



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
AMAZONAS – IFAM.**

**CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE AUTOMAÇÃO E PRODUÇÃO
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**

WILLIAM LESSA FREITAS

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE SEMENTES DE
GUARANÁ EM MAUÉS: UMA SOLUÇÃO PARA MELHORAR O DESEMPENHO
E A QUALIDADE NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.**

MANAUS-AM

2025

WILLIAM LESSA FREITAS

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE SEMENTES DE
GUARANÁ EM MAUÉS: UMA SOLUÇÃO PARA MELHORAR O DESEMPENHO
E A QUALIDADE NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal do Amazonas como requisito para obtenção de grau tecnológico em mecatrônica industrial.

Orientador (a): Professor Esp. Celso Souza Cordeiro

MANAUS-AM

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F866a	<p>Freitas, William Lessa.</p> <p>Automatização do processo de desidratação de sementes de guaraná em Maués: uma solução para melhorar o desempenho e a qualidade na indústria alimentícia / William Lessa Freitas. — Manaus, 2025. 24f.: il. color.</p> <p>Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, <i>Campus</i> Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025. Orientador: Prof. Celso Souza Cordeiro, Esp.</p> <p>1. Automação. 2. Monitoramento. 3. Controle. I. Cordeiro, Celso Souza. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 629.892</p>
-------	---

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

WILLIAM LESSA FREITAS

**AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO DE SEMENTES DE
GUARANÁ EM MAUÉS: UMA SOLUÇÃO PARA MELHORAR O DESEMPENHO
E A QUALIDADE NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Federal do
Amazonas como requisito para
obtenção de grau tecnológico em
mecatrônica industrial.

Orientador(a): Prof. Esp. Celso Souza
Cordeiro

Aprovado em 05 de maio de 2025

BANCA EXAMINADORA


Orientador e Presidente: Prof. Esp. Celso Souza Cordeiro


Avaliador 1: Prof. Esp. Ewerton Andrey Godinho Ribeiro


Avaliador 2: Prof. Me. Jonatas Micael Vieira de Lima

MANAUS-AM

2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, cujo incansável esforço e dedicação tornaram possível a conclusão deste curso. É graças ao apoio inabalável deles que hoje estou celebrando este marco significativo em minha vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ser a base das minhas conquistas.

Aos meus pais, por acreditarem e terem interesse em minhas escolhas, me apoiando e esforçando-se junto a mim para que pudesse suprir todas elas.

Por fim, gostaríamos de expressar minha gratidão à gerência e diretoria da Cibeia Manaus e Cibeia Maués, que me proporcionaram a oportunidade de participar e aprender em um ambiente rico em conhecimento e inovação. A confiança depositada em mim, e o suporte contínuo foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto de automação da máquina de desidratação de sementes de guaraná.

EPÍGRAFE

*"Toda ciência começa como
filosofia e termina como
arte."*

— *Will Durant*

RESUMO

Este trabalho aborda a proposta de automação da máquina de desidratação de sementes de guaraná na Fazenda Maués, uma filial da Cibeia Manaus. A Fazenda, reconhecida pela produção de guaraná de alta qualidade desde 2009, incorporou uma nova máquina ao seu sistema produtivo em 2022, modernizando o processo de desidratação, que é fundamental para garantir a qualidade e a viabilidade das sementes. A proposta de automação inclui um sistema de controle em malha fechada, no qual a temperatura e a umidade da desidratação seriam constantemente monitoradas por sensores. Esses dados permitiriam ajustes automáticos em tempo real, assegurando que a temperatura permaneça dentro dos limites desejados, o que é crucial para a qualidade do produto final. O controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) sendo o componente central deste sistema, regulando a velocidade do ventilador e garantindo uma desidratação uniforme. A adoção dessa tecnologia irá trazer melhorias significativas em termos de eficiência, precisão no controle do processo e sustentabilidade, reduzindo o desperdício de energia e o tempo de operação. A automação com malha fechada tem o potencial de elevar os padrões de controle e qualidade na desidratação das sementes de guaraná, representando um avanço significativo na agroindústria local. Portanto, este trabalho visa contribuir para o entendimento das inovações propostas pela automação na indústria do guaraná, destacando sua importância para a modernização e a qualidade na produção.

Palavras-chave: Automação; Eficiência; Inovação; Monitoramento; Controle.

ABSTRACT

This work addresses the proposal for automating the guarana seed dehydration machine at Fazenda Maués, a branch of Cibeá Manaus. The farm, recognized for producing high-quality guarana since 2009, incorporated a new machine into its production system in 2022, modernizing the dehydration process, which is essential for ensuring the quality and viability of the seeds. The automation proposal includes a closed-loop control system, in which the temperature and uniformity of the dehydration would be continuously monitored by sensors. This data would allow for real-time automatic adjustments, ensuring that the temperature remains within the desired limits, which is crucial for the quality of the final product. The PID (Proportional-Integral-Derivative) controller would be the central component of this system, regulating the fan speed and ensuring uniform dehydration. The adoption of this technology is expected to bring significant improvements in terms of efficiency, precision in process control, and sustainability, reducing energy waste and operation time. Closed-loop automation has the potential to raise control and quality standards in the dehydration of guarana seeds, representing a significant advancement in the local agribusiness. Therefore, this work aims to contribute to the understanding of the proposed innovations in guarana industry automation, highlighting its importance for modernization and quality in production.

