

EAMBARCATECH – Formação Básica em Software Embarcado

Fábio Rocha Gomes Jardim – TIC370100723

SISTEMA PARA AUTOMAÇÃO DE BARCAÇAS PARA SECAGEM DE GRÃOS – ENFASE NA CULTURA DO CACAU NO SUL DA BAHIA

Ilhéus, 24 de fevereiro de 2025

Link para o repositório do projeto:

https://github.com/fabiorgj/Projeto_Final_Embarcatech

Link para o vídeo:

<https://drive.google.com/file/d/18e4z5cQMUwJ62UOw6baL6OcMlThxKqVY/view?usp=sharing>

Observação importante!

O sistema proposto por este projeto é abordado aqui de maneira apenas teórica como uma discussão sobre como seria implementá-lo na prática, pois a sua complexidade, tanto de hardware, quanto de software, não seria possível de ser inteiramente simulado na BitdogLab. Para a implementação prática a BitdogLab algumas alterações e simplificações foram necessárias.

Apresentação do Projeto

Este projeto consiste no desenvolvimento de uma ideia, um sistema destinado a automatizar o processo de abertura e fechamento de barcas utilizadas na secagem de grãos, a exemplo das utilizadas na secagem do cacau. Além da automação, o sistema integrará interfaces de comunicação e interação com o usuário, possibilitando o controle e programação das funções e a coleta e análise de dados.

Objetivos do Projeto

Observação: Os objetivos a seguir são restritos apenas à teoria, somente o protótipo mínimo, na BitdogLab, será implantado na prática.

Objetivo Geral: Desenvolver a ideia de um sistema embarcado capaz de monitorar e processar dados essenciais – como temperatura, chuva, umidade e registros de horário – para viabilizar, de forma autônoma, a decisão de fechar ou abrir a cobertura de uma barca de secagem de grãos. Além disso, o sistema permitirá que o usuário acompanhe o processo em tempo real e intervenha por meio de interfaces específicas, proporcionando maior controle e flexibilidade.

Objetivos Específicos

- Integrar sensores e módulos para a captação em tempo real dos dados ambientais essenciais, como temperatura, índice pluviométrico, umidade e registros de horário.
- Desenvolver algoritmos de processamento que analisem os dados captados para determinar, de forma autônoma, a necessidade de abrir ou fechar a cobertura da barca.
- Criar interfaces de comunicação que possibilitem o monitoramento, em tempo real, e controle do sistema de forma remota.
- Desenvolver uma interface de interação que permita ao usuário acompanhar o funcionamento do sistema e intervir manualmente quando necessário.
- Realizar testes e validações para assegurar a confiabilidade, segurança e eficiência do sistema em condições operacionais reais.
- Desenvolver um protótipo mínimo utilizando a BitdogLab e restringindo-se aos conceitos, características e tecnologias de sistemas embarcado vistos durante a capacitação a primeira fase do EmbarcaTech.

Funcionalidades do Projeto

- Obtenção de dados relativos ao ambiente: temperatura, humidade, precipitação;
- Decisão autônoma de abertura ou fechamento da cobertura com base nos dados ambientais;
- Programação de horários para abertura e fechamento da cobertura;
- Acionamento de atuadores mecânicos (motores) para movimentar a cobertura;
- Detecção de fechamento ou abertura através de fins de curso;
- Sinalização visual e sonora para maior segurança operacional;
- Botão de emergência para interromper instantaneamente o movimento;
- Botão de controle manual;
- Interface gráfica para visualização de informações;

- Plataforma web para visualização de dados, programação de horários e controle remoto;

Justificativa

A implementação de sistemas embarcados e a integração de redes de sensores possibilitam a coleta e o processamento de dados em tempo real, permitindo que ajustes automáticos sejam realizados com base nas condições ambientais. Por exemplo, decisões autônomas quanto à abertura ou fechamento das coberturas das barcas podem ser tomadas instantaneamente, garantindo que a secagem ocorra de maneira uniforme e otimizada, mesmo diante de variações climáticas inesperadas [7].

Além de aprimorar a qualidade do cacau, essa abordagem tecnológica traz benefícios operacionais e econômicos consideráveis. Ao reduzir a dependência de mão de obra intensiva, diminui-se a probabilidade de erros operacionais e os custos associados à supervisão manual, contribuindo para um processo mais eficiente e padronizado. Essa padronização não apenas assegura um produto final consistente, mas também facilita a integração de outras tecnologias e práticas inovadoras ao longo da cadeia produtiva, promovendo a sustentabilidade do sistema.

Em suma, a modernização da secagem do cacau por meio da automação não só eleva a qualidade do produto, mas também fomenta uma transformação estrutural na cadeia produtiva. Ao aliar a precisão dos sistemas embarcados à gestão inteligente dos recursos, essa inovação se posiciona como um importante diferencial competitivo para os produtores da região sul da Bahia, promovendo uma produção mais resiliente, sustentável e alinhada com as exigências do mercado contemporâneo.

Originalidade

Durante a pesquisa realizada, não foram identificados projetos que abordem integralmente o mesmo escopo do sistema aqui proposto. Embora existam iniciativas que aplicam alguns conceitos em comuns, como a automação de telhados ou a utilização de sensores ambientais aplicados em alguma área da produção agrícola, nenhum deles integra todas as funcionalidades e especificidades aqui propostas. Em suma, os projetos encontrados compartilham elementos isolados, mas não oferecem uma solução completa e similar, ou até mesmo aplicada no mesmo contexto.

