

# **Recipiente Inteligente para Transporte de Órgãos com Monitoramento em Tempo Real**

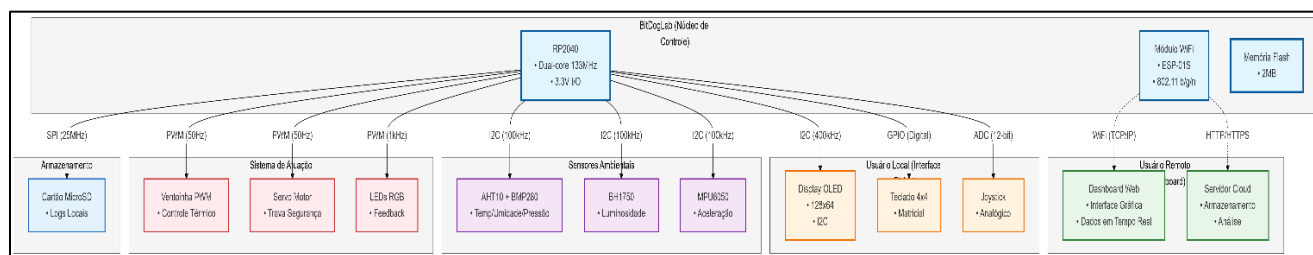
Alunos: Giovana Ferreira Santos e Filipe Alves de Sousa

Brasília-DF  
Agosto de 2025

## BioSmartCooler

O Sistema Embarcado pode ser considerado o Coração do BioSmartCooler. Imagine um sistema inteligente que garante a segurança e a integridade de órgãos vitais durante o transporte para transplantes. Esse é o BioSmartCooler, um projeto inovador que utiliza um sistema embarcado complexo e eficiente. No centro de tudo está a placa BitDogLab com o microcontrolador RP2040, operando a 3.3V, que funciona como o cérebro que orquestra todas as operações.

Conforme apresentado na Figura 1, o Cérebro Eletrônico, RP2040 possibilita uma comunicação integrada. O RP2040 não apenas gerencia as informações, mas também se comunica via Wi-Fi com um painel de controle remoto, utilizando o protocolo TCP/IP. Ao mesmo tempo, ele processa dados locais de diversos sensores e aciona os atuadores. O RP2040 se destaca por sua capacidade de coordenar múltiplos protocolos simultaneamente, como o I2C para a comunicação com sensores e o display OLED, o SPI para o armazenamento local em cartões MicroSD, e o PWM para o controle preciso dos atuadores. Sua arquitetura dual-core garante que tanto as interfaces locais quanto as remotas respondam em tempo real, sem atrasos.



### 1. Diagrama de Blocos Funcional – especificação dos componentes e protocolos

Para garantir o ambiente ideal dentro do BioSmartCooler, o sistema conta com uma série de sensores ambientais conectados de forma padronizada via conector XH I2C. Sensores como o AHT10 e BMP280 monitoram a temperatura (-40°C a 85°C), umidade (20-100% UR) e pressão (300-1100hPa). O BH1750 mede a luminosidade (1-65535 lux), enquanto o MPU6050 rastreia o movimento ( $\pm 16g$ ). Todos esses dados são processados digitalmente pelo RP2040 e enviados tanto para o armazenamento local no MicroSD quanto para a nuvem, utilizando protocolos HTTP/HTTPS, permitindo um controle adaptativo e preciso do ambiente.