Keywords: Automation; Efficiency; Innovation; Monitoring; Control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Processo de desidratação de guaraná manual	13
Figura 2 -	Pulmão sobre a fornalha	14
Figura 3 -	Sistema de ventilação forçada	15
Figura 4 -	Máquina para desidratação de grãos de guaraná	16
Figura 5 -	Diagrama de bloco do controle de temperatura da máquina	18
Figura 6 -	Código no Matlab	20
Figura 7 -	Simulação sistema de controle de temperatura no software Matlab/Simulink	21
Figura 8 -	Resposta da simulação do controle de temperatura no software Matlab/Simulink	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento das despesas para implementação da adequação do sistema de controle	23
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- PID** – Proporcional-Integral-Derivativo
- IHM** – IHM (Interface Homem-Máquina)
- CLP** – Controlador Lógico Programável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	GERAL	10
2.2	ESPECÍFICOS	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Automação	11
3.2	Sistema em malha fechada.....	11
4	METODOLOGIA	12
4.1	Tipo de pesquisa.....	12
4.2	Análise dos processos.....	12
4.2.1	Histórico do Processo de Desidratação de Sementes de Guaraná.....	12
4.2.2	Descrição do processo de desidratação através de fornos realizada até o ano de 2022.....	13
4.2.3	Descrição do Processo de desidratação com a máquina com controle em malha aberta.....	14
4.3	Atualização proposta da máquina.....	17
4.4	Sistema em malha fechada proposto.....	17
4.5	Simulação.....	19
5	RESULTADOS	20
5.1	Análise dos resultados da simulação.....	20
5.2	Análise de custos da adequação.....	23
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
	REFERÊNCIAS	25
	APÊNDICE A – TÍTULO DO APÊNDICE	26

1 INTRODUÇÃO

A desidratação de sementes de guaraná é um processo essencial para assegurar a qualidade e viabilidade das sementes, especialmente em Maués, Amazonas, onde a produção de guaraná representa uma atividade econômica de grande importância. O guaraná, conhecido por suas propriedades energéticas e pelo seu valor comercial, necessita de cuidados rigorosos em cada etapa do processamento, para que suas qualidades nutritivas e comerciais sejam preservadas (NASCIMENTO, 2023).

Na Fazenda Maués, filial da Cibeia Manaus, a desidratação das sementes de guaraná é feita por uma máquina que permite controle manual. O operador ajusta o fluxo de ar quente através de um potenciômetro e monitora a temperatura visualmente, o que exige acompanhamento constante para garantir condições ideais durante a secagem.

O processo atual de desidratação de sementes de guaraná apresenta desafios, como a variação na qualidade das sementes e a necessidade de monitoramento constante por um operador. A falta de controle automático aumenta o risco de inconsistências na temperatura e na secagem, afetando a qualidade final. Para melhorar esse processo, sugere-se a implementação de um sistema de automação em malha fechada, visando maior precisão, eficiência e consistência (SOARES, 2022).

O sistema de automação em malha fechada usaria sensores para monitorar em tempo real a temperatura e a umidade na câmara de secagem. Esses sensores seriam conectados a um controlador PID, que ajustaria automaticamente o fluxo de ar quente pelo inversor de frequência, eliminando a necessidade de ajustes manuais. Isso garantiria uma secagem mais uniforme, com maior consistência no produto final, independentemente das variações externas, e reduziria a dependência de intervenção humana (GONÇALVES, 2022).

Portanto, este trabalho visa a implementação sistema de controle de temperatura automatizado o qual representa uma oportunidade de inovação significativa para a Fazenda Maués e para a indústria de guaraná na região. Com o uso de tecnologia de automação de ponta, o qual poderá estabelecer novos padrões

de qualidade e eficiência no processo de desidratação, posicionando a Fazenda Maués como referência na produção de guaraná de alta qualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Propor a Implementação de um controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) em uma máquina de desumidificação de sementes de guaraná na Fazenda Maués, visando otimizar o processo de desidratação, garantir a qualidade das sementes e aumentar a eficiência do processo.

2.2 ESPECÍFICOS

- Analisar o processo de desidratação das sementes de guaraná na Fazenda Maués, identificando as principais deficiências e oportunidades de melhoria na operação da máquina.
- Identificar e descrever os componentes necessários para a automação: Listar sensores, controlador PID, inversor de frequência e demais elementos que integrarão o sistema automatizado, detalhando suas funções e a importância de cada um no processo.
- Desenvolver um sistema de monitoramento em tempo real para a temperatura e umidade durante o processo de desidratação, utilizando sensores que alimentem o controlador PID.
- Analisar as vantagens da implementação do sistema.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.2 Automação

A automação envolve métodos que criam sistemas dinâmicos eficientes, utilizando dados do ambiente para determinar ações corretivas, similar ao comportamento humano. Em essência, trata-se da substituição do trabalho humano ou animal por máquinas, permitindo a operação automática com mínima intervenção humana.