Segue alguns projetos de interesse encontrados:

Telhado Automatizado – RIC-CPS - Projeto apresentado em documento PDF pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, abordando um sistema automatizado para abertura e fechamento de telhados, utilizando microcontroladores e sensores (incluindo sensor de chuva).

<https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/20733/1/Telhado%20Automatizado.pdf>

Como Automatizar um Sistema de Secagem de Amêndoas de Cacau? - Vídeo publicado no YouTube pela Frucafé Mudaz e Plantas Ltda, que apresenta soluções e conceitos para a automação no processo de secagem de amêndoas de cacau.

<https://www.youtube.com/watch?v=nFWHbzgx78s>

Sistema de monitoração, controle e automação de parâmetros ambientais em estufas agrícolas utilizando conceitos de IoT - Este projeto é dedicado à justificativa e criação de um modelo e protótipo com potencial escalável de um sistema inteligente de monitoração e controle automatizado de uma estufa agrícola

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/253298>

Estudo de um protótipo para controle e monitoramento em uma estufa de hortaliças baseado em internet das coisas e o microcontrolador esp8266 - Criação de um protótipo de estufa automatizada e monitorada via IoT para estudo de viabilidade.

<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/8835/1/Bernardo%20Schmitz%20dos%20Santos.pdf>

Especificações de Hardware

Para a aplicação prática do projeto proposto, é necessário o uso de hardware específico, incluindo placas de controle com microcontrolador, botões, sensores, atuadores mecânicos e roteadores Wi-Fi, garantindo o funcionamento eficiente e integrado do sistema. O diagrama de blocos a seguir ilustra a interconexão do hardware proposto:

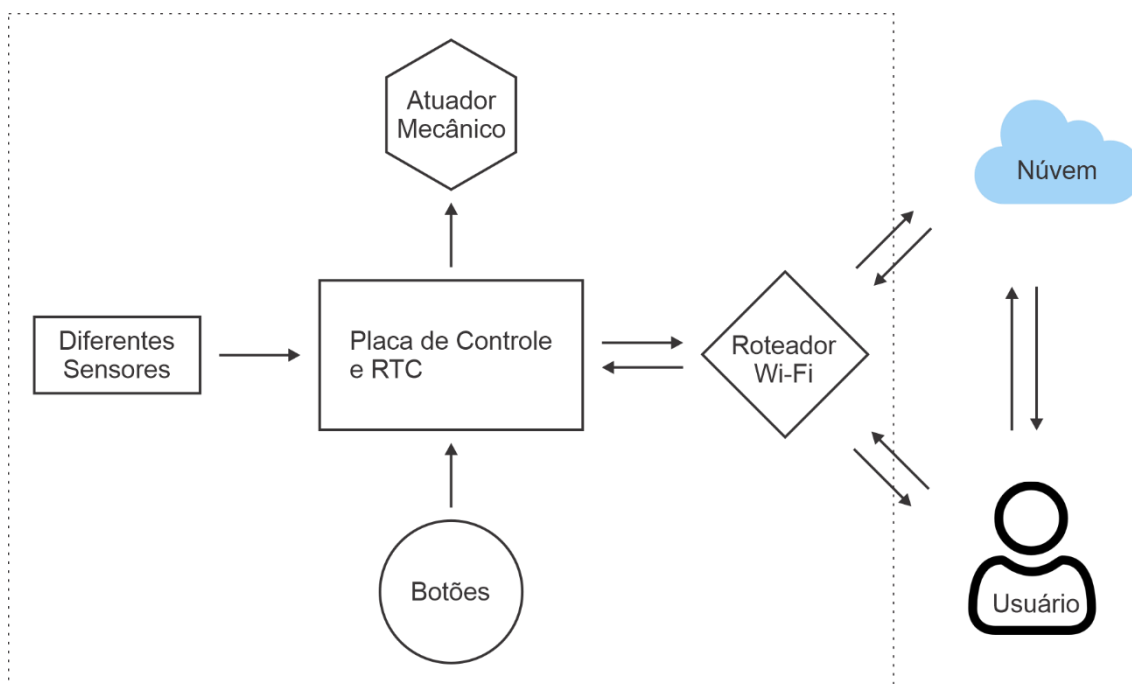


Figura 1 - Diagrama de blocos mostrando os diferentes tipos de hardware necessários no projeto (área pontilhada).

Placa de controle e RTC – A placa de controle é a central do nosso sistema, aqui concentra-se os circuitos eletrônicos necessários, bem como a placa Raspberry Pi Pico W [1] e o RTC (Real Time Clock). O RTC escolhido é o DS3231 [2] pela sua versatilidade e facilidade de obtenção, ele é necessário para quando o sistema estiver off-line.

Diferentes Sensores – Existe a necessidade de monitorar as seguintes variáveis ambientais: temperatura, humidade e precipitação. Para temperatura e humidade foi escolhido o DHT22 e para a precipitação um sensor detector de água do tipo resistivo, também conhecido como

sensor de água por trilhas condutivas. É importante dizer que os botões de fim de curso também estão sendo classificados com sensores.

