tradicionais) – Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2018.

SANTOS, Aldalena do Socorro da Costa dos; CLAUDINO, Livio Sergio Dias. Agricultura e segurança alimentar em comunidades quilombolas na Amazônia brasileira: o caso da produção de farinha de mandioca em Abaetetuba, Pará, Brasil. Revista Humanidades e Inovação, v. 7, n. 16, 2020.

SANTOS, José Ataíde dos. Os saberes, a tecnologia e sociedade no processo de fabricação de farinha de mandioca na comunidade quilombola de Santa Rita de Barreira no município de São Miguel do Guamá-PA. Ensaios etnofotográficos. Programa de Pós-Graduação em Linguagens e Saberes na Amazônia, UFPA/Bragança, 2018. DOI: <<http://dx.doi.org/10.18542/nra.v6i1.6232>>.

SANTOS, Lorena Beatriz. Sistema automatizado para controle de umidade e temperatura em cultura de morangos aplicados aos pequenos produtores. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014.

SANTOS, Marcus Vinicius de Souza. Sistema de controle de temperatura para churrasqueira. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Escola Politécnica e de Artes, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2023.

SANTOS, Rayssa Silva dos; LIMA, Suelly Cristina Gomes de; RIBEIRO, Suezilde da Conceição Amaral. Caracterização da farinha de mandioca do grupo Seca e sugestões de melhorias para agroindústria familiar. In: *Ciências Exatas e da Terra e Engenharias: conhecimento e informação 2*. [S. l.]: Atena Editora. Disponível em: <<https://11nq.com/CjyCd>>.

SILVA JÚNIOR, Antonio Mariano Gomes da; CRUZ, Paulo Jailson Amorim da. Análise das novas tecnologias de produção de farinha de mandioca: um estudo de caso da agroindústria Sabor de Bragança. Capanema: Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Capanema, 2019.

SILVA, Alessandro Soares da. Desenvolvimento de sistema para controle e monitoramento remoto de um forno industrial de uma empresa do polo de duas rodas do distrito industrial. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade do Estado do Amazonas, Escola Superior de Tecnologia, Manaus, 2021.

SILVA, Allan Elias da. Sustentabilidade na agricultura familiar: desafios e oportunidades – um estudo de caso dos agricultores familiares de Caiuá/SP. Revista Aracê, São José dos Pinhais, v. 6, n. 2, p. 1135-1161, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.56238/arev6n2-040>>.

SILVA, Charle da Conceição; SILVA, Lucicarmem Rosa da. Conjuntura da mandiocultura no estado do Amapá, de acordo com o Censo Agropecuário 2017. 2022. Trabalho de conclusão de curso Graduação – Universidade Federal do Amapá, Mazagão, 2022.

SILVA, Cirlene do Socorro Silva da. Casas de farinha: espaço de (con)vivências, saberes e práticas educativas. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Sociais e Educação, Programa de Pós-Graduação em Educação, Linha de Pesquisa: Saberes Culturais e Educação na Amazônia, Belém, 2011.

SILVA, João Gomes da. Monitoração e controle de umidade e temperatura em secadores de massas alimentícias. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2009.

SILVA, Joelson José da; SOUZA, Daniel Barbosa de; SOUZA, Joana D'Arc de. Análise de custo de produção para fabricação de farinha de mandioca: um estudo de caso na indústria Farilene Ltda. In: VOCÊ NO COMANDO: coletânea de TCCs do Curso de Ciências Contábeis do Centro Universitário Univinte – 6. Editora Univinte, 2021.

SILVA, Marcones de Oliveira; LIMA, Thiago Amaral Melo; ALMEIDA, Deivid Santos de. Construção de um inventário de emissões veiculares para a cidade de Maceió-AL. *Recima21 – Revista Científica Multidisciplinar*, v. 3, n. 7, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i7.1697.ISSN2675-6218>>.

SILVA, Josiane Santos da; ANDRADE, Lene da Silva; SOUZA, Andrey Mendonça de; HALMENSCHLAGER, Fabio. Práticas produtivas da farinha de mandioca na comunidade quilombola Mocambo – Ourém – PA. *Nova Revista Amazônica*, v. 9, n. 3, dez. 2021. ISSN 2318-1346.

SILVA, Stéphanie Oliveira da; CRUZ, Benedito Ely Valente da. A indicação geográfica da farinha de Bragança: teoria e realidade de especificação de recursos na fronteira amazônica. *InterEspaço*, Grajaú, v. 10, n. 2, ed. esp., p. 1–26, 2024. ISSN 2446-6549. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e22770>>.

SIQUEIRA, Allan Gomes. Controle do sistema de temperatura do forno industrial. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, 2019.