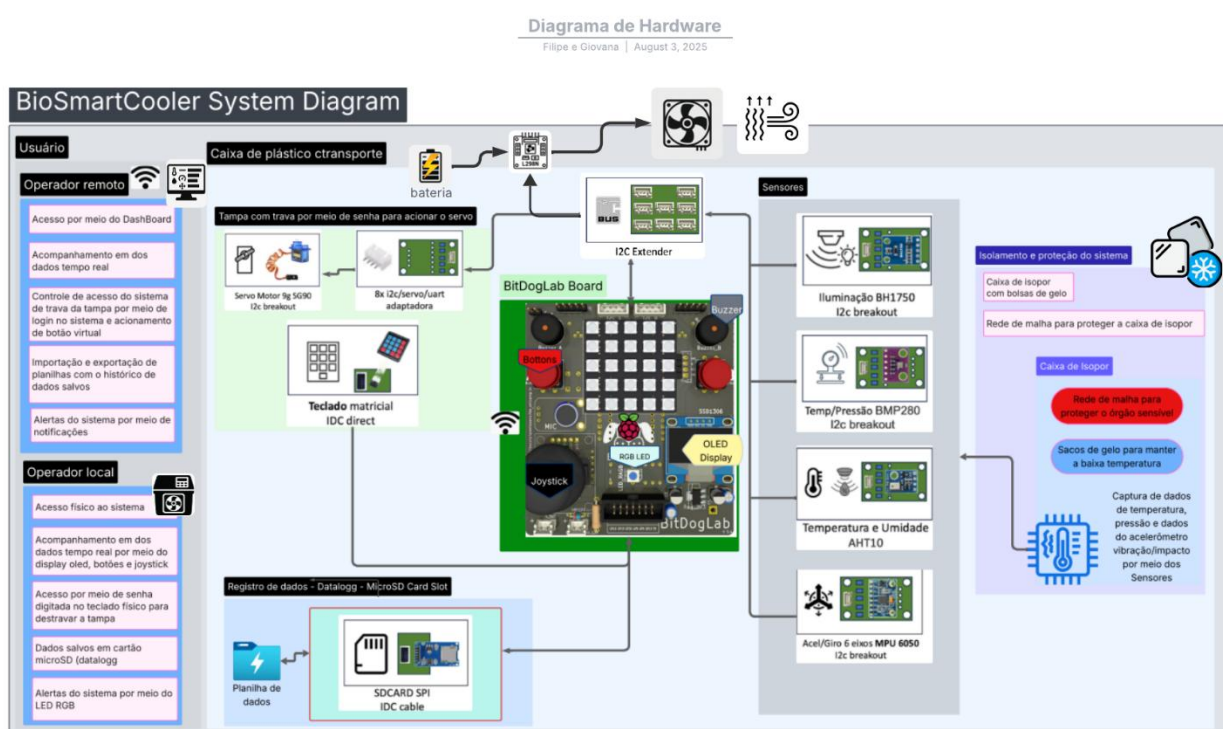
O BioSmartCooler oferece uma interface de usuário dupla e redundante, garantindo que o controle esteja sempre acessível. No modo local, os operadores podem interagir diretamente com o sistema através de um display OLED, um teclado matricial e um joystick, proporcionando controle físico imediato. Paralelamente, o modo remoto permite que usuários acessem um painel web via Wi-Fi, visualizando dados em tempo real e o histórico completo na nuvem. Ambas as interfaces são alimentadas pelo mesmo núcleo de processamento na BitDogLab, permitindo uma operação híbrida e contínua.

Os atuadores integrados do sistema são responsáveis por manter as condições ideais e a segurança do órgão. De acordo com a Figura 2, o controle térmico é feito por uma ventoinha PWM, garantindo a temperatura adequada. Para a segurança, um servo motor controla uma trava eletrônica, enquanto LEDs RGB e um buzzer fornecem feedback visual e sonoro para alertas

importantes. Todos esses atuadores são sincronizados pelo RP2040, que prioriza os comandos de acordo com a origem, seja ela local ou remota.

A confiabilidade dos dados é crucial, e por isso o BioSmartCooler possui uma arquitetura de armazenamento redundante. Os dados são gravados continuamente em logs CSV em um cartão MicroSD local via SPI. Simultaneamente, eles são enviados para um servidor na nuvem via Wi-Fi, onde são armazenados em um banco de dados temporal. Além disso, a placa possui 2MB de memória Flash interna para operações críticas, garantindo que nenhuma informação importante seja perdida.

A comunicação no BioSmartCooler é cuidadosamente otimizada. O Wi-Fi 802.11 b/g/n é usado para a conexão remota, enquanto o I2C multiplexado gerencia os sensores. O PWM é dedicado a cada atuador para controle preciso, e o SPI é exclusivo para o armazenamento local. Essa abordagem garante a largura de banda necessária para cada função, evitando interferências e assegurando um desempenho fluido e confiável para o transporte seguro de órgãos.



**Figura 2. Diagrama de Hardware – especificação dos módulos, sensores e atuadores**

O funcionamento do BioSmartCooler pode ser visto a partir da perspectiva de dois tipos de usuários: o usuário local, que interage diretamente com o dispositivo físico, e o usuário remoto, que acessa o sistema via dashboard web. A seguir, pode-se notar detalhes como o fluxograma se traduz na experiência prática de cada um:

O usuário local inicia sua interação com o BioSmartCooler ao digitar uma senha de 4 dígitos no teclado matricial. Essa autenticação é necessária para destravar a tampa da caixa térmica, garantindo segurança no acesso ao conteúdo sensível — órgãos para transplante. O sistema verifica a senha e, se correta, aciona o motor para liberar a tampa, conforme indicado no fluxograma.