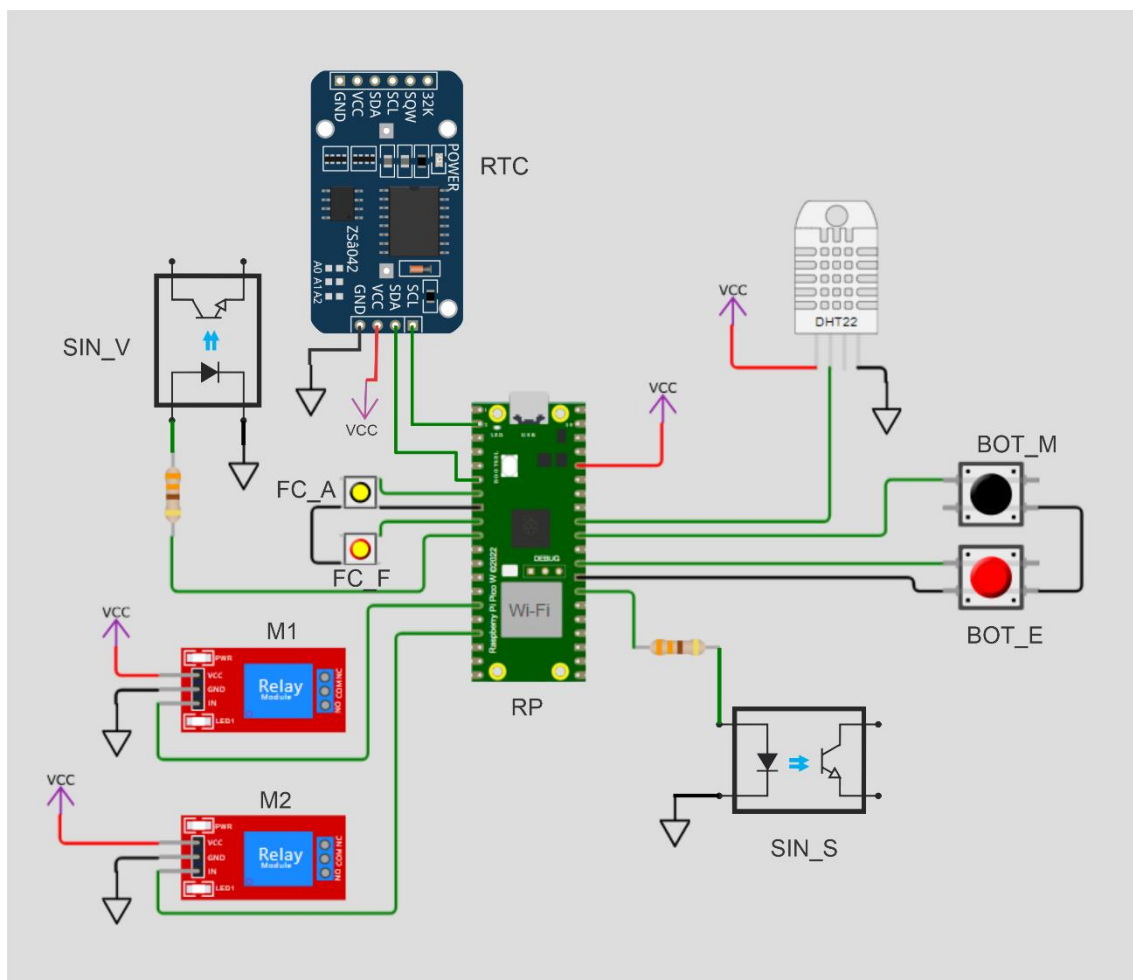
Botões – Push Button modelo botoeira para o botão de controle manual e botão de emergência modelo botoeira com trava giratória.

Atuador mecânico – Um motor AC com velocidade e força adequados para a aplicação, assim como um sistema de engrenagens e cremalheira para movimentar o teto da barça.

Roteador Wi-Fi – Responsável por intermediar a comunicação, via Wi-Fi, entre a central de controle, o usuário e a nuvem.

Circuito eletrônico do sistema

O diagrama a seguir é referente ao circuito do sistema se fosse implementado na prática. Para o protótipo mínimo na BitdogLab esse circuito será simplificado.



RTC – Real Time Clock, usado para retornar a hora e data certa. Matém gravado essas informações mesmo se o sistema for deligado. Conectado nos pinos GP1 e GP4 [2].

DHT22 – Sensor de Temperatura e umidade. Conectado no pino GP27.

SIN_V e SIN_S – Optoacopladores usados para acionar os dispositivos de sinalização visual e sonora. Conectados nos pinos GP7 e GP21.

RP – Raspberry Pi Pico W.

FC_A e **FC_F** – Fins de curso fechado e aberto. Conectados nos pinos GP5 e GP6.

BOT_M e **BOT_E** – Botão de modo manual e botão de emergência. Conectados nos pinos GP26 e GP22.

M1 e **M2** – Módulos relés usados para controlar o sentido de giro do motor AC. Conectados nos pinos GP11 e GP13.