SOUSA, Maria da Cruz Carneiro de; RAMOS, Antônio Francisco. Conhecimentos etnomatemáticos implícitos na produção de farinha de mandioca em Angical do Piauí. *Journal of Mathematics and Culture*, v. 17, n. 5, ago. 2023. ISSN 1558-5336.

SOUZA, Ailson; PEDROZA, Suzy; BRANDÃO, Cristiane do Nascimento; OLIVEIRA, Regis; DUTRA, Jurandir. Entre a inovação e a tradição: capacitação e desafios culturais na produção de farinha de mandioca em Lábrea, Amazonas. *Destarte*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 202-222, nov. 2024. Disponível em: <<http://periodicos.estacio.br/index.php/destarte>>.

SOUZA, Hildiane Dhesy de; MATIAS, Leticia Monteiro. Produção familiar rural e dificuldades estruturais na comercialização de excedentes dos agricultores da comunidade Parauá, em Quatro-Bocas (Tomé-Açu), Pará. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Tomé-Açu, Tomé-Açu, 2023.

SOUZA, Lucas Moreira de; MENEGON, Nilton Luiz. Desenvolvimento tecnológico e análise da demanda na produção familiar de farinha de mandioca: o caso da farinha d'água. *Ação Ergonômica: Revista Brasileira de Ergonomia*, v. 10, n. 2, p. 1-12, 2015.

STAHLHÖFER, Marines Marlete. Valorização do resíduo agroindustrial da mandioca: caracterização físico-química da crueira e aplicação na formulação de biscoito tipo cookie sem glúten. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus São Miguel do Oeste, São Miguel do Oeste, 2019.

TAIRA, Daniel Passos; SIQUEIRA, Felipe Macedo Freitas. Prototipagem utilizando plataforma Arduino para sistema de controle de nível. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Niterói, 2018. Telematics (ICWT), 2019.

TELES, Ícaro Bezerra; SABINO, Edson Ricardo Calado. Desenvolvimento de um simulador didático de sistema supervisório (SCADA) para disjuntores de alta tensão. Instituto Federal de Pernambuco, Campus Pesqueira. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 09 de dezembro de 2023.

THERMOCOUPLE INFO. [S. l.]: [s. n.], [s. d.]. Disponível em: <<https://www.thermocoupleinfo.com/>>.

TOSTES, Aislan Rondinelli de Oliveira. Monitoramento e controle de temperatura, umidade, tensão, presença e chama no datacenter do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto. Ouro Preto, 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação (CECAU).

USINAINFO. Módulo de leitura para termopar tipo K - MAX6675. 2024. Disponível em: <<https://11nq.com/Rcai7>>.

USINAINFO. Módulo relógio tempo real RTC com sensor de temperatura DS3231. 2024. Disponível em: <<https://11nq.com/qi4UZ>>.

6 APÊNDICE

6.1 Apêndice A - Ficha de Avaliação Sensorial

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL DE FARINHA

NOME: _____ IDADE: _____

Você está recebendo 3 amostras de **FARINHA DE MANDIOCA**. Por favor, avalie as amostras recebidas e indique, através da escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou das amostras em relação aos atributos.

Atributos	A1	A2	A3
Aparência			
Aroma			
Sabor			
Textura			
Crocância			
Impressão global			

- 9- Gostei muitíssimo
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei/nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei muitíssimo

Se este produto estivesse no mercado qual você preferiria: A1 () A2 () A3 ()

Coloque o número conforme a escala abaixo: A1 () A2 () A3 ()

1-Certamente compraria, 2- Provavelmente compraria, 3- Talvez comprasse/talvez não comprasse, 4-Provavelmente não compraria, 5- Certamente não compraria

Comentários: _____

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL DE FARINHA

NOME: _____ IDADE: _____

Você está recebendo 3 amostras de **FARINHA DE MANDIOCA**. Por favor, avalie as amostras recebidas e indique, através da escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou das amostras em relação aos atributos.

Atributos	A1	A2	A3
Aparência			
Aroma			
Sabor			
Textura			
Crocância			
Impressão global			

- 9- Gostei muitíssimo
- 8- Gostei muito
- 7- Gostei moderadamente
- 6- Gostei ligeiramente
- 5- Nem gostei/nem desgostei
- 4- Desgostei ligeiramente
- 3- Desgostei moderadamente
- 2- Desgostei muito
- 1- Desgostei muitíssimo

Se este produto estivesse no mercado qual você preferiria: A1 () A2 () A3 ()

Coloque o número conforme a escala abaixo: A1 () A2 () A3 ()

1-Certamente compraria, 2- Provavelmente compraria, 3- Talvez comprasse/talvez não comprasse, 4-Provavelmente não compraria, 5- Certamente não compraria

Comentários: _____