Desenvolvimento de Sistemas Eletrônicos e de Controle em Embalagem Inteligente para Transplante de Órgãos

Martins, Fernando de Almeida[1]. Assis, Wânderson de Oliveira[2]. Coelho, Alessandra Dutra[3]. Silvestre, Sarah[4]. Brunholi, Caio Rabinovich Panes[5]. Tricarico, Leandro[6]. Costa, Ari Nelson Rodrigues[7]. Ribeiro, Caio Terêncio Trindade[8]. ST SAFE-TX Team[9].

[1] Centro de Pesquisas - Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: fernando.martins@maua.br)
[2] Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: wanderson.assis@maua.br)
[3] Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: alessandra.coelho@maua.br)
[4] Centro de Pesquisas - Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: sarah.silvestre@maua.br)
[5] Centro de Pesquisas - Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: caio.panes@maua.br)
[6] São Rafael Indústria e Comércio Ltda. CEP 09580-900, Brasil (e-mail: sr@saorafael.com.br)
[7] Centro de Pesquisas - Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: ari.costa@maua.br)
[8] Instituto Mauá de Tecnologia, CEP 09580-900, Brasil (e-mail: caioterencio@gmail.com)
[9] Equipe de pesquisadores do SAFE-Tx (https://osf.io/s3mp7)

Abstract: This work presents the development of electronic systems for intelligent autonomous packaging for the cold chain of healthcare systems that enable the safe transport of products of human origin, organs and tissues for transplants, in addition to vaccines, medicines and hospital supplies. The system includes several 4.0 Industry enabling technologies, such as sensing, georeferencing, Internet od Things (IoT), and temperature control system. This work focuses on the development of electronic embedded systems in order to get precise temperature control in packaging, maintaining adequate conditions for transport and guaranteeing the quality and preservation of the products, organs or tissues that are being transported. The electronic system developed and implemented allows the organ transport procedure to be improved, resulting in an innovative and functional product.

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento dos sistemas eletrônicos que compõem a embalagem autônoma inteligente para cadeia fria de sistemas de saúde que viabilize o transporte seguro de produtos de origem humana, órgãos e tecidos para transplantes, além de vacinas, medicamentos e insumos hospitalares. O sistema inclui diversas tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, tais como sensoriamento, georreferenciamento, internet das coisas (IoT), e sistema de controle de temperatura. Neste trabalho o enfoque é no desenvolvimento dos sistemas eletrônicos embarcados para realizar o controle preciso da temperatura dentro da embalagem, de forma a manter condições adequadas para a realização do transporte, garantindo a qualidade e preservação dos produtos, órgãos ou insumos que estão sendo transportados. O sistema eletrônico desenvolvido e implementado permite aprimorar o procedimento de transporte de órgãos resultando em um produto inovador e funcional.

Keywords: Temperature Control System, Organ Transplantation and Vaccine Transportation, Sensors, Refrigeration system, Embedded System.

Palavras-chaves: Sistema de Controle de Temperatura, Transporte de Órgãos para Transplante e Vacinas, Sensores, Sistema de Refrigeração, Sistemas Embarcados.

1. INTRODUÇÃO

O transplante é um tratamento cirúrgico que substitui um órgão que sofreu falência de sua função, por outro saudável, proveniente de outro indivíduo. Há órgãos, como o rim, que podem ser doados e transplantados entre pessoas vivas. No entanto, a maioria deles precisa ser retirada de doadores falecidos. Nesse caso, no Brasil, a legislação vigente permite a doação somente quando for diagnosticada a morte encefálica (Garcia *et al*., 2017).

Em 2019 foram realizados 9.188 transplantes de órgãos no Brasil e, no primeiro trimestre de 2020, apesar da pandemia da COVID-19, aconteceram 2.320 transplantes. Ainda assim, são 37.946 pessoas aguardando por um órgão e tecido. São números que representam muitas vidas (ABTO, 2020).

O processo de doação e transplante de órgãos e tecidos abrange etapas muito distintas, todas explicitadas nas legislações específicas. No entanto, uma delas, essencial para a condução e efetivação da doação e transplante, é o transporte, o qual apresenta problemas críticos. A norma RDC nº 66 de 2009 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária)

regulariza o transporte de órgãos e tecidos, porém as suas especificações não são suficientes. Quando se trata de produtos de origem humana, nesse caso órgãos e tecidos para transplantes, os procedimentos para manutenção do órgão saudável para ser transplantado devem ser rigorosos. Os órgãos do doador devem ser mantidos em uma temperatura entre 2º e 4º C e embalados da seguinte maneira: a primeira embalagem deve conter o órgão e a solução de perfusão; a segunda embalagem deve conter a primeira embalagem e a solução fisiológica; já a terceira embalagem deve conter as duas anteriores. Todas devem ser plásticas estéreis. Todo esse conjunto é depositado então numa quarta para o transporte.

Apesar de toda regulamentação, segundo a Associação Brasileira de Transplantes de Órgãos – ABTO), em 2022, 15% dos órgãos disponíveis não foram transportados por várias razões. Algumas destas razões foram relacionadas a fragilidades durante o transporte (Roza *et al.*, 2023a).