Especificações do Firmware

O firmware aqui proposto pode ser dividido em alguns blocos de funções, além da função main, são eles:

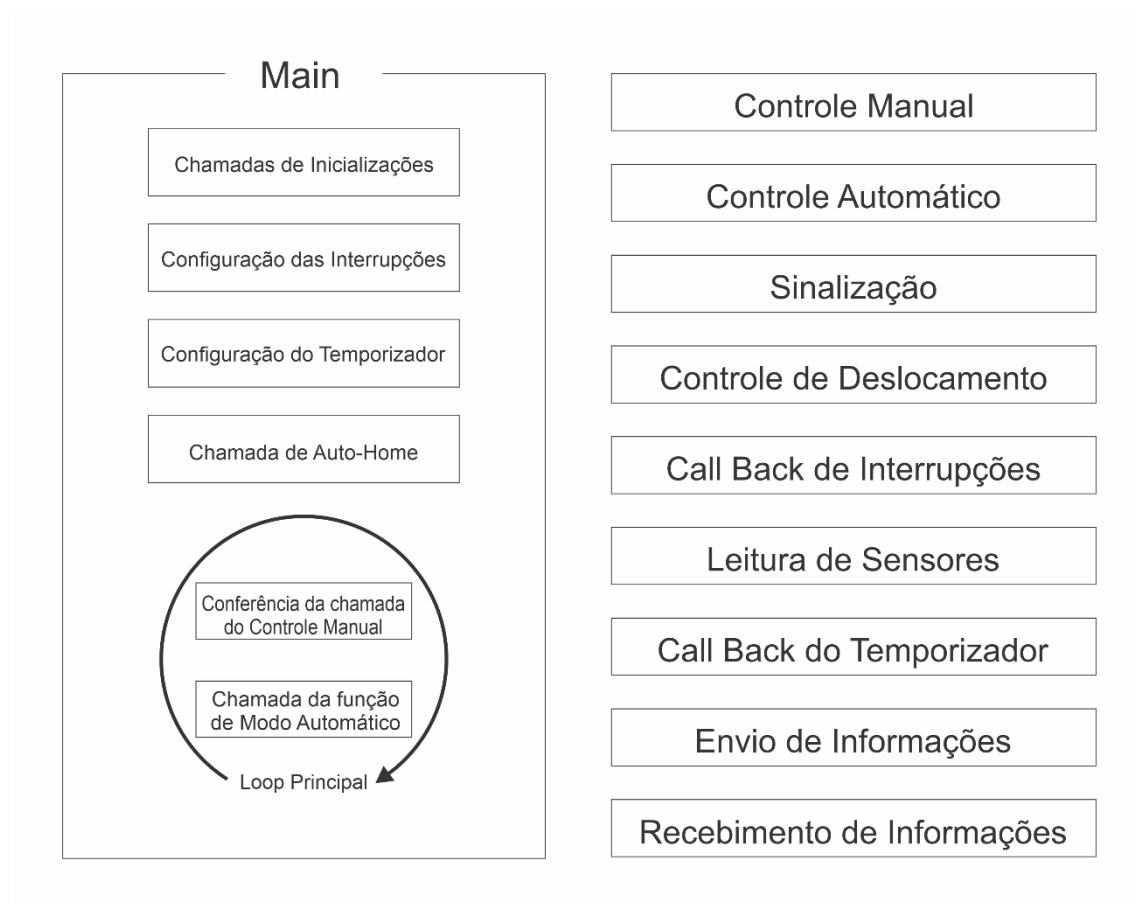


Figura 2 - Diagrama representando os blocos do software

Main – A função principal, que começa pelas chamadas das funções de inicialização que serão executadas apenas uma vez e por isso não são consideradas como funções externas à main. As funções de inicialização iniciam os GPIOs, os protocolos de comunicação e demais funcionalidades necessárias. Após as inicializações temos as configurações das interrupções e dos temporizadores. Por fim temos a chamada de auto-home, que garante que toda vez que o sistema for inicializado a cobertura esteja na posição fechada, assim “o programa saberá onde

está”. Ainda na main temos o loop principal, que será executado ao longo de todo o funcionamento do sistema, ele fica constantemente verificando se o modo manual foi ativado, e se não foi, chama a função do modo automático para verificar se há a necessidade de abrir ou fechar.

Controle Manual – Esta função dá total controle ao usuário no que diz respeito à abertura e fechamento da cobertura, ignorando valores de sensores fora da faixa permitida e agendamentos de horário para abertura e fechamento.

Controle Automático – Algoritmo que controla a abertura ou fechamento da cobertura com base na leitura dos sensores e em faixas de valores definidas pelo usuário, além de considerar o agendamento de horários para abertura ou fechamento.

Sinalização – Função que ativa ou desativa as sinalizações sonora e visual de acordo à necessidade. A sinalização será ativada durante o movimento da cobertura e enquanto o botão de emergência estiver pressionado.

Controle de Deslocamento – Função que aciona e desaciona o motor no sentido correto e monitora se os fins de curso foram detectados, para encerrar o movimento.

Call Back de Interrupções – Quando os botões configurados com interrupções são acionados essa função muda algumas flags, necessárias para o funcionamento da lógica de outras funções.

Leitura de Sensores – Função responsável por ler os sensores e também o horário no RTC. Se os valores lidos estiverem fora das faixas de valores aceitáveis, definidas pelo usuário, ou um horário de abertura ou fechamento for detectado, então esta função retorna essas informações.

Call Back do Temporizador – Apenas muda uma flag que temporiza o intervalo da leitura dos sensores.

Envio de Informações – Função que envia para um servidor, via comunicação Wi-Fi, as informações de interesse, como leitura de sensores e status de abertura e fechamento da cobertura.

Recebimento de Informações – Função que recebe informações do servidor, via comunicação Wi-Fi, e altera as variáveis pertinentes. As informações recebidas são: faixa de valores aceitáveis para os sensores, agendamento de horários e controle manual remoto.

Principais Variáveis

Flags (Bandeiras) – Variáveis que armazenam um estado para sinalizar mudanças ou para sinalizar que uma alguma função está ativa ou não. Várias flags são usadas ao longo do programa.