Essa transição busca aumentar a eficiência, reduzir erros e custos, e melhorar a segurança em vários setores. Desde a Revolução Industrial, a automação transformou o trabalho, inicialmente substituindo tarefas físicas repetitivas e, com o avanço tecnológico, estendendo-se a funções cognitivas. Presente em áreas como fábricas, gerenciamento de estoque e tecnologias emergentes, a automação visa aumentar produtividade, precisão e consistência. Contudo, surgem preocupações sobre o impacto no mercado de trabalho e na sociedade, como desemprego e desigualdades socioeconômicas. Além disso, questões éticas e de segurança emergem à medida que a automação se torna mais complexa (BELLAVÉR, 2022).

Portanto, é crucial encontrar um equilíbrio entre os benefícios econômicos e a responsabilidade social, garantindo que a automação seja implementada de forma ética, sustentável e inclusiva, promovendo a qualidade de vida e o progresso humano.

3.3 Sistema de Controle em Malha Fechada

O sistema de controle em malha fechada é composto por sensores de temperatura, um controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo) e um inversor de frequência para ajustar a velocidade do ventilador. Quando os sensores detectam qualquer desvio na temperatura, o controlador PID calcula a correção necessária e ajusta automaticamente o fluxo de ar quente. Isso garante uma secagem uniforme e reduz a necessidade de intervenção manual, proporcionando maior consistência na qualidade do guaraná desidratado.

4 METODOLOGIA

4.1 Tipo de Pesquisa

Este estudo caracterizou-se como um estudo de caso, com o objetivo de solucionar problemas práticos relacionados à eficiência do processo de desidratação de sementes de guaraná na Fazenda Maués. A pesquisa utilizou o método de estudo de caso, concentrando-se na modernização do processo de desidratação por meio da automação e controle de variáveis críticas.

4.2 Análise dos processos

4.2.1 Histórico do Processo de Desidratação de Sementes de Guaraná

A Fazenda Maués, uma filial da Cibea Manaus, tem se dedicado ao cultivo de guaraná de alta qualidade desde 2009. Inicialmente, o processo de desidratação das sementes era realizado de forma tradicional, utilizando fornos a lenha. Esse método exigia mão de obra intensa e apresentava desafios em relação ao controle de temperatura e à uniformidade da secagem. A qualidade do produto final dependia, em grande parte, da habilidade dos trabalhadores em manter uma temperatura adequada, o que muitas vezes resultava em variações indesejadas.

Em 2022, a Fazenda Maués incorporou uma nova máquina ao seu sistema produtivo para a desidratação das sementes de guaraná. Embora essa máquina tenha modernizado parcialmente o processo, ela ainda opera em malha aberta, sem automação para monitoramento e ajustes automáticos. O controle da temperatura, a uniformidade da secagem e o tempo de operação dependem integralmente do operador, que deve monitorar e ajustar manualmente esses parâmetros ao longo do processo.

4.2.2 Descrição do processo de desidratação através de fornos realizada até o ano de 2022

O processo de desidratação de sementes de guaraná, antes da implementação da nova máquina, era realizado utilizando fornos a lenha. Esse método tradicional demandava um tempo significativo, aproximadamente 13 horas, para desidratar 60 kg de sementes. O funcionamento dos fornos envolvia a participação de quatro trabalhadores, sendo dois responsáveis por alimentar constantemente os fornos com lenha e os outros dois encarregados de revezar-se na tarefa de mexer as sementes, utilizando um rodo para garantir uma distribuição uniforme do calor conforme ilustra a figura 1.

Cada fornada levava em média 4 horas, e o controle de temperatura era rudimentar, dependendo da experiência e habilidade dos operadores. Essa dependência de métodos manuais tornava o processo suscetível a variações, já que a temperatura não era monitorada de forma precisa.

Figura1: Processo de desidratação de guaraná manual



Fonte: AUTOR, 2021.

Além disso, a fumaça e as fuligens geradas pela queima da lenha frequentemente contaminavam as sementes, comprometendo a qualidade do produto final. Essa abordagem não só era ineficiente em termos de tempo, mas também apresentava riscos de contaminação, o que poderia afetar a aceitação do guaraná no mercado.

4.2.3 Descrição do Processo de desidratação com a máquina com controle em malha aberta

O processo atual de desidratação de sementes de guaraná na Fazenda Cibea Maués é realizado manualmente, sem controle automático em malha fechada. Nesta configuração, dois colaboradores iniciam o procedimento colocando até 110 kg de sementes na câmara de desidratação. A fornalha a lenha, localizada abaixo do reservatório conhecido como Pulmão, já em funcionamento, aquece o ar que será direcionado para a câmara. Esse ar quente é cuidadosamente canalizado para evitar que resíduos de fumaça ou fuligem entrem em contato com as sementes, preservando sua qualidade.

Figura 2: Pulmão sobre a fornalha



Fonte: AUTOR, 2024.

O controle manual do processo exige monitoramento constante dos parâmetros de temperatura e fluxo de ar, o que torna o processo suscetível a variações que podem comprometer a uniformidade da secagem e a qualidade do produto final.

