



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

APLICAÇÕES DA AUTOMAÇÃO PARA O MONITORAMENTO INTELIGENTE DE UMA CAIXA TÉRMICA PORTÁTIL NO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS

PAPER 34

RESUMO

Neste trabalho, tratam-se das aplicações da automação em uma caixa térmica para transporte de órgãos que serão transplantados e supervisionados remotamente e três variáveis serão cruciais para uma logística bem-sucedida: a localização da câmara, que será supervisionada via global positioning system (GPS) de um aparelho móvel; a temperatura, que remeterá a temperaturas adequadas para preservação do órgão a ser transplantado; e a variável da trava que garante que o órgão se mantenha dentro da câmara, evitando problemas irreversíveis. A união dos conceitos de automação nas partes de sensoriamento com a saúde, no quesito de preservação e logística no transporte de órgãos, que tem como finalidade desenvolver uma locomoção segura independente do modal, que é o ponto de equilíbrio do projeto. Os principais resultados foram a utilização do GPS via aparelho móvel, a conexão do módulo ESP8266, a medição de temperatura via sensor LM35 e a comunicação industrial usando o protocolo Message Queue Telemetry Transport (MQTT).

Palavras-chave: Órgão humano. Câmara térmica. Transporte.

ABSTRACT

This study is about the application of automation in a chamber for transporting organs that will be transplanted, which will be monitored remotely and three variables will be crucial for successful logistics: the location of the chamber, which will be supervised via global positioning system (GPS) from a mobile device; the temperature, which will refer to the appropriate temperatures for preserving the organ to be transplanted and the lock variable that ensures that the organ remains inside the chamber, avoiding irreversible problems. The junction of automation concepts in the areas of sensing with the health, in terms of organ preservation in the transport logistic, which aims to develop safe locomotion regardless of the modal, is the balance point of the project. The main results were the utilization of a GPS mobile unit via the connection module, ESP8266 temperature measurement via sensor LM35 and industrial communication using the protocol Message Queue Telemetry Transport (MQTT).

Keywords: Human organ. Thermal chamber. Transportation.

1 INTRODUÇÃO

O processo de transplante consiste em substituir um órgão ou tecido de um paciente por um órgão ou tecido saudável de um doador (BRASIL, ca. 2020). Os doadores são separados em dois grupos: o doador vivo, que pode doar apenas parte do fígado, parte do pulmão, parte da medula óssea ou um dos rins, e, por lei, deve ser parente de até quarto grau ou cônjuge do receptor ou, ainda, não parentes com autorização judicial; e o doador falecido, que é diagnosticado com morte encefálica, tendo como exemplo pessoas que sofreram traumatismo craniano ou acidente vascular cerebral (BRASIL, ca. 2020).

Um dos obstáculos existentes para o sucesso de um transplante refere-se ao armazenamento e transporte dos órgãos. Se inadequados, os órgãos sofrem danos que impedem sua utilização. No Brasil, embora exista um programa consolidado de transplante de órgãos, o número de doadores é bastante reduzido em relação ao número de pacientes ativos em lista de espera. Entre janeiro e março de 2020, havia 2.730 potenciais doadores para um total de 37.818 pessoas cadastradas para receber uma doação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS, 2020).

O transplante de órgãos depende de uma série de fatores para ser bem-sucedido. Um dos problemas existentes na realização de transplantes condiz às condições de armazenamento de órgãos, sobretudo ao seu transporte. Segundo as diretrizes fornecidas pela ABTO no livro “Diretrizes básicas para captação e retirada de múltiplos órgãos e tecidos da Associação Brasileira de Transplante de Órgãos”, 5 % a 10 % das não efetivações são causadas por problemas logísticos (PEREIRA, FERNANDES, SOLER; 2009, p. 21).

No mesmo livro, é apresentado que o armazenamento dos órgãos é feito a 4 °C, tendo como única exceção os pulmões, que são armazenados a 10 °C, e colocados em recipientes térmicos com gelo ou geladeiras térmicas, dependendo do órgão (PEREIRA, FERNANDES, SOLER; 2009, p. 51), mostrando que devem ser conservados em temperatura fria acima de congelamento para serem preservados.