Após o desbloqueio, o usuário utiliza os botões físicos e o joystick da BitDogLab para navegar pelas opções exibidas no display OLED. Essa interface permite selecionar diferentes

modos de visualização, como medidas de temperatura, pressão, umidade e luminosidade, todos atualizados em tempo real pelos sensores BMP280, DHT11 e BH1750.

O fluxograma mostra que, ao interagir com o menu principal, o sistema processa o comando e exibe os dados. O usuário pode acompanhar os dados ambientais internos da caixa, essenciais para garantir que os órgãos estejam sendo transportados em condições ideais. Indicadores visuais como LEDs ou ícones no display alertam sobre qualquer anomalia.

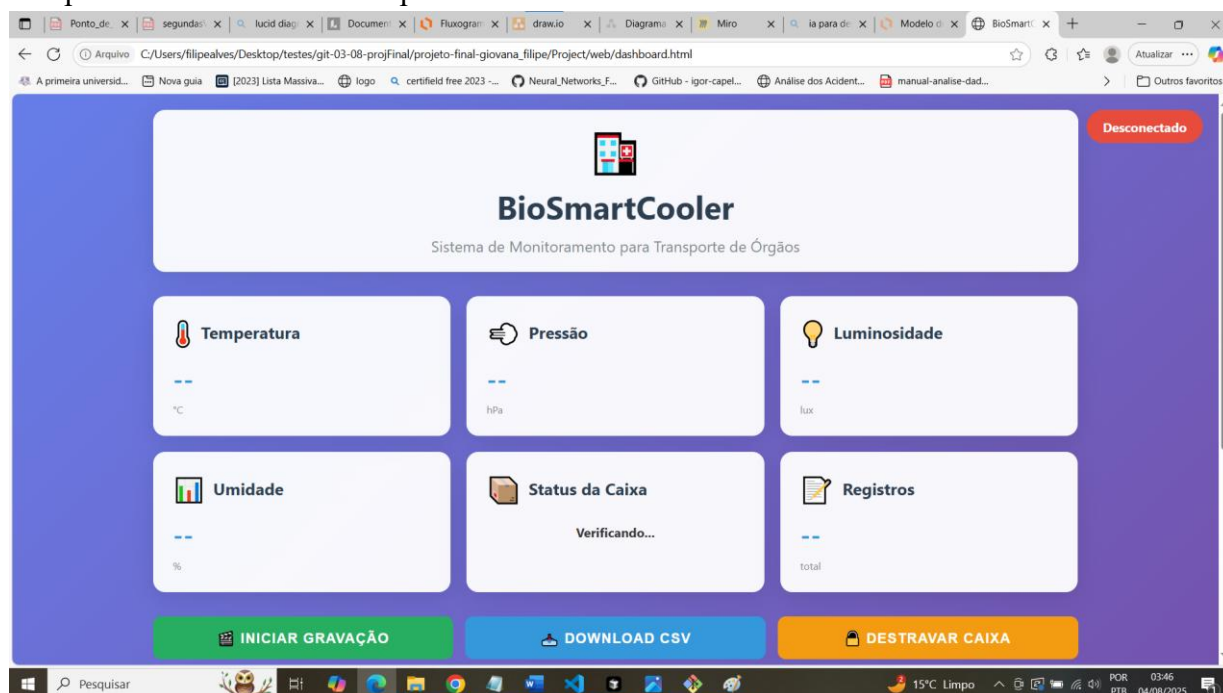
Além do monitoramento, o usuário local pode iniciar ou parar a gravação dos dados em um cartão MicroSD, diretamente pelo joystick. Isso é fundamental para manter registros precisos do transporte, que podem ser usados para auditoria ou análise posterior. O fluxograma inclui essa etapa como parte do controle de gravação.

Caso o sistema detecte uma condição crítica — como temperatura fora da faixa segura ou abertura indevida da tampa — ele ativa o modo de alarme. O display OLED pisca com mensagens de alerta, e o usuário pode tomar ações imediatas, como reativar o resfriamento ou fechar a tampa. Essa lógica está representada no fluxograma como uma ramificação de segurança.

Por fim, o usuário local pode verificar o número total de registros gravados, o status da conexão WiFi e o estado atual do sistema (IDLE, RECORDING, ALARM ou ERROR). Essa visão integrada permite uma operação segura e eficiente, mesmo em ambientes hospitalares ou durante o transporte em ambulâncias.

Enquanto o usuário remoto acessa o BioSmartCooler via WiFi, conectando-se ao Access Point “BioSmartCooler\_AP”. A interface web exige autenticação por senha, garantindo que apenas profissionais autorizados possam visualizar ou controlar o sistema. Essa etapa está representada no fluxograma como uma verificação de credenciais antes do acesso ao dashboard.