O operador inicia a máquina manualmente, monitorando a temperatura através de um termômetro no Pulmão que no geral fica entre 150°C a 180°C e ajustando a rotação do ventilador conforme pode ser visto na figura 3, o qual suga o ar quente do

pulmão e envia para câmara de desidratação aquecendo gradualmente os grãos nele até atingir 90°C.

Através de um mostrador de temperatura, ele acompanha visualmente o aumento da temperatura e, ao observar que o termômetro analógico da câmara desidratação estar próximo de 85°C, começa a ajustar a rotação do ventilador usando um potenciômetro acoplado ao inversor de frequência. Inicialmente, ele define o ventilador em sua frequência máxima (60 Hz) para otimizar o fluxo de ar quente.

Figura 3: Sistema de ventilação forçada



Fonte: AUTOR, 2024.

À medida que a temperatura se aproxima de 80°C, o operador reduz manualmente a frequência para 35 Hz, observando a estabilidade do calor na câmara. Quando a temperatura atinge o valor desejado, ele ajusta novamente o ventilador para uma frequência mais baixa, em torno de 25 Hz, para manter o ar em circulação, evitando uma queda brusca de temperatura. Esse controle é feito por meio de uma IHM (Interface Homem-Máquina) do inversor de frequência, que permite ao operador acompanhar e ajustar as frequências conforme necessário.

Figura 4: Máquina para desidratação de grãos de guaraná



Fonte: AUTOR, 2024.

O tempo de desidratação é medido manualmente pelo operador, que utiliza um relógio para monitorar a duração estimada do processo que em geral fica é em torno de uma hora e 40 minutos, podendo variar dez minutos acima ou abaixo dessa faixa, dependendo de como esteja a umidade do ambiente, visualizada através de um dispositivo que leitor de umidade, pois esta acaba por influenciar no processo. Ao final desse tempo, ele inverte manualmente o sentido de rotação do ventilador para resfriar rapidamente as sementes, prevenindo uma perda adicional de umidade. Uma amostra é então recolhida e analisada em um equipamento específico para verificar se a umidade atingiu a faixa ideal de 8% a 15%. Caso o nível de umidade ainda não esteja adequado, o operador reinicia o processo, ajustando o tempo de acordo com sua experiência e observações anteriores. Essa prática manual depende intensamente da habilidade e conhecimento adquiridos pelo operador, que, com o tempo, desenvolve uma noção prática das condições necessárias para alcançar o ponto ideal de desidratação.

4.3 Atualização proposta da máquina

Como a máquina já tem integrado o dispositivo que coleta os parâmetros de temperatura e o inversor de frequência CFW 08 da Weg de 1,5 CV, não serão elevados os gastos com a adequação.

Para o projeto de controle do processo de desidratação de sementes de guaraná, o controlador lógico programável (CLP) a ser usado é o Siemens S7-1200, conhecido por sua flexibilidade e suporte a protocolos de comunicação industrial como Modbus RTU, que é compatível com o inversor de frequência CFW 08. O método de comunicação entre o CLP e o inversor será realizado via Modbus RTU, um protocolo confiável e amplamente utilizado em ambientes industriais. O inversor CFW 08 será configurado como um dispositivo escravo Modbus, permitindo que o CLP, atuando como mestre, envie comandos para ajuste de velocidade e receba dados como temperatura e corrente de operação.

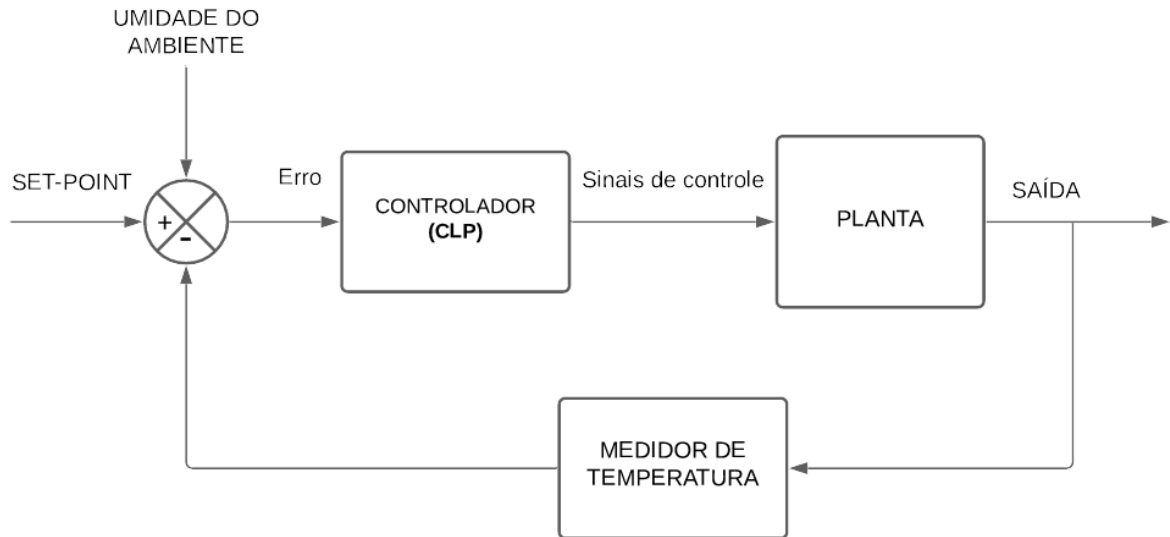
A conexão física entre o CLP e o inversor será feita utilizando o padrão RS-485, que garante uma comunicação estável em ambientes industriais. A fiação será construída a partir da ligação de um cabo de comunicação RS-485 entre os terminais de comunicação do inversor e os pontos designados no CLP, respeitando a polaridade correta e as normas de aterramento para evitar ruídos elétricos. Os sinais de controle e comando entre o CLP e o inversor também serão conectados aos terminais de entrada e saída digitais, assegurando que o sistema possa receber sinais de partida/parada e outros comandos específicos conforme a programação (SIEMENS, 2023).