De acordo com a I Reunião de Diretrizes Básicas para Captação e Retirada de Múltiplos Órgãos e Tecidos da Organização Brasileira de Transplantes de Órgãos, problemas logísticos são responsáveis por 5% a 10% das causas de não efetivação de doação, o que pode ser evitado com o uso de tecnologias já existentes e assim garantir que mais pessoas tenham a chance de ter uma vida normal novamente (Roza *et al*., 2023b).

Além disso, a vasta extensão territorial do Brasil acrescenta uma camada adicional de complexidade ao transporte de órgãos, enfrentando desafios logísticos significativos para garantir que os órgãos cheguem em perfeitas condições para o transplante (Lacerda *et al*., 2020). Além disso, devido às longas distâncias e priorização do transporte terrestre como consequência dos custos operacionais e procedimentos aeroportuários burocráticos, há ainda mais dificuldades (Bellotti e Francoso, 2021).

No mercado atual os transportes de órgãos para transplantes são realizados por meio de caixas preenchidas com gelo (Bohn *et al*., 2016) a fim de manter o órgão na temperatura adequada para preservação de seu estado, o que eleva o peso da caixa durante seu transporte e dificulta o controle preciso da temperatura. A ANVISA determina os valores de temperatura que devem ser mantidos pela embalagem para garantir a integridade do órgão. Entretanto, a falta de uma embalagem adequada ao cenário econômico brasileiro, e a falta de monitoramento da temperatura no transporte realizado, o que ocorre na grande maioria dos casos (Gómez, 2023), são fatores de risco de perda do material transportado. Além disso não há garantia de proteção mecânica, sistema de controle de temperatura, rastreabilidade ou mesmo local adequado para os tubos de ensaio que contêm amostras de sangue do doador bem como para os documentos que são transportados. Por esses motivos, há falhas importantes para a garantia da segurança dessa etapa do processo e muitas vezes os órgãos não chegam em condições viáveis para o transplante.

Estendendo o problema para o transporte de vacinas, em muitos casos é também necessário o controle preciso de temperatura para garantir a qualidade do medicamento antes da aplicação.

A adoção de um sistema logístico eficiente, aliada à implementação de tecnologias apropriadas, em especial que permitam o controle da temperatura durante a jornada do transporte (Kurihara, *et al*., 2023) tem o potencial de não apenas otimizar as doações, mas também melhorar substancialmente a qualidade de vida dos pacientes que aguardam na vasta lista de pacientes que necessitam de transplantes.

Nesse contexto, este trabalho permite avaliar tecnologias que possam ser implementadas em embalagens para transporte de produtos de origem humana, órgãos e tecidos para transplantes, vacinas, medicamentos e outros insumos hospitalares visando permitir um transporte mais seguro, com controle de temperatura preciso e que suporte as condições de operações logísticas dos modais mais comuns, rodoviário e aéreo, mas também os menos comuns, ferroviário e fluvial. O sistema deve incluir diversos sensores para monitoramento das variáveis no sistema, monitoramento de coordenadas de GPS (*Global Positioning System*) para permitir o rastreamento durante a jornada do transporte, sistemas para monitoramento de vibrações e impactos, além da implementação de algoritmos de controle em sistemas embarcados visando garantir um controle de temperatura preciso. Em suma, o objetivo é aprimorar as embalagens para transporte de órgãos, vacinas e medicamentos visando conservar sua integridade ao longo da trajetória até o destino.

Especificamente nesse artigo são descritas as estratégias de *hardware* e *software* para monitoramento das variáveis com sensores, implementação dos circuitos eletrônicos e do sistema de controle de temperatura.

2. SENSORES E SISTEMAS ELETRÔNICOS

No desenvolvimento da embalagem autônoma inteligente, que assegure o transporte adequado desses produtos, deverá apresentar elevado nível tecnológico, adequação ergonômica e custo compatível com a realidade brasileira pela utilização de diversas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Além de tecnologias de Internet das Coisas (IoT) os dispositivos e sistemas eletrônicos empregados apresentam características inovadoras.

a) sistema de rastreamento por meio de GPS para o monitoramento remoto com relativa precisão, característica importante para a logística de transporte do órgãos, vacinas, medicamentos e insumos de saúde;

b) sistema para minimizar impactos no transporte, incluindo sensores e dispositivos instalados na estrutura da embalagem para garantir o registro e o amortecimento de choques e impactos sofridos ao longo de sua movimentação. Além de evitar danos aos produtos, será possível evidenciar algum abuso de manuseio que pode ser corrigido para melhoria futura da operação;

c) sistema de controle de temperatura para garantir um resfriamento adequado dentro da embalagem onde órgãos, vacinas, medicamentos e insumos de saúde ficarão acondicionados para o transporte. A manutenção adequada da temperatura dos produtos, ao longo do transporte, assegura a redução de perdas e garante uma melhor qualidade dos produtos na entrega.