Variáveis Temporais – Armazenam o tempo retornado pelo sistema e são usadas para lógicas de debouncing e para marcação de intervalos.

Armazenamento de valores de sensores – Outra classe de variáveis importante são aquelas que armazenam os valores lidos nos sensores.

Variáveis de configuração – Por fim, temos aquelas variáveis usadas na configuração de funções específicas e protocolos.

Fluxograma do Firmware:

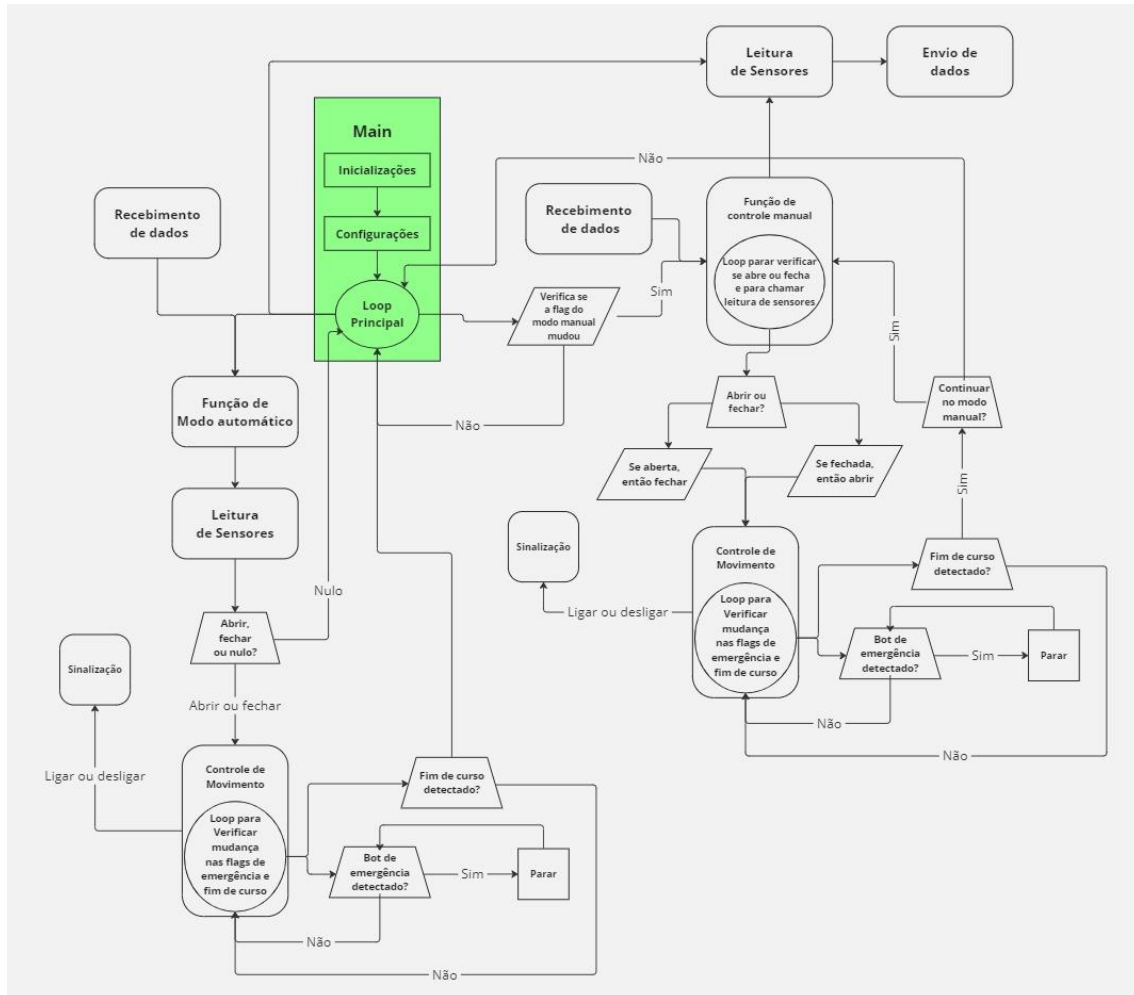


Figura 3 - Fluxograma do firmware proposto

Inicializações - Ao inicializar o sistema o primeiro passo do firmware é iniciar todos os GPIOs que serão usados com suas respectivas funções, em seguida, configura-se as interrupções e os temporizadores.

Protocolos usados - Protocolo de conectividade Wi-Fi e Protocolo I2C para o RTC DS3231.

Formato dos pacotes de dados - Os pacotes de dados enviados via Wi-Fi pela Raspberry Pi Pico W seguem os padrões do protocolo 802.11n (Wi-Fi 4) e do protocolo de transporte utilizado (TCP, UDP, MQTT, HTTP, etc.). A estrutura exata do pacote depende da camada de comunicação utilizada.

Metodologia

O desenvolvimento do sistema de automação para barcaças de secagem de cacau seguiu uma abordagem estruturada em três etapas principais: pesquisas preliminares, escolha do hardware e definição das funcionalidades do sistema. Cada etapa foi planejada para garantir a viabilidade técnica, a integração eficiente dos componentes e a adequação às necessidades operacionais do projeto.