4.4 Sistema em malha fechada proposto

A figura 5 ilustra o diagrama em blocos do sistema de desidratação automatizado, que opera em malha fechada. A proposta de implementar um sistema automatizado visa aprimorar o processo de desidratação das sementes de guaraná, aumentando a eficiência e a consistência do produto final. O processo começa com a definição do valor de temperatura configurado na entrada do sistema, que atua como setpoint para o controle da temperatura na câmara de desidratação.

Simultaneamente, a umidade do ar ambiente é coletada para comparação e ajustes, considerando as condições externas no controle.

Figura 5: Diagrama de bloco do controle de temperatura da máquina



Fonte: AUTOR, 2024.

O Controlador Lógico Programável (CLP) será o elemento central de processamento, recebendo os sinais de temperatura e umidade, realizando a comparação com os valores desejados e enviando comandos para o atuador, neste caso o ventilador, a fim de ajustar o fluxo e a temperatura do ar quente. A planta, que representa a máquina de desidratação e seus componentes, executará as ações físicas necessárias para modificar as condições internas.

A fim de otimizar ainda mais o controle, será implementado um sistema de controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) para ajustar com precisão a temperatura do ar quente na câmara de desidratação. O controle iniciará com a etapa proporcional, onde o controlador ajustará a saída do sistema com base na diferença entre a temperatura desejada (setpoint) e a temperatura medida, aumentando a intensidade do aquecimento conforme o erro cresce. Essa abordagem proporcionará uma resposta rápida para reduzir o erro inicial, mas também será complementada pelo componente integral do PID, que acumulará o erro ao longo do tempo, eliminando quaisquer diferenças residuais entre a temperatura desejada e a medida (FELIPE, 2023).

O componente derivativo antecipará mudanças futuras com base na taxa de variação do erro, suavizando a resposta do sistema e evitando oscilações excessivas. A combinação desses três componentes permitirá ajustar continuamente o atuador da planta “ventilador”, assegurando que a temperatura na saída seja constantemente realimentada ao controlador.

Através de um sensor de umidade, o CLP irá aumentar o tempo de operação em condições de alta umidade, garantindo que as sementes atinjam a umidade ideal. Em ambientes mais secos, o tempo de desidratação será reduzido, otimizando a eficiência do processo e assegurando a qualidade do produto final. Este sistema fechado, que compara a temperatura real com o setpoint, assegurará a manutenção de condições ideais para a desidratação das sementes de guaraná, promovendo um produto final de qualidade superior e uma operação mais eficiente e confiável.