A partir desses sistemas usando interfaces inteligentes para monitoramento de variáveis e registro de informações (Ribeiro *et al*., 2022) serão definidas estratégias associadas a funções críticas do produto e manutenção.

Foram inicialmente desenvolvidos dois produtos (Caruso *et al.,* 2017) (Mollo *et al.,* 2018) os quais foram aprimorados conforme será detalhado a seguir.

A Fig. 1 apresenta o diagrama em blocos do sistema eletrônico da embalagem proposta. Os elementos da aplicação estão definidos em níveis os quais estão associados às funcionalidades de cada um dos elementos na embalagem, a saber: nível 1 – alimentação e bateria; nível 2 – sistema de refrigeração; nível 3 – sistemas embarcados; nível 4 – sistemas de comunicação e transferência de dados; nível 5 – sensores; nível 6 – sistemas de visualização, alarmes, sinalização e controle manual de operação.

O sistema de alimentação permite a conexão em corrente alternada durante o processo de preparação da embalagem antes do início da jornada de transporte, ou durante manutenção e testes do equipamento. Para isso o sistema será conectado em alimentação alternada visando alimentar todos os sistemas e carregar as baterias. O sistema inclui baterias de Li-Íon, regulador de tensão *buck-boost* e *battery management system* (BMS).

O sistema de refrigeração é constituído de um compressor comercial que já inclui sensores de temperatura e pressão embarcados.

Os sistemas embarcados englobam dois sistemas microcontrolados a saber sistema com placa controladora IoT e sistema com placa secundária.

A placa controladora IoT baseia-se na utilização de microcontrolador PIC e solução completa com diversos circuitos eletrônicos, sensores e dispositivos já integrados. Nesta placa deverá ser conectado módulo GSM que permitirá transmitir os dados utilizando rede de telefonia celular permitindo que as informações possam ser recebidas à distância no sistema de monitoramento na nuvem. É nesse sistema que estará inserido algoritmo de controle PID (Proporcional, Integral, Derivativo) para permitir controlar a temperatura do sistema nos patamares adequados dependente do órgão ou material que estiver sendo transportado. Por isso, o sistema precisará receber *inputs* do sistema de configuração além de comunicar-se com *displays* para demonstrar visualmente variáveis de interesse. Adicionalmente esse sistema engloba sistema de comunicação com Wi-Fi, *bluetooth* e módulos GSM visando transferir dados coletados do sistema completo, incluindo registros de temperatura em diversos pontos da embalagem e do sistema de resfriamento, coordenadas de localização obtidas por GPS visando o rastreamento, informações sobre o nível das baterias, etc. O diagrama de conexões dos dispositivos que estarão conectados na placa principal está apresentado na Fig. 2. O sistema de comunicação com placa microcontrolada ESP32 é mostrado na Fig. 3.

A placa secundária a ser utilizada é um ESP32 com suporte para bateria Li-íon 18650 de 3,7 V que junta a versatilidade, potência de processamento e baixo consumo dos ESP32 com o fornecimento de energia, inclusive com o sistema de carregamento integrado. Esta placa estará conectada em dispositivos para armazenamento de dados local usando memórias SD Card. Por meio desses dispositivos será possível armazenar *logs* de dados capturados ao longo de uma jornada de transplante de órgãos sendo inicializada a partir do início da jornada, comandada pelo operador. Esse sistema (Fig. 4) permitirá o monitoramento da temperatura interna e no sistema de resfriamento proporcionando uma redundância ao sistema caso ocorra pane no sistema principal.

Os sensores monitorados na placa principal permitem medir as seguintes variáveis: sensor de temperatura na câmera interna, temperatura na câmara externa em dois níveis, pressão na sucção do compressor, pressão na descarga do compressor, corrente elétrica do compressor medida por resistor *shunt*, tensões de entrada CA e CC medidas por divisor resistivo, indicação de tampa aberta na casa de máquinas medida por *micro-switch*, indicação de tampa aberta na câmara para transporte de órgãos e materiais médicos, medida por *reed-switch*, coordenadas de módulos GPS (módulo A9G GPRS GSM), sinais de sensor inercial em três eixos (acelerômetro e giroscópio) com indicação de impacto e indicação de posição vertical (módulo mpu6050), tensão nos *packs* de baterias principal e secundário e temperatura no *pack* de baterias principal.

Finalmente, o sistema de visualização, alarmes, sinalização e controle manual de operação engloba display O-LED, LEDs para sinalização dos modos de operação, *buzzer* para sinalização de situação de emergência, botões para seleção de modo de operação e QR *code* para identificação do produto.

3. SISTEMA DE CONTROLE DE TEMPERATURA

3.1 Refrigeração

Refrigeração é o processo em que se reduz a temperatura de um determinado espaço e mantém-se essa temperatura baixa com um fim específico, no caso o processo de refrigeração de embalagem para transporte de órgãos, medicamentos e insumos.