1. Pesquisas Realizadas

Nesta fase, foram conduzidas pesquisas bibliográficas para identificar soluções já existentes e compreender as melhores práticas para a automação em ambientes agrícolas. As atividades envolveram:

Revisão de Literatura e Projetos Análogos:

Foram feitas pesquisas no Google em busca de projetos similares. Foram analisadas páginas e artigos de projetos relacionados à automação de estruturas, como o projeto “Telhado Automatizado – RIC-CPS” e iniciativas voltadas para a automação de estufas e sistemas de secagem. Essa etapa possibilitou a identificação de componentes críticos e desafios comuns, como a integração de sensores ambientais e a necessidade de tomada de decisão autônoma baseada em variáveis climáticas.

Identificação de lacunas:

Observou-se que nenhum projeto integrava todas as funcionalidades propostas (controle autônomo baseado em múltiplos sensores, interface manual/remota e programação horária), especialmente no contexto de secagem de cacau.

Estudo dos Requisitos Ambientais:

Foram avaliados os parâmetros ambientais relevantes para a secagem do cacau, como temperatura, umidade e precipitação, além das particularidades operacionais de barcaças. Esse levantamento auxiliou na definição dos critérios para escolha dos sensores e na estruturação do algoritmo de decisão.

2. Escolha do Hardware

Com base nos resultados das pesquisas, foi definido um conjunto de componentes de hardware que atendessem aos requisitos funcionais e ambientais do projeto:

Placa de Controle e Conectividade:

A Raspberry Pi Pico W foi escolhida por sua capacidade de processamento, baixo consumo de energia e conectividade Wi-Fi integrada, permitindo tanto o controle local quanto a comunicação remota com servidores e interfaces web [1].

Sensores Ambientais:

- DHT22: Selecionado para medir temperatura e umidade, dada sua confiabilidade e precisão em aplicações agrícolas [3].

- Sensor Detector de Água Resistivo: Utilizado para a captação de dados referentes à chuva, possibilitando a identificação rápida de condições adversas.

Real Time Clock (RTC):

O módulo DS3231 [2] foi incorporado para garantir a precisão na marcação dos horários, especialmente importante para o agendamento de abertura e fechamento da cobertura, mesmo em situações de queda de energia ou desconexão.

Componentes de Controle e Segurança:

Foram integrados botões para controle manual e emergência, relés para acionamento dos motores e sensores de fim de curso para monitorar a posição da cobertura, assegurando o funcionamento seguro do sistema.

Comunicação e Integração:

O uso de um roteador Wi-Fi possibilita a troca de informações entre a central de controle e a plataforma web, permitindo o monitoramento e a intervenção remota.

3. Definição das Funcionalidades do Sistema

Com base na compreensão dos requisitos do ambiente de secagem do cacau, foram definidas as principais funcionalidades do sistema aqui proposto:

Monitoramento em Tempo Real:

Coleta contínua de dados ambientais (temperatura, umidade e chuva) para permitir a análise das condições de secagem.

Tomada de Decisão Autônoma:

Desenvolvimento de algoritmos que, com base nos valores dos sensores e em faixas definidas pelo usuário, determinem automaticamente se a cobertura deve ser aberta ou fechada, garantindo condições ideais para a secagem.

Controle Manual e Emergencial:

Inclusão de botões para que o usuário possa assumir o controle do sistema a qualquer momento, além de um botão de emergência que interrompa imediatamente qualquer movimento, reforçando a segurança operacional.

Agendamento de Operações:

Implementação de funcionalidades que permitam a programação de horários para abertura e fechamento da cobertura, integrando dados temporais capturados pelo RTC.

Comunicação Remota e Interface Gráfica:

Criação de uma plataforma web e de uma interface gráfica que possibilitem a visualização dos dados em tempo real, a configuração dos parâmetros do sistema e o controle remoto das operações.

Testes propostos para o sistema

Os testes foram planejados para validar a funcionalidade, segurança e robustez do sistema em diferentes cenários, incluindo condições operacionais reais e situações críticas. Abaixo, estão descritos testes organizados por categoria:

1. Testes Unitários

a. Leitura e Calibração dos Sensores

Objetivo: Garantir que os sensores de chuva, temperatura e umidade forneçam dados precisos e confiáveis.

Procedimento:

Calibrar cada sensor utilizando equipamentos de medição padrão em ambiente controlado.

Simular variações ambientais (aquecimento, umidade variável, aplicação de água para o sensor de chuva) e comparar os dados captados com os valores esperados.

Critério de Sucesso:

Os valores lidos devem estar dentro de uma margem de erro previamente definida.

b. Funcionamento do RTC (DS3231)

Objetivo: Verificar a precisão na marcação do tempo, essencial para o agendamento das operações.

Procedimento:

Sincronizar o RTC com um horário padrão e monitorar sua performance durante intervalos prolongados.

Simular reinicializações para confirmar que a data/hora persistem corretamente.

Critério de Sucesso:

O RTC deve manter a hora correta e reiniciar com as informações armazenadas.

2. Testes de Integração

a. Teste do Algoritmo de Decisão Autônoma

Objetivo: Validar que o algoritmo processa os dados dos sensores e decide corretamente entre abrir ou fechar a cobertura.

Procedimento:

Injetar valores simulados para diferentes condições ambientais (por exemplo, alta umidade e chuva para acionar o fechamento; baixa umidade e temperaturas elevadas para abrir a cobertura).

Verificar se o algoritmo dispara os comandos de atuação corretamente conforme os parâmetros configurados.

Critério de Sucesso:

Em cada cenário, a decisão tomada deve corresponder ao comportamento definido pelo sistema.

b. Integração dos Atuadores e Sensores de Fim de Curso

Objetivo: Assegurar que os motores e sensores de fim de curso operem em sincronia, evitando movimentos além dos limites.