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é aplicar as teorias da automação em um protótipo de caixa térmica portátil capaz do monitoramento inteligente do transporte de órgãos destinados a transplante. Para tal, seguem os objetivos específicos:

- Descrever as condições de armazenamento adequadas para órgãos para transplante;

- Definir os sensores a partir do custo-benefício para o monitoramento das variáveis de temperatura, posição e abre-fecha tampa;
- Planejar um aplicativo com um banco de dados interno para o registro das variáveis durante o transporte; e
- Descrever como implantar os sensores no protótipo da caixa térmica, integrando-os no monitoramento pelo aplicativo.

Este trabalho justifica-se pela contribuição no acondicionamento e transporte de órgãos humanos¹ em condições ideais de armazenamento, tudo para favorecer uma logística adequada à salvação de vidas. Neste contexto, o grande gargalo deste estudo é a logística monitorada e integrada aos agentes de saúde, que estão envolvidos nas etapas de transplante de órgãos.

2 METODOLOGIA

As aplicações da automação e da refrigeração em uma caixa térmica portátil (com área útil de 15 cm largura, 23 cm comprimento e 25 cm de altura) para o transporte de órgãos humanos que serão transplantados, foram empregadas para o monitoramento inteligente e remoto a partir de três variáveis supervisionadas (temperatura, posição e abre-fecha tampa).

Para tal, a tecnologia da automação foi empregada para a seleção de sensores aplicados à área da saúde, no quesito de preservação e logística no transporte de órgãos e de custo homem-hora de programação e equipamentos associados, que busca uma locomoção segura independente do modal. Neste sentido, foram escolhidos os materiais e métodos.

2.1 Materiais e Métodos

Os componentes físicos utilizados na confecção do protótipo foram:

- Recipiente de Isopor;
- Sensores de temperatura (LM35);
- Telefone Móvel com o módulo de global positioning system (GPS);
- Arduino Uno e fonte de alimentação com cabo USB e cabos conectores macho-macho;
- Notebook para programação Dell Inspiron Windows 7 Home Basic com processador Intel Core i5 segunda geração, 64 bits;

¹ Refere-se ao transporte de órgãos humanos para transplante: fígado, coração, pulmão, rim, fígado, pâncreas e intestino. Estão fora deste escopo o transporte de córneas, demais tecidos, vasos sanguíneos, medicamentos e vacinas.

- Módulo breadboard protoboard para conexões eletrônicas;
- Resistor de 330 Ω e 1 k Ω ; e
- Módulo ESP8266.

Observação: os equipamentos utilizados na confecção do protótipo são: alicate (universal, bico meia cana); estilete; silicone de vedação; e multímetro.

No contexto dos componentes lógicos, descrevem-se os *softwares* e aplicativos que foram utilizados para o desenvolvimento do aplicativo e das demais configurações do protótipo:

- Site *MIT App Inventor* para programação em bloco;
- Google Drive para armazenamento de aplicativos;
- Protocolo de comunicação industrial *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) - internet das coisas industriais (IIoT);
- *Node-Rapid Event Developer* (Node-RED); e
- *Arduino Integrated Development Environment* (Arduino IDE).

2.2 Procedimento

A partir da execução deste procedimento, será possível a medição da temperatura centro da câmara que condiciona o órgão, a indicação do posicionamento ao longo do transporte, a realização dos testes de funcionamento do sensor de contato (variável abre-fecha tampa) e a conexão do sistema a um banco de dados em nuvem, incluindo o registro do tempo. Neste contexto, seguem-se os itens de 2.2.1 a 2.2.4.

2.2.1 Transporte e Monitoramento Inteligente de Órgãos Humanos

O corpo humano saudável necessita que o sistema fisiológico esteja normal, com os nutrientes em quantidade adequada e o funcionamento correto de seus órgãos. Porém, nem sempre os órgãos estão funcionando corretamente; às vezes, eles podem ser recuperados se tratados de maneira satisfatória, mas em último caso, os órgãos não se recuperam e o transplante é a solução.

2.2.2 Conexão dos Componentes Físicos da Caixa Térmica Portátil

O protótipo da câmara foi desenvolvido a partir de um recipiente de isopor, com uma tampa. Junto com isso, haverá maneiras de conectar alguns componentes como os sensores de trava e temperatura e o celular com o GPS junto à câmara.

A utilização do GPS via aparelho reutilizado de telefone móvel juntamente com a conexão do módulo ESP8266 (microcontrolador versátil que utiliza componentes eletrônicos integrados) e da medição de temperatura via sensor LM35 / da aquisição do sinal de abre-fecha (trava).