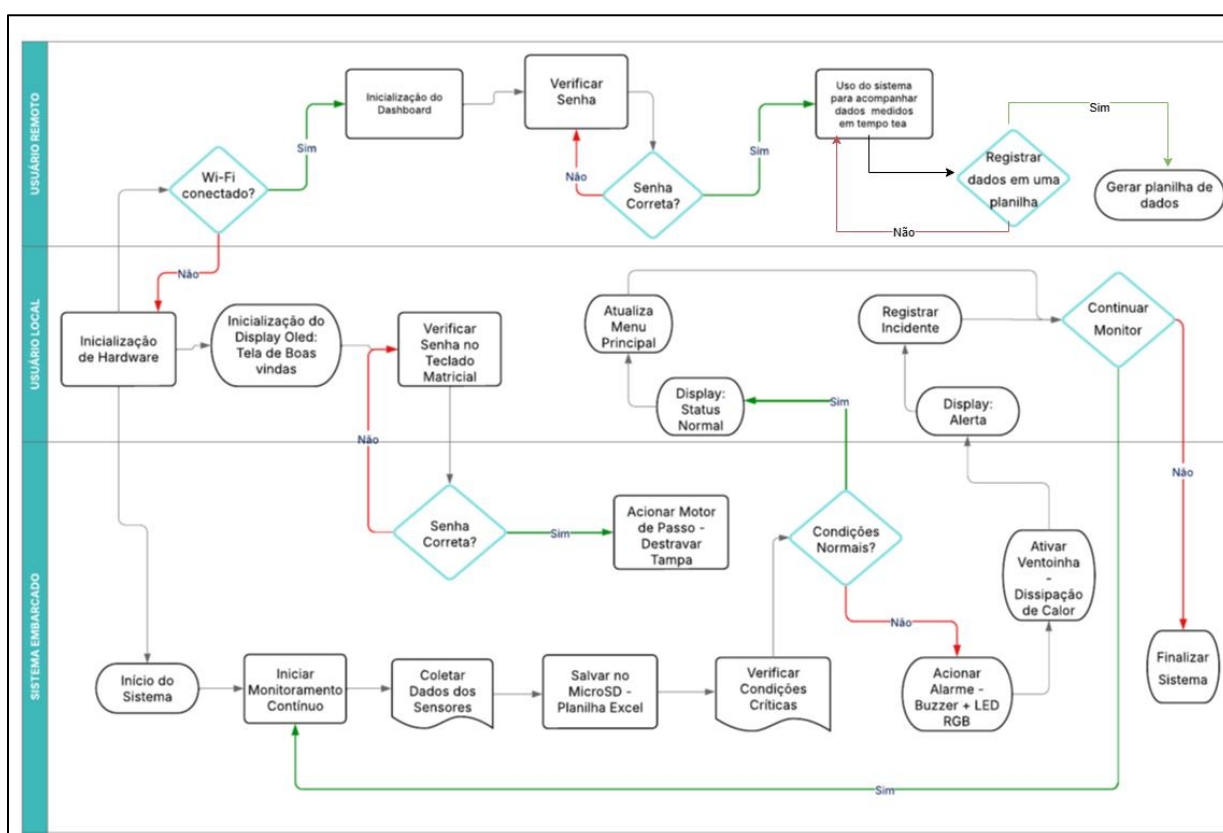
O dashboard, conforme apresentado na Figura 3, foi desenvolvido com tecnologias modernas como HTML, CSS (com design responsivo), JavaScript e WebSocket. O WebSocket permite comunicação em tempo real entre o navegador e o dispositivo, transmitindo dados dos sensores instantaneamente. O uso de JSON como formato de dados garante leveza e compatibilidade com diversas plataformas.



**Figura 3. Dashboard para acesso remoto aos dados em tempo real**

As funcionalidades do dashboard incluem monitoramento de temperatura, pressão, umidade, luminosidade, aceleração e status da caixa. Além disso, o usuário remoto pode iniciar/parar gravações, destravar a caixa (com senha), e fazer download de planilhas CSV com o histórico completo dos parâmetros registrados. Isso é essencial para rastreabilidade e conformidade com protocolos médicos.

No escopo do projeto BioSmartCooler, essas funcionalidades são vitais para garantir a integridade dos órgãos durante o transporte. O dashboard permite que médicos e técnicos acompanhem remotamente as condições internas da caixa, tomem decisões rápidas em caso de falhas, e mantenham registros detalhados para fins clínicos e legais. O fluxograma apresentado na Figura 3 representa essa integração entre o sistema físico e a interface remota como um ciclo contínuo de monitoramento e controle.



**Figura 4. Fluxograma Simplificado – Lógica de funcionamento do sistema embarcado**