Procedimento:

Acionar o motor para movimentar a cobertura e monitorar a ativação dos sensores de fim de curso.

Testar a resposta do sistema ao detectar os limites, interrompendo o movimento do motor.

Critério de Sucesso:

O motor deve ser desligado imediatamente ao acionar um sensor de fim de curso, prevenindo danos mecânicos.

3. Testes Funcionais

a. Teste de Controle Manual e Botão de Emergência

Objetivo: Confirmar que o usuário pode assumir o controle do sistema e que o botão de emergência interrompe o processo instantaneamente.

Procedimento:

Ativar o modo manual durante a operação e verificar se as ações automáticas são desabilitadas.

Acionar o botão de emergência durante o movimento e observar a resposta imediata do sistema, inclusive a ativação das sinalizações visuais e sonoras.

Critério de Sucesso:

O sistema deve responder instantaneamente aos comandos manuais e interromper qualquer operação em curso ao acionar o botão de emergência.

b. Teste de Agendamento de Operações

Objetivo: Verificar se a programação de horários para abertura e fechamento é respeitada.

Procedimento:

Configurar agendamentos de abertura e fechamento e simular o tempo utilizando o RTC.

Monitorar a execução dos comandos nos horários programados.

Critério de Sucesso:

As operações devem ocorrer conforme os agendamentos, independentemente da operação manual ou de pequenas variações temporais.

c. Teste de Comunicação Wi-Fi e Integração Remota

Objetivo: Avaliar a integridade e estabilidade na transmissão de dados entre a central de controle e a plataforma web.

Procedimento:

Simular o envio e recebimento de pacotes via Wi-Fi, utilizando ferramentas de monitoramento (como o Wireshark) para verificar o formato e a integridade dos dados.

Testar a atualização dos parâmetros remotos (como faixas de valores e agendamentos) e a visualização dos dados na interface web.

Critério de Sucesso:

A comunicação deve ocorrer sem perda ou distorção dos dados, com baixa latência e alta confiabilidade.

4. Testes de Estresse e Resiliência

a. Teste de Operação Contínua e Integrada

Objetivo: Verificar o desempenho do sistema sob condições prolongadas e variáveis.

Procedimento:

Executar o sistema em um ambiente de testes que simule variações ambientais reais e intermitentes, mantendo a operação por períodos estendidos.

Monitorar o comportamento dos sensores, atuadores e comunicação durante a operação contínua.

Critério de Sucesso:

O sistema deve operar sem falhas ou quedas de desempenho, mantendo a integridade dos dados e a resposta adequada aos comandos.

b. Teste de Recuperação de Falhas

Objetivo: Analisar a resposta do sistema a falhas, como perda de conexão Wi-Fi, falha de energia ou erro na leitura dos sensores.

Procedimento:

Simular falhas controladas (desconexão do Wi-Fi, interrupção de energia, falha temporária de sensor) e verificar se o sistema entra em um modo seguro ou retoma as operações após a recuperação.

Critério de Sucesso:

O sistema deve implementar mecanismos de fallback e recuperação, garantindo a segurança da operação e a integridade dos dados mesmo após a resolução da falha.

Protótipo Mínimo na BitdogLab

Para simular as funcionalidades do sistema, foi desenvolvido um firmware específico para a placa de desenvolvimento BitdogLab [9], aproveitando os recursos integrados e restringindo-se aos conceitos e conhecimentos adquiridos durante a capacitação. Para adaptar a proposta original ao ambiente da BitdogLab, foram necessárias as seguintes modificações:

1. Remoção da comunicação via Wi-Fi e de todas as funcionalidades dependentes desse recurso.
2. Utilização da matriz de LEDs 5x5 e do buzzer para as sinalizações visuais e sonoras.
3. Emprego do botão do joystick para as funções de controle manual e emergência.
4. Inclusão do display da BitdogLab para a apresentação das informações.
5. Uso da leitura analógica dos eixos X e Y do joystick para simular os valores dos sensores de temperatura e chuva.
6. Adaptação dos botões A e B da placa para funcionar como sensores de fim de curso.
7. Utilização dos LEDs verde e vermelho do LED RGB para representar o acionamento do motor nos dois sentidos.

O firmware e informações complementares podem ser acessados no repositório do projeto no Github, no link a seguir:

https://github.com/fabiorgj/Projeto_Final_Embarcotech

O vídeo pode ser acessado no link:

<https://drive.google.com/file/d/18e4z5cQMUwJ62UOw6baL6OcMIThxKqVY/view?usp=sharing>

Discussão dos Resultados Observados na Simulação das Funcionalidades do Sistema na BitdogLab

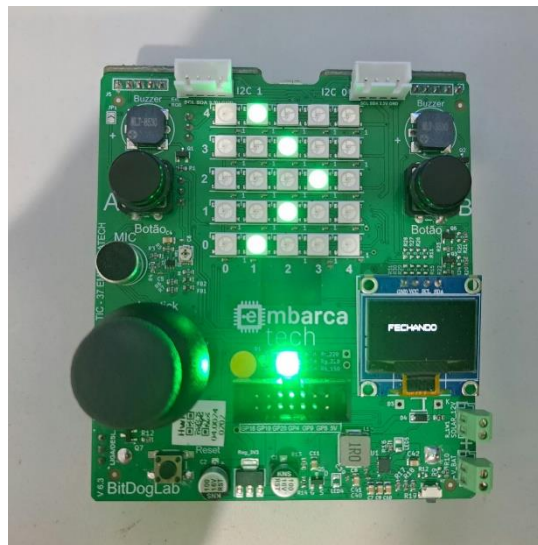


Figura 4 - Firmware sendo executado na BitdogLab

A simulação das funcionalidades do sistema na BitdogLab permitiu validar conceitos fundamentais da automação proposta, apesar das limitações impostas pela substituição de componentes reais por elementos simulados. Durante os testes, foi possível avaliar o

comportamento do firmware, a lógica de controle e a resposta do sistema aos comandos e eventos programados.