O sistema pode ser como um sistema hipotético de controle de temperatura ilustrado na Figura 5 (Assis e Coelho, 2023).

$$\mathrm{RC}\frac{\mathrm{d}\theta_o}{\mathrm{dt}} + \theta_0 = R\mathrm{h} + \theta_i, \tag{1}$$

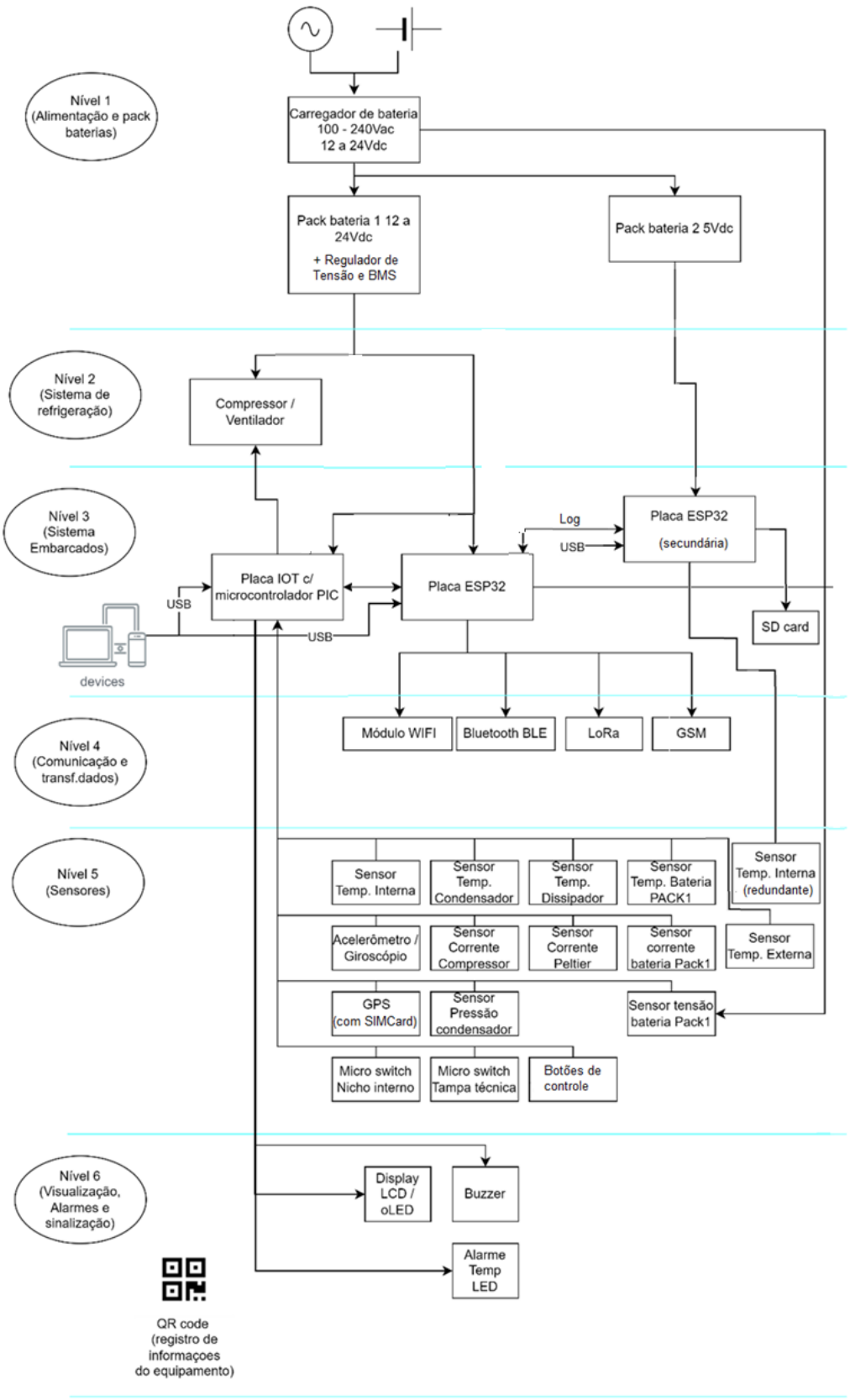

Fig. 1 Diagrama de Blocos da Arquitetura do Sistema

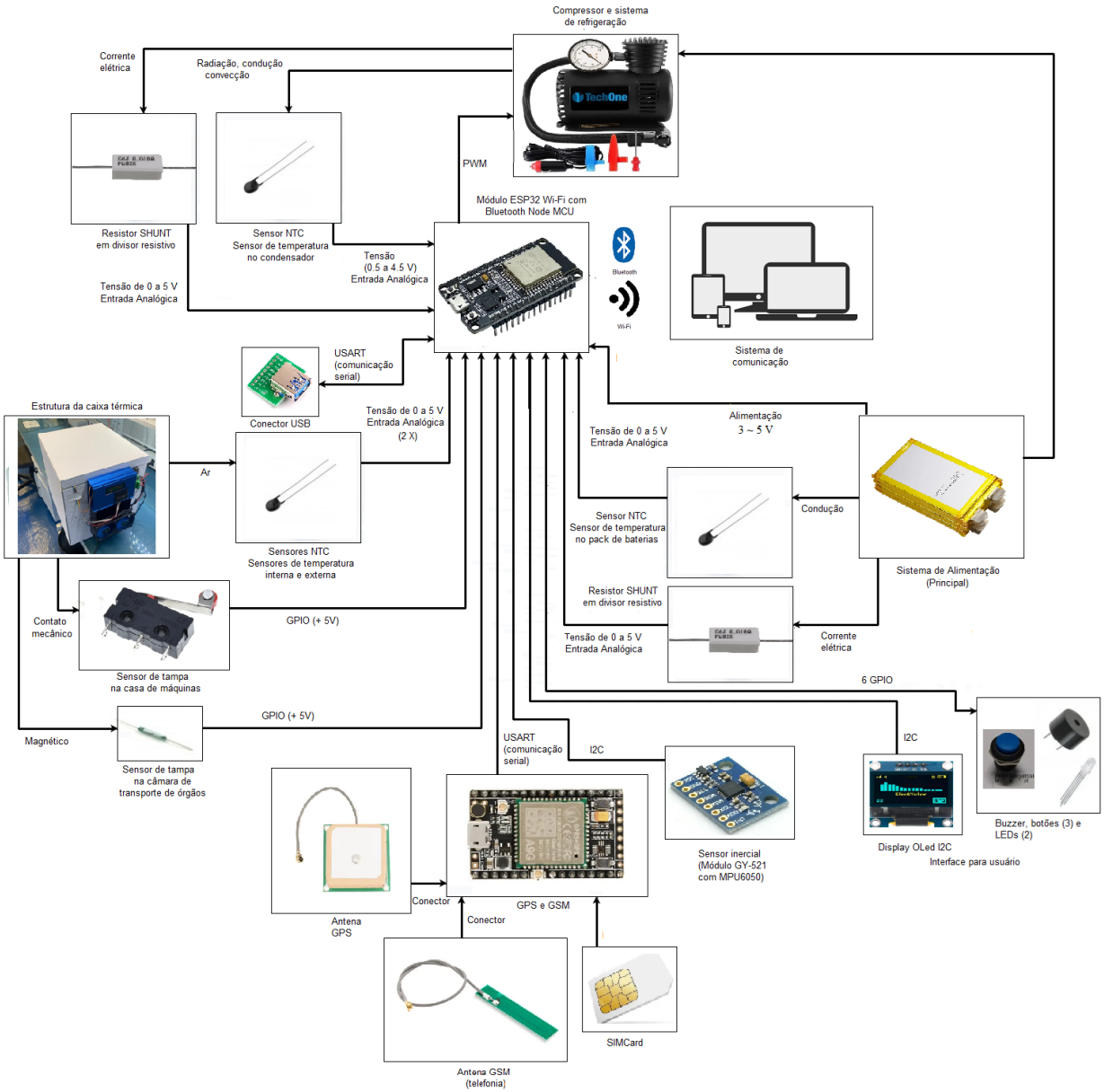

Fig. 2 Diagrama de Conexões do Sistema Eletrônico Embarcado Principal

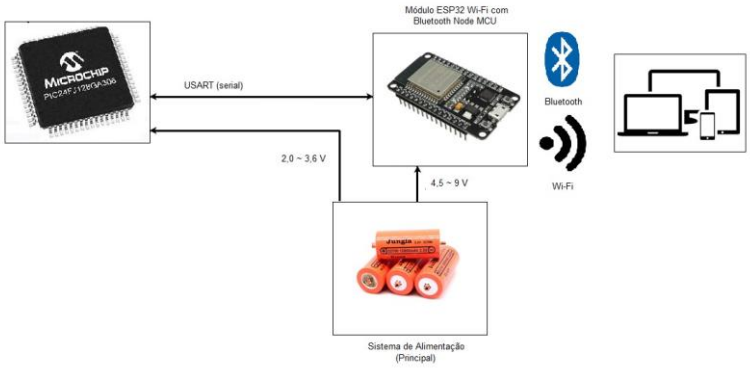

Fig. 3 Diagrama de Conexões do Sistema de Comunicação

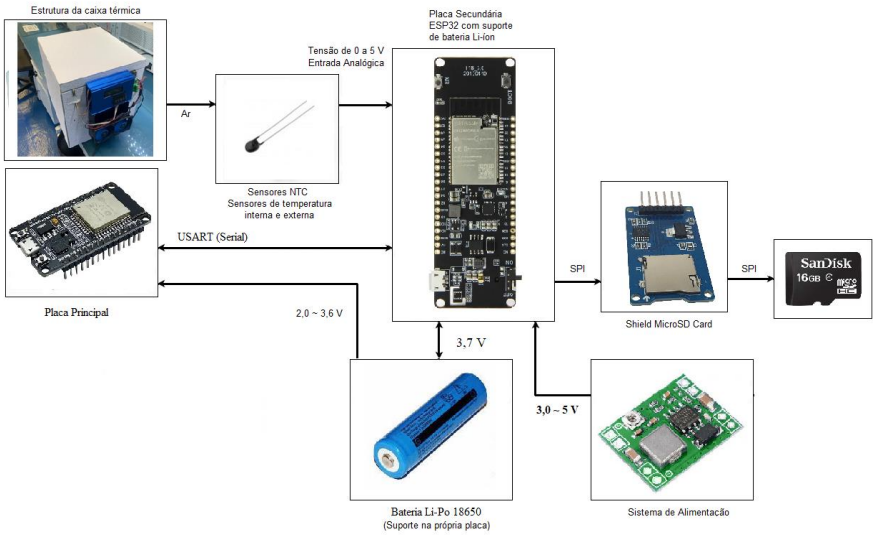

Fig. 4 Diagrama de Conexões do Sistema Eletrônico Embarcado Secundário

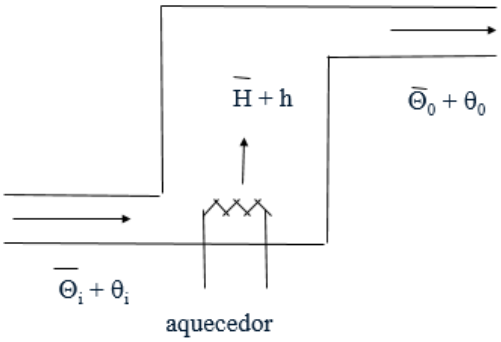

Fig. 5 Representação de um Sistema Térmico Genérico

Aplicando a Transformada de Laplace obtemos:

$$\Theta_0(s) = \frac{R}{RCs+1} H(s) + \frac{1}{RCs+1} \Theta_i(s) \qquad (2)$$

Considerando que a variação da temperatura do ar externo é uma perturbação $\theta_i = 0$, desprezando a dinâmica do sensor de temperatura e assumindo que a tensão produzida por este sensor $V_0(s)$ é proporcional à temperatura, ou seja, $V_0(s) = K_0\theta_0$ (s), e assumindo que o aquecimento é proporcional à tensão de saída produzida pelo sistema de aquisição de dados (usando microcontrolador, por exemplo), ou seja, $H(s) = K_i V_i(s)$, temos:

$$V_0(s) = \frac{K_0 K_i R}{RCs+1} V_i(s) = \frac{K_S}{T_S s+1} V_i(s) \qquad (3)$$

onde $K_S = K_0 K_i R$ é o ganho estático do sistema e $T_S = RC$ é a constante de tempo do sistema, sendo V_i (s) e $V_0(s)$ respectivamente as tensões de entrada e saída do sistema. Portanto, considerando essas aproximações, o sistema pode ser modelado como um sistema de primeira ordem.

Observe que o sistema pode ter sistema de aquecimento e resfriamento acionados separadamente, respectivamente para sinais de controle positivo e negativo $V_i(s)$.

Assim, pensando numa aplicação em sistema de refrigeração, a componente de controle H(s) sempre irá proporcionar redução na temperatura, o que faz com que $H(s) = - K_i V_i(s)$, o que resulta numa função de transferência modificada para o sistema dada por:

$$V_0(s) = \frac{-K_0 K_i R}{RCs+1} V_i(s) = \frac{-K_S}{T_S s+1} V_i(s) \qquad (4)$$

3.2 Controle PID

O controle da temperatura do sistema (4) pode ser realizado usando o algoritmo de controle PID dado por:

$$G_C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_P\left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_d s\right) \qquad (5)$$

onde U(s) é o sinal de controle, E(s) é o erro medido no sistema e os parâmetros K_P, T_I e T_d são ajustados para produzir um desempenho adequado, tipicamente eliminando o erro estacionário e assegurando resposta relativamente rápida e sem oscilação. Na sintonia do controle PID vários métodos podem ser adotados, tais como método de Ziegler-Nichols, método do Cancelamento de Polos, dentre outros (Lima *et al.*, 2010) (Astrom e Hagglund, 1995).

Para a implementação do algoritmo de controle em sistemas embarcados várias estratégias também podem ser adotadas, tais como o método posicional da equação (6) onde o sinal de controle é calculado em cada intervalo de tempo t_k.

$$u(t_k) = \left(K_P e(t_k) + \frac{T}{T_I}\left(e(t_k) + \sum_{i=1}^{\infty} e(t_{k-1})\right) + T_d\left(\frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{T}\right)\right) \qquad (6)$$

4. RESULTADOS

Para implementar a embalagem autônoma para transplante de órgãos foi realizado um estudo detalhado visando desenvolver a estrutura fazendo uso de softwares para modelagem mecânica visando obter uma solução ergonômica, robusta, com uma adequada distribuição dos elementos e funcionalidades do sistema e com uma preocupação com o *design* do produto.