Apresenta os componentes e a caixa para efeitos de teste, uma montagem completa teria uma placa desenvolvida ao invés de uma placa *breadboard*, uma separação interna de duas câmaras, que separa o circuito do órgão e fixa os componentes na caixa.

2.2.3 Componentes lógicos

A comunicação industrial, realizada a partir do protocolo *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) e programada com a linguagem Node.js a partir dos fluxos e conexões de nós no Node-RED (não mostrados).

A inteligência artificial sob as três variáveis supracitadas, garantindo a infraestrutura de backend (servidor Node.js) e a análise preditiva a partir de uma *machine learning* NODE-RED (2018) para um trajeto mais adequado para o transporte do órgão diante as variáveis de tempo versus a temperatura, sempre quaisquer violações da trava (sempre fechada ao longo do deslocamento).

A interface homem-máquina (IHM), é uma aplicação de *frontend* (acesso do usuário) desenvolvida a partir do App Inventor e instalada em um telefone móvel reutilizado. O aplicativo tem integração com a linguagem PHP e com a infraestrutura Node-RED / Node.js.

O Node-RED também é utilizado para a conexão de APIs e desenvolvimento dos fluxos de nós para a implementação de uma interface dashboard de supervisão, monitorando todo o trajeto ao longo do transporte do órgão a ser transplantado.

2.2.4 Programação

O aplicativo da IHM, desenvolvido a partir do App Inventor do Massachusetts Institute of Technology (MIT), baseado em projetos que podem conectar SQL e App Inventor, inclusive com códigos em linguagens de bloco e PHP.

O App Inventor é uma ferramenta de uso gratuito, todos os recursos são gratuitos. Entretanto para começar a desenvolver os projetos é preciso logar com uma conta do Google.

A programação do Arduino, realizá-la a partir de um softwares livres, como a plataforma *Arduino Integrated Development Environment* (Arduino IDE).

Desta forma, evitam-se burocracias como de licenças, e implementa-se a interoperabilidade entre as diversas plataformas operacionais sejam Android, GNU/Linux ou Windows.

3 EXPERIMENTAL

O protótipo foi desenvolvido a partir de quatro variáveis: a temperatura e pressão interna (preservação fisiológica dos órgãos e menor que a pressão atmosférica a 19 °C), a posição por GPS (localização da caixa térmica portátil), a trava de caixa aberta ou fechada (evitar contaminações entre outras adversidades), e o tempo² que a caixa foi fechada.

O protótipo conta com uma IHM desenvolvida pelo App Inventor e instalada em um celular. Na IHM, existem quatro botões que redirecionam o usuário à subtela de interesse. O botão de trava mostra se a caixa térmica está aberta ou fechada, o botão de temperatura mostra os dados de temperatura interna da caixa térmica, o botão de localização direciona o usuário para a visualização da rota geográfica percorrida pela câmara e o botão de sair encerra o aplicativo. Esses botões estão presentes na tela principal do menu do aplicativo (Figura 1).

Figura 1 – Código em blocos do Menu Inicial desenvolvido pelo App Inventor.



Fonte: autoria própria (2020).

Para cor de fundo, foi selecionada a cor *light gray*. Em seguida, todos os botões foram colocados um abaixo do outro. Os três primeiros botões,

² O tempo é uma variável crítica, pois o tempo de isquemia fria depende do tipo de órgão; portanto, deixa de ser funcional se o tempo limite for ultrapassado.

referentes às funcionalidades do aplicativo (“TRAVA”, “TEMPERATURA” e “LOCALIZAÇÃO”), tiveram suas pontas arredondadas e cor branca. O botão de “SAIR” foi destacado com a cor vermelha, com os vértices originais mantidos. Os quatro botões precisam ter fonte em negrito para deixar o texto mais destacado.

Para sair de cada tela e regressar à tela principal, é só usar o botão voltar disponível no aparelho Android. Não houve programação de tecla dedicada para retornar à tela principal.

Os testes complementares foram realizados para a verificação do acionamento de telas conforme as requisições (aplicação responsiva). A função “SAIR” do aplicativo foi testada e de fato saiu rapidamente do app, sem travar.

Na subtela de localização que se refere ao sensor GPS do celular que mostrará a localização da câmara, baseada no meridiano de Greenwich (Longitude) e Linha do Equador (Latitude), ver a Figura 2.

Figura 2 – Tela do GPS.



Fonte: autoria própria (2020).