1. Adaptação da Lógica do Sistema

A remoção da comunicação via Wi-Fi e a substituição dos sensores reais por leituras analógicas do joystick exigiram ajustes na lógica do firmware. Apesar disso, os testes demonstraram que o sistema conseguiu interpretar corretamente as leituras simuladas, respondendo de maneira coerente às variações de "temperatura" e "chuva". Isso indica que a estrutura de decisão do controle automático está bem implementada e pode ser facilmente adaptada para operar com sensores reais.

2. Representação das Sinalizações Visuais e Sonoras

A utilização da matriz de LEDs 5x5 e do buzzer como mecanismos de sinalização visual e sonora mostrou-se eficiente para representar o estado do sistema. As diferentes configurações dos LEDs permitiram indicar claramente a abertura e o fechamento da cobertura, enquanto o buzzer reforçou os alertas sonoros. Essa abordagem possibilitou validar os mecanismos de notificação ao usuário, garantindo que o sistema seja intuitivo e seguro.

3. Simulação dos Controles Manuais e Sensores de Fim de Curso

A adaptação do botão do joystick para atuar tanto como controle manual quanto como botão de emergência demonstrou ser uma solução viável dentro do ambiente de testes. O sistema respondeu prontamente às interações manuais, interrompendo ações automáticas quando necessário. Além disso, a simulação dos sensores de fim de curso utilizando os botões A e B da BitdogLab mostrou que a lógica de detecção de limite funciona corretamente, impedindo movimentos além dos limites estabelecidos.

4. Representação do Motor e do Movimento da Cobertura

Os LEDs verde e vermelho do RGB foram utilizados para representar a ativação do motor nos dois sentidos. Essa solução permitiu visualizar claramente a ação dos atuadores e validar a lógica de acionamento sem a necessidade de motores reais. Durante os testes, o firmware acionou corretamente os LEDs conforme as condições simuladas, reforçando que o controle de movimentação está funcionando conforme esperado.

5. Exibição de Informações no Display

A adição do display da BitdogLab para apresentar informações foi um dos pontos mais positivos da simulação. A exibição dos dados dos sensores simulados e do estado atual da cobertura proporcionou uma interface clara e objetiva, demonstrando que a futura implementação de uma interface gráfica mais sofisticada será benéfica para a experiência do usuário.

Limitações e Considerações Finais

Embora a simulação na BitdogLab tenha permitido testar a lógica do sistema e validar sua funcionalidade básica, algumas limitações foram identificadas:

- A ausência de comunicação Wi-Fi impediu a verificação do envio e recebimento de dados em uma plataforma remota.

- O joystick, apesar de ter sido útil na simulação, não reproduz fielmente as características dos sensores reais, especialmente na leitura contínua de temperatura e umidade.
- A substituição dos motores reais por LEDs não permitiu avaliar aspectos como consumo de energia, torque e resposta mecânica da cobertura.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos na simulação foram positivos, demonstrando que a base lógica do sistema está bem estruturada e pronta para ser implementada em hardware real. As funcionalidades essenciais, como o controle automático e manual, a sinalização de estados e a exibição de informações, operaram corretamente dentro das adaptações realizadas, validando o conceito do projeto antes de sua aplicação prática.

Referências

- [1] RASPBERRY PI. Raspberry Pi Pico W Documentation. Disponível em: <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html>. Acesso em: 18 fev. 2025
- [2] MAXIM INTEGRATED. DS3231 Datasheet. Disponível em: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- [3] SPARKFUN ELECTRONICS. DHT22 Datasheet. Disponível em: <https://cdn.sparkfun.com/assets/f/7/d/9/c/DHT22.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- [4] CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA. Telhado Automatizado – RIC-CPS. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/20733/1/Telhado%20Automatizado.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- [5] FRUCÁFEE MUDAS E PLANTAS LTDA. Como Automatizar um Sistema de Secagem de Amêndoas de Cacau? YouTube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nFWHbzgx78s>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- [6] UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Sistema de monitoração, controle e automação de parâmetros ambientais em estufas agrícolas utilizando conceitos de IoT. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/253298>. Acesso em: 22 fev. 2025.
- [7] UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Estudo de um protótipo para controle e monitoramento em uma estufa de hortaliças baseado em internet das coisas e o microcontrolador ESP8266. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/8835/1/Bernardo%20Schmitz%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- [8] INFINEON TECHNOLOGIES. CYW43439 Technical Overview. Disponível em: <https://www.infineon.com/cms/en/product/wireless-connectivity/airoc-wi-fi-plus-bluetooth-combos/wi-fi-4-802.11n/cyw43439/>. Acesso em: 21 fev. 2025.

[9] BITDOGLAB. BitDogLab. GitHub. Disponível em:
<https://github.com/BitDogLab/BitDogLab>. Acesso em: 22 fev. 2025.