O projeto da estrutura desenvolvido utilizando o software SolidWorks está apresentado na Fig. 6. O produto fabricado está apresentado na Fig. 7. A placa eletrônica desenvolvida está apresentada na Fig. 8.

O controle do sistema de controle da embalagem foi implementado em algoritmo embarcado na placa ESP32, a qual pode ser inserida na placa da Fig. 8. Para implementar o controle o sistema realiza aquisição de dados em frequência de 5 Hz. Os dados coletados são armazenados em bancos de dados e monitorados em interface acessível remotamente, onde as amostras são armazenadas em intervalos de tempo de 1 min para posterior visualização e análise de funcionamento.

O ajuste da temperatura na câmera principal é obtido pelo acionamento do compressor de velocidade variável, o qual utiliza um motor com velocidade controlada. O equipamento inclui um *driver* para acionamento o qual pode ser controlado por sinal PWM produzido pela placa microcontrolada de forma a controlar a velocidade em rpm do motor.

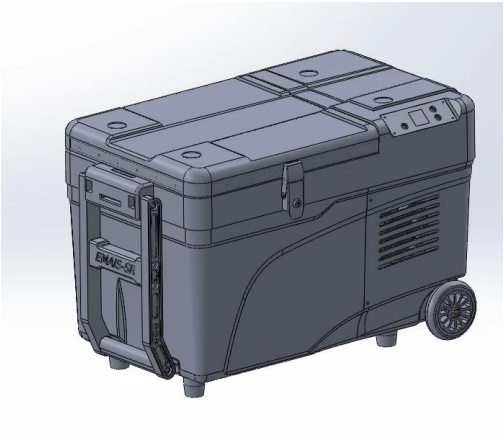

Fig. 6 Projeto Estrutural da Embalagem.

Fig. 7 Fotografia da Embalagem Fabricada.

Fig. 8 Placa Principal do Projeto Eletrônico.

A Fig. 9 mostra o resultado do controle PID implementado na caixa para transporte de órgãos para transplante. Na implementação foi utilizado o algoritmo de controle discreto apresentado em Conceição et al. (2020) o qual implementa um controlador discreto similar ao apresentado em (6) mas adaptado para sistemas com saturação bem como implementando o método de Tustin, conforme proposto em Astrom e Hagglund (1995). Os parâmetros adotados no controle foram: tempo de amostragem T = 0.2 s, constante do filtro N = 1 (fator de atenuação) e os parâmetros do controle PID foram $K_P = 30$, $T_I = 6$ s e $T_d = 2$ s.

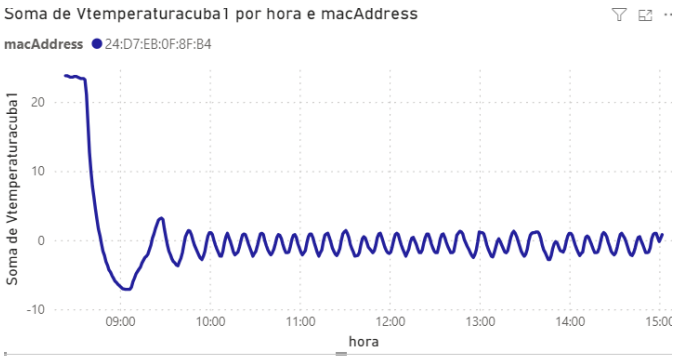

Fig. 9 Implementação do Sistema de Controle PID Discreto de Temperatura no Sistema de Refrigeração da Embalagem pelo Método de Tustin

O resultado foi obtido experimentalmente em um ensaio em hospital, reproduzindo condições similares em procedimentos cirúrgicos para transplante de órgãos, como mostrado na Fig. 10. Observa-se que o resultado apresenta considerável oscilação da temperatura e um considerável tempo para estabilizar (próximo de 1 hora, ou seja, 3600 segundos), mas apresenta estabilização na temperatura ajustada no Set Point.

As estratégias adotadas na modelagem do sistema, sintonia do controlador PID e implementação do controle embarcado serão detalhadas em trabalho posterior, o qual apresentará o enfoque no controle da temperatura da embalagem para transporte de órgãos para transplante.

Os resultados do controle estão sendo aprimorados. De qualquer forma, a proposta é totalmente inovadora já que não existem soluções disponíveis comercialmente que permitam o controle da temperatura durante a jornada de transplante de órgão.

Fig. 10 Procedimento Cirúrgico para Retirada de órgão Visando Avaliação do Produto Desenvolvido em Ambiente Relevante.

4. CONCLUSÕES

A embalagem para transporte de órgãos para transplante foi desenvolvida com sucesso resultando em um produto inovador, incorporando diversas tecnologias tais como: sensores e instrumentação, sistema de controle de temperatura em malha fechada com sistema de refrigeração, interface para acesso remoto aplicando conceitos de Internet das Coisas, sistemas para amortecimento de impacto, entre outras funcionalidades não descritas neste trabalho.

O controle de temperatura funcionou adequadamente, embora outros métodos de sintonia possam ser implementados para permitir minimizar as oscilações e produzir redução no tempo de estabilização.