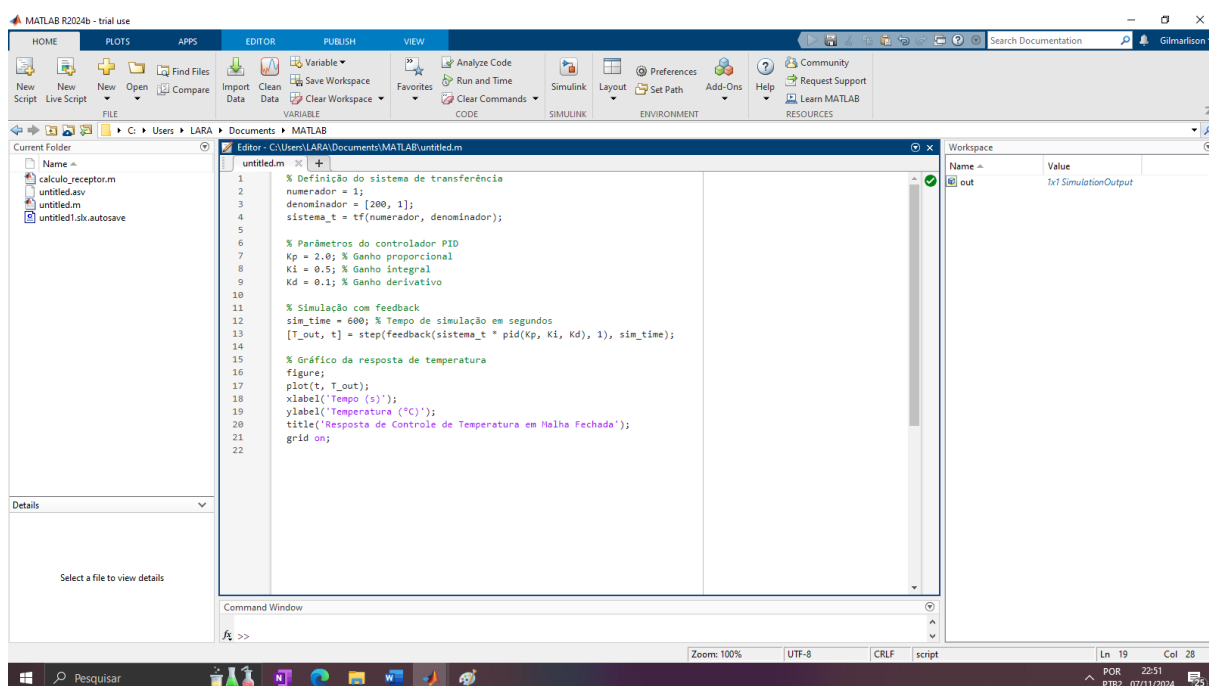
4.5 Simulação

Através do MATLAB/Simulink foi realizada a simulação do comportamento do sistema PID de temperatura conforme visto na figura 6.

O MATLAB, com sua poderosa linguagem de programação, e o Simulink, sua plataforma gráfica de modelagem, foram usados para simular e analisar o controle da temperatura por um sistema PID. No Simulink, o sistema foi modelado com blocos que representam o controlador PID, sensores e atuadores, permitindo ajustar e testar os parâmetros do controlador de forma visual.

O MATLAB auxiliou na análise dos resultados, como o desempenho do sistema, tempo de resposta e estabilidade, permitindo otimizar o controle antes de uma possível implementação prática (MARTINS, 2021).

Figura 6: Código no Matlab



Fonte: AUTOR, 2024.

5 RESULTADOS

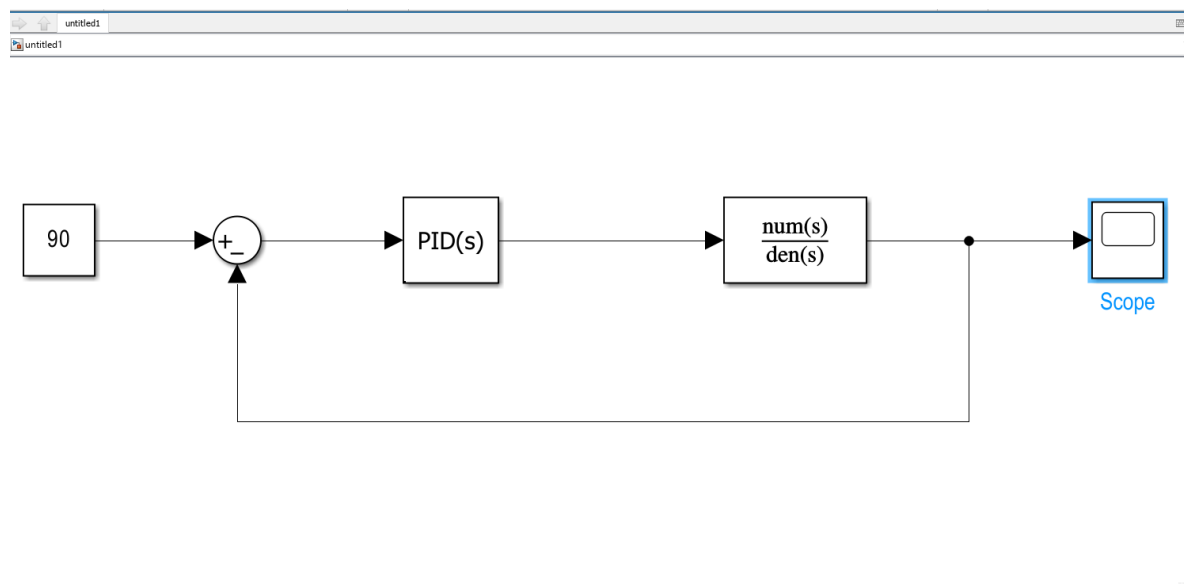
5.1 Análise dos resultados da simulação

Na simulação realizada no MATLAB e Simulink com o objetivo de modelar o controle de temperatura do sistema de desidratação de sementes em malha fechada, utilizando um controlador PID conforme ilustra a figura 7. O sistema foi projetado para atingir e manter uma temperatura de 90°C na câmara de desidratação, partindo de uma temperatura inicial de 25°C para as sementes.

A dinâmica térmica do sistema foi representada por uma função de transferência simples, enquanto o controlador PID foi ajustado com os ganhos $K_p = 2.0$, $K_i = 0.5$ e $K_d = 0.1$, com o intuito de minimizar o erro entre a temperatura desejada e a temperatura medida.

A simulação teve uma duração de 600 segundos, e o controlador PID ajustou a quantidade de calor fornecida à câmara, garantindo que a temperatura aumentasse de forma gradual até atingir 90°C e se mantivesse estável.