As informações mostradas na tela de localização são alimentadas pelo sensor GPS pré-existente em cada aparelho celular para indicação de localização. As coordenadas de latitude e longitude aparecem, e são atualizadas a cada 10 segundos e um alerta fixo só funciona se o sensor de GPS do aparelho estiver habilitado.

A tela de GPS/Localização foi desenvolvida com 10 Labels. No contexto, são caixas de texto que ganharão funcionalidades que vão mostrar diversas variáveis de localização. Essas labels são:

- latitude_atual (que vai indicar que o label seguinte vai ser atualizado);
- latitude_label (que representará a latitude);
- longitude_atual (que vai indicar que o label seguinte será atualizado);
- longitude_label (que representará a longitude);
- accuracynow_label (precisão instantânea);
- accuracy_label (última precisão do GPS);
- meters_label (onde mostrará a precisão em metros do GPS);
- data_header_cabeçalho e dataLabel para alerta (um aviso sobre o GPS do celular estar ligado antes do aplicativo ser aberto);
- clock1, tempo de atualização e precisão do GPS, latitude e longitude.

No submenu de *layout*, são necessários 2 vertical arrangement, para inserir o latitude_label e o longitude_label, que vão ser atualizados gradativamente pelo clock1; e 1 horizontal arrangement para unir de maneira organizada os labels accuracynow_label, accuracy_label e meters_label. Por fim, o LocationSensor1 é o sensor automático de localização, que vai ser crucial na lógica e funcionamento desta etapa do aplicativo.

A Figura 3 apresenta a programação em bloco realizada para a medição de temperatura por meio do sensor LM35 conectado à ESP8266.

Figura 3 – Programação do sensor de temperatura.

```
when Button1 .Click
do
  set Web1 .Uri to "http://192.168.4.1"
  call Web1 .Get

initialize global temperatura to create empty list

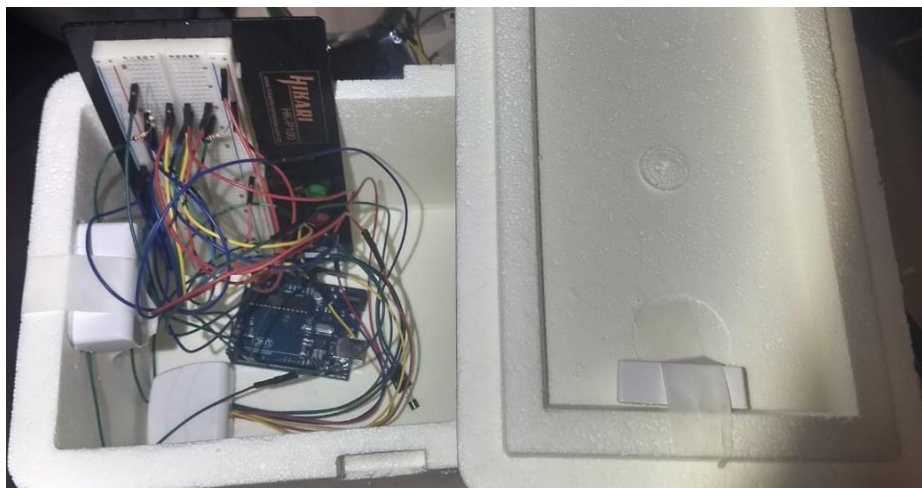
when Web1 .GotText
  url responseCode responseType responseContent
do
  set Label1 .Text to get responseContent
  set global temperatura to list from csv table text get responseContent
  set Label2 .Text to get responseContent
```

Fonte: autoria própria (2020).

O protótipo foi construído a partir de um recipiente de isopor, que permite a confecção da câmara útil para o acondicionamento do órgão. Um sistema

de sensores e módulos de Arduino é responsável por monitorar as variáveis de temperatura, e do sinal de contato (caixa fechada ou aberta), conforme demonstra a Figura 4.

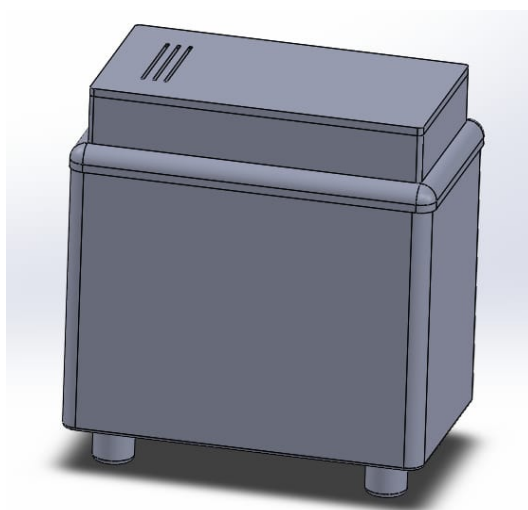
Figura 4 – Circuito interno isolado do acondicionamento dos órgãos.