Resultados práticos foram obtidos em ambiente relevante, durante procedimento cirúrgico em hospital simulando o transporte de órgão de animal o funcionamento dos sistemas eletrônicos e diversas tecnologias implementadas foram avaliadas produzindo resultado como esperado.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao FINEP pela disponibilização de recursos para a realização do projeto, à empresa São Rafael Câmeras Frigoríficas, responsável pela fabricação da embalagem e a toda equipe de pesquisadores do SAFE-Tx (https://osf.io/s3mp7).

REFERÊNCIAS

ABTO (2020) *Registro Brasileiro de Transplantes. Ano XXVI N° 2.* Associação Brasileira de Transplante de Órgãos. https://site.abto.org.br/wp-content/uploads/2020/08/rbt-1sem-final-leitura.pdf.

Assis, W. O., Coelho, A. D.(2023) Use of Educational Tool for Modeling Temperature Control Systems as Remote Teaching and Learning Strategy in Engineering. International Journal of Applied Mathematics,v.53,p.1-11

Astrom, K. J., Hagglund, T. (1995) PID Controllers: Theory, Design and Tuning. Editora ISA.

Bellotti, H. B., Francoso, M. T. (2021) System for Transporting Human Organs. Cases Studies on Transport Policy. Volume 9, Issue 2, Pages 431-442.

Bohn, L. E., Haag, M. B., Mombach, A. B. (2016). Módulo Eletrônico para Transporte de Órgãos em Estado Hipotérmico. Revista Liberato.

Caruso, A. C. S. R. E., Quintero, G. M.; Terilli, P.; Passos, R. P. (2017) Desenvolvimento de uma Embalagem para Transporte de Órgãos. Trabalho de Graduação na Escola de Engenharia Mauá.

Conceição, F. C., Becccaro, W., Justo, J. F. (2020) Ensinando Métodos de Discretização para Projeto de Sistemas de Controle: Comparação de Controladores PID em Sistemas Embarcados. Journal of Applied Instrumentation and Control, 7.2, p. 8-16.

Garcia, C. D., Garcia, V. D., Pereira, J. D. *Manual de Doação e Transplantes. Informações Práticas sobre Todas as Etapas do Processo de Doação de Órgãos e Transplante.* Porto Alegre.

Gómez, K. M., Camacaro, F. T., Vargas, D. S., Alcázar, J. V., Rubio, A., Fuenzalida, F. G. How are Organs Transported for Transplantation in Chile? An Exploratory Study. Transplantation Proceedings, v. 55, n. 1, p. 49 – 52. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0041134522007849?via%3Dihub

Kurihara, K., Ito, T., Ainda, N., Kenmochi, T., Kusaka, M., Egawa, H.. (2023) Na Examination of Packing Methods for Grafts to Prevent Freezing Injury During Transportation for Liver Transplatation. Journal of Clinical Medicine, 12(14), p. 4703. https://doi.org/10.3390/jcm12144703.

Lacerda, L.; Genaro, M. R. C.; Zioli, E. G. DE O. (2020) A Logística do Transporte de Órgãos para Transplante no Brasil. Revista NEADS, v. 1, n. 1.

Lima, F. R. G., Assis, W. O., Coelho, A. D. (2010) Comparative Analysis of Control Strategies Applied on Speed Control of Servomotor Using PID and Fuzzy Controllers. ABCM Symposium Series in Mechatronics. Rio de Janeiro: ABCM – Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, v. 4, p. 100-109.

Mollo, N. M.; Prata, T. B.; Sonohara, D., M.; Souza, L. P. (2018) Melhorias e Procedimentos para Validação de uma Embalagem Desenvolvida para Transporte de Órgãos Aplicando Tecnologias Habilitadora para a Indústria 4.0. Trabalho de Graduação na Escola de Engenharia Mauá.

Ribeiro, C. T. T., Assis, W. O., Coelho, A. D. (2023) Criação de uma Interface para Aplicação de IoT – Um Estudo de Caso para Embalagens Autônomas para Transporte de Órgãos. Anais do 15. Seminário Mauá de Iniciação Científica.

Roza, B. A., Paim, S. M. S.,; Leite, R., Carbonel, A. F., Taha, M. O., David, A. I., Soares Junior, J. M., Simões, M. J., Schirmeri, J. (2023a). Safe Transport of Organs and Tissues for Transplants: Technological Innovation Product Validation Method. Revista da Associação Médica Brasileira, 69 (6). https://doi.org/10.1590/1806-9282.20221537

Roza, B. A.; Schirmer, J.; Paim, S. M. S.; Leite, R. F.; Tricarico, L.; Silva, S. F.; Bezerra, R. P.; Cabral, A. C. D.; Costa, A. N. R.; Sandri, M. J.; Nolêtto, A. P. R.; Ito, D.; ST SAFE-TX TEAM (2023b) Proposta de Inovação Tecnológica para Transporte de Órgãos e Tecidos para Transplante. Congresso Brasileiro de Transplantes (ABTO), Florianópolis.