Figura 7: Simulação sistema de controle de temperatura no software Matlab/Simulink



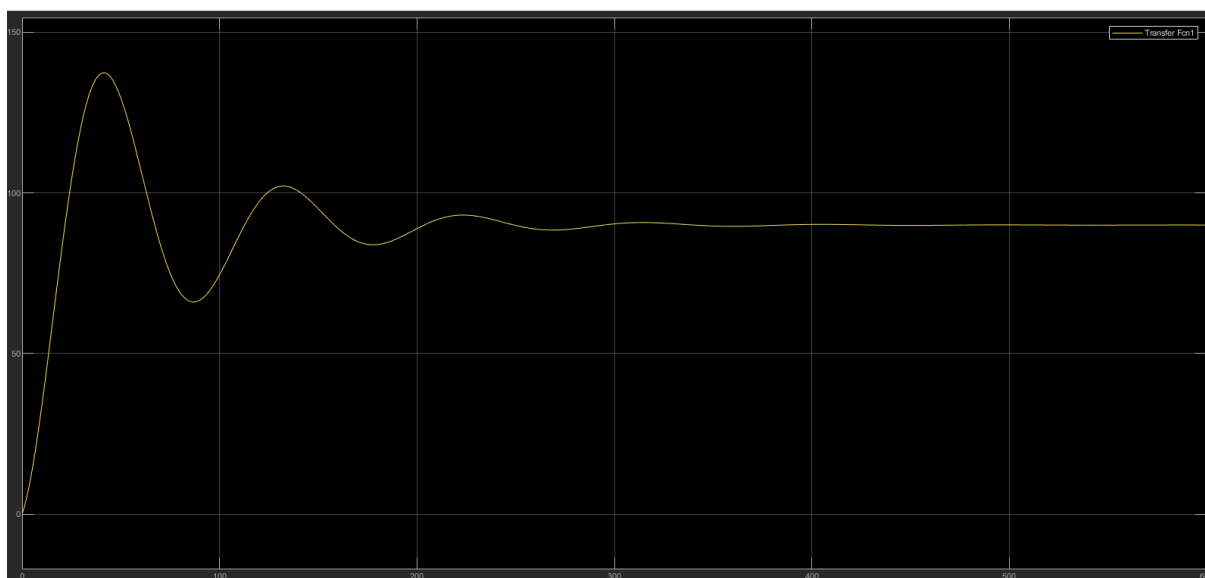
Fonte: AUTOR, 2024.

A análise da resposta do sistema, observada no gráfico gerado pela simulação conforme pode-se observar na figura 8, mostrou que a temperatura subiu de maneira controlada até os 90°C, sem apresentar oscilações significativas ou overshoot. Isso indicou que o controlador PID foi eficiente em evitar que a temperatura ultrapassasse o valor desejado, estabilizando-se rapidamente ao redor de 90°C. A resposta no gráfico revelou uma evolução suave da temperatura, com uma estabilização eficiente, confirmando que o sistema foi capaz de manter a temperatura desejada durante todo o processo.

O comportamento do comando do ventilador e da temperatura são interligados, mas se manifestam de maneiras distintas. O comando do ventilador reflete a atuação do controlador PID, que reage rapidamente às variações de temperatura para manter o ambiente na faixa desejada. Por exemplo, se a temperatura da câmara estiver abaixo do setpoint, o controlador ajusta o comando do ventilador para aumentar sua intensidade e aquecer o ambiente mais rapidamente. Se a temperatura estiver acima do desejado, o controlador reduz a intensidade do ventilador para estabilizar a condição térmica.

A resposta do comando do ventilador é, portanto, mais ágil e pode ter variações rápidas, já que ele precisa se ajustar constantemente para compensar as mudanças de temperatura.

Figura 8: Resposta da simulação do controle de temperatura no software Matlab/Simulink



Fonte: AUTOR, 2024.

Por outro lado, a temperatura da câmara tende a mudar de forma mais lenta e suave devido à inércia térmica do sistema — isto é, o tempo que leva para a temperatura se ajustar efetivamente às mudanças no fluxo de ar. Essa diferença significa que o controle do ventilador pode mostrar oscilações à medida que o sistema se ajusta, enquanto a temperatura reage de forma mais gradual e estável.

Quando o sistema está bem ajustado, o ventilador responde de forma eficiente, com variações controladas que ajudam a manter a temperatura próxima do valor desejado, evitando oscilações excessivas. A temperatura, por sua vez, deve atingir o setpoint de forma relativamente suave, sem desvios muito acentuados, refletindo um equilíbrio entre a ação do ventilador e a dinâmica térmica da câmara.

O controlador PID foi capaz de ajustar a quantidade de calor de forma precisa, sem causar grandes flutuações ou descontrole térmico. Dessa forma, a simulação foi bem-sucedida, validando o desempenho do controlador PID no processo de desidratação, garantindo uma resposta estável e precisa, essencial para o sucesso do processo de desidratação das sementes. Esse controle automático proporciona

uma gestão eficiente da temperatura, o que contribui para a uniformidade da secagem e a melhoria da qualidade final do produto.

5.1 Análise de custos da adequação

A fim de obter o valor da adequação, foi realizado um levantamento detalhado dos equipamentos e da mão de obra necessários, conforme ilustrado na Tabela 1. Esse levantamento inclui todos os componentes e serviços essenciais para a implementação do projeto, permitindo uma visão abrangente dos custos associados.