Fonte: autoria própria (2020).

Ademais, o Arduino foi conectado a um telefone celular por meio do aplicativo desenvolvido, funcionando com a IHM e transmitindo o sinal de GPS para a referência de posicionamento da câmara. Na sequência, a Figura 5 mostra a modelagem final da caixa térmica portátil.

Figura 5 – Modelagem final da caixa térmica portátil (vista exterior).



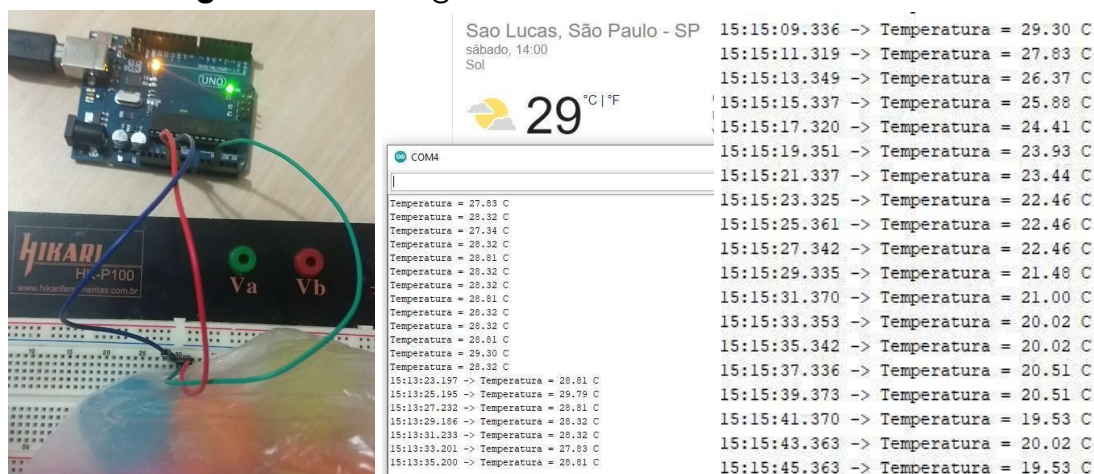
Fonte: Ferraz e Silva (2023).

O protótipo quanto à caixa térmica portátil em vista exterior que implanta uma segurança intrínseca à prova de impacto, garantindo a vedação e acondicionamento adequado do órgão humano a ser transportado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teste do sensor LM35 foi realizado para a verificação do funcionamento do protótipo à temperatura interna da caixa térmica. O primeiro teste foi realizado em temperatura ambiente (caixa aberta). Também, foi realizado um segundo teste com a aproximação de gelo ao sensor (caixa fechada), que apresentou uma queda na medição da temperatura, demonstrando o funcionamento esperado (Figura 6).

Figura 6 – Montagem do circuito elétrico e testes.



Fonte: autoria própria (2020).

O protótipo planejado se apresentou efetivo para a medição da temperatura e para o cálculo da pressão (sistema isométrico ideal). Também foi confirmado os testes de funcionamento do sensor para a variável abre-fecha tampa e indicação do posicionamento GPS, inclusive a conexão do sistema a um banco de dados em nuvem Google para o armazenamento dos valores das variáveis (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores das variáveis monitoradas.

Variável	Interna	Externa
Temperatura	<19 °C	> 25 °C
Pressão	> 7,07 10 ⁵ N/m ²	~1,0110 ⁵ N/m ²
Trava	fechada	
GPS	-23.5274240, -46.6616320	
Tempo	> 4 horas	

Fonte: autoria própria (2023).

O protótipo permitiu a obtenção de resultados quanto à utilização do GPS via aparelho móvel (simulando um trajeto de 4 h na região do bairro de São Lucas da cidade de São Paulo, gráfico não mostrado devido à proteção da

propriedade intelectual), à conexão do módulo ESP8266 (microcontrolador versátil e inteligente que utiliza componentes eletrônicos integrados no contexto da tecnologia de microeletrônica), à medição de temperatura via sensor LM35 e à aquisição do sinal de abre-fecha (trava).

