

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO” – UNESP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA**

**EMERSON CARLOS SARTI FERRASI**

**INTERNET DAS COISAS APLICADA AO GERENCIAMENTO DE  
RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS BIOLÓGICAS**

Bauru  
2023

**EMERSON CARLOS SARTI FERRASI**

**INTERNET DAS COISAS APLICADA AO GERENCIAMENTO DE  
RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS BIOLÓGICAS**

Exame de Defesa de Tese de Doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia – Doutorado Acadêmico, da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, para obtenção do título de Doutor em Mídia e Tecnologia sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado.

Bauru  
2023

F378i Ferrasi, Emerson