Tabela 1: Levantamento das despesas para implementação da adequação do sistema de controle

ORÇAMENTO				
Item	Fabricante	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor (R\$)
Siemens S7-1200	Siemens	1 un	1.930,00	1.930,00
Cabo de comunicação RS-485	Siemens	1un	85,00	85,00
Cabo 1mm	Cobrecom	45 m	34,61	34,61
Terminal tubular 1,5mm	Hellermann	100 un	17,00	17,00
Mão de obra		1 un	6.000,00	7.000,00
Total				9.066,61

Fonte: AUTOR, 2024.

Devido à localização da máquina em Maués, uma área onde não há disponibilidade de mão de obra especializada, a maior despesa identificada foi com a contratação de profissionais. O valor da mão de obra foi estimado por um especialista da área de automação, que incluiu todos os custos adicionais relacionados ao deslocamento e às suas despesas operacionais. O profissional estipulou um prazo de três dias para a conclusão da adequação, considerando a complexidade do serviço e a logística necessária para realizar o trabalho na região

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado sobre o processo de desidratação das sementes de guaraná, utilizando a nova máquina desenvolvida na Fazenda Maués, permitiu avaliar o desempenho do sistema e identificar aspectos importantes para sua melhoria. A análise revelou que, embora a máquina apresente ganhos em termos de eficiência no processo de secagem, a falta de automação no controle de parâmetros como temperatura e tempo resultou em variações nos resultados de desidratação.

A principal conclusão do experimento foi a necessidade de aprimorar o controle do processo para garantir maior consistência nos resultados. A intervenção manual no processo, especialmente no monitoramento e ajuste de variáveis, tem gerado imprecisões que afetam o tempo de secagem e a qualidade das sementes.

A partir dos resultados obtidos, recomenda-se para estudos futuros a adequação física do projeto através do qual permita a realização de experimentos controlados, com monitoramento automático das variáveis envolvidas. A implementação de um sistema automatizado, com controle preciso da temperatura e umidade, pode reduzir a variabilidade no tempo de secagem e otimizar a utilização de recursos.

Além disso, a adequação física do projeto proporcionará a oportunidade de analisar o impacto direto sobre o tempo de processo e a necessidade de mão de obra, possibilitando ajustes que resultem em maior eficiência operacional e redução de custos com pessoal. Essa análise prática é essencial para validar a viabilidade e as melhorias propostas, garantindo um processo de desidratação mais eficiente e de menor impacto no processo produtivo.

REFERÊNCIAS

SOBRENOME, BELLAVER, Diego. **Automação de uma Prensa Hidráulica, Especificação e Programação dos Componentes**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica – Centro Universitário da Serra Gaúcha. Caxias do Sul, 2022. Disponível

em: <<https://repositorio.cruzeirodosul.edu.br/jspui/bitstream/123456789/4742/1/TC%20-%20DIEGO%20BELLAVER.pdf>>. Acesso em: 9 jan. 2025.

GONÇALVES, Marcelo Moura. **Controle de temperatura de um secador de café a lenha**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2022. Disponível em: <http://192.100.247.84/bitstream/prefix/2504/1/Marcelo%20Moura%20Gon%c3%a7alves.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

LIMA, C. H. dos S. **Controle de processos PID utilizando CLP**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3674>. Acesso em: 13 jan. 2025.

MARTINS, S. B. **Controle de velocidade de motor em malha fechada aplicado em um robô seguidor de linha virtual**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, Varginha, 2021. Disponível em: <http://192.100.247.84:8080/bitstream/prefix/2239/1/TCC%20-%20Samuel%20Barbosa.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.

NASCIMENTO, Luiz Felipe Alcântara do. **Estudo da desidratação de grão-de-bico em secador solar de exposição direta**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/56356/1/GRAODEBICOSECADORS_OLAR_NASCIMENTO_2023.pdf. Acesso em: 12 jan. 2025.

SOARES, Wesley Martinelli. **Automação agrícola: controle do processo operacional e gerencial da colheita mecanizada**. 2022. Projeto (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/74/74134/tde-15082022-155035/publico/ME8194631COR.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SIEMENS. **Sistema de automação S7-1200: manual de instruções original**. 2023. Disponível em: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109971987/sistema-de-automa%C3%A7%C3%A3o-s7-1200-manual-de-instru%C3%A7%C3%B5es-original?dti=0&lc=pt-PT>. Acesso em: 9 jan. 2025.

APÊNDICE A – CÓDIGO USADO NA SIMULAÇÃO

```
% Definição do sistema de transferência
numerador = 1;
denominador = [200, 1];
sistema_t = tf(numerador, denominador);

% Parâmetros do controlador PID
Kp = 2.0; % Ganho proporcional
Ki = 0.5; % Ganho integral
Kd = 0.1; % Ganho derivativo

% Simulação com feedback
sim_time = 600; % Tempo de simulação em segundos
[T_out, t] = step(feedback(sistema_t * pid(Kp, Ki, Kd), 1), sim_time);

% Gráfico da resposta de temperatura
figure;
plot(t, T_out);
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('Temperatura (°C)');
title('Resposta de Controle de Temperatura em Malha Fechada');
grid on;
```