Consequente, os dados foram publicados a partir do protocolo de comunicação industrial Message Queue Telemetry Transport (MQTT) que foi programado com Node.js (fluxos e conexões de nós), implantando uma inteligência artificial sob as três variáveis supracitadas e garantindo a infraestrutura de backend (servidor) e de frontend (acesso do cliente por meio de um aplicativo instalado em um telefone móvel).

Por fim, o Node-RED foi utilizado para a conexão de APIs e desenvolvimento dos fluxos de nós (não mostrados) para a implementação de uma interface *dashboard* de supervisão, monitorando todo o trajeto ao longo do transporte do órgão a ser transplantado.

5 CONCLUSÕES

O protótipo da caixa térmica portátil apresentou-se funcional, pois permitiu o acondicionamento de temperatura e o monitoramento inteligente quanto à logística de transporte eficaz e eficiente, considerando o ponto de doação até a recepção do órgão no momento do transplante.

O aplicativo de interface homem-máquina é bem simples, de fácil utilização e adequado para aplicações na área da saúde. Pelo menu principal, teve-se acesso à medição da temperatura, à indicação de localização supervisionada por GPS e à verificação da trava (variável abre-fecha tampa da caixa térmica portátil).

Com o monitoramento adequado de variáveis correlacionadas à preservação de um órgão a ser transplantado; e a variável da trava que garante que a câmara não seja violada, evitando problemas irreversíveis.

Como continuidade deste trabalho, a próxima etapa consiste na implementação de um sistema de refrigeração para manter no interior da caixa térmica a temperatura numa faixa específica de conservação que varia de acordo com o tipo de órgão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração dos discentes Milton Ferraz e Eduardo Luiz da Silva que contribuíram para a modelagem 3D da caixa térmica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS. Registro brasileiro de transplantes: veículo oficial da Associação Brasileira do Transplante de Órgãos. São Paulo, jan./mar. 2020. Disponível em: <http://www.abto.org.br/abtov03/Upload/file/RBT/2020/RBT-2020-1trim-leitura.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema Nacional de Doação e Transplante de Órgãos. [ca. 2020]. Disponível em: <https://www.saude.gov.br/acoes-e-programas/cartao-nacional-de-saude/sobre-o-programa/693-acoes-e-programas/40035-doacao-e-transplante-de-orgaos#:~:text=O%20Sistema%20%C3%9Anico%20de%20Sa%C3%BAde,pe%C3%A7as%20tenham%20uma%20vida%20melhor>. Acesso em: 18 set. 2020.

DOSSAT, Roy J. **Princípios de refrigeração**. 1. ed. São Paulo: Hemus, 2004.

NODE-RED. Machine learning package for node-red. **Repositório NPM**, 24 mai. 2018. Disponível em: <https://flows.nodered.org/node/node-red-contrib-machine-learning>. Acesso em: 12 set. 2022.

MATTIA, Ana Lúcia de et al. Análise das dificuldades no processo de doação de órgãos: uma revisão integrativa da literatura. **Revista Bioethikos**, v. 4, n. 1, p. 66- 74, 2010. Disponível em: <http://www.saocamillo-sp.br/pdf/bioethikos/73/66a74.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

PEREIRA, Walter Antonio; FERNANDES, Roni de Carvalho; SOLER, Wangles de Vasconcelos. **Diretrizes básicas para captação e retirada de múltiplos órgãos e tecidos da Associação Brasileira de Transplante de Órgãos**. São Paulo: ABTO, 2009.

PETROIANU, Andy. Editorial. **Jornal Brasileiro de Transplantes**, v. 12, n. 1, p. 1038-1039, jan./mar. 2009. Disponível em: <https://site.abto.org.br/wp-content/uploads/2020/06/09-1.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

SILVA, Paulo Rodrigues da. Transplante cardíaco e cardiopulmonar: 100 anos de história e 40 de existência. **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 23, n. 1, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-76382008000100027. Acesso em: 18 set. 2020.

UNITED STATES OF AMERICA. **Global positioning system standard positioning service**. 4. ed. Washington, DC: Department of Defense, 2008.

ZANOTTA, D.C.; CAPPELLETTO E.; MATSUOKA, M.T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 2313-1-2313-6, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbef/v33n2/a14v33n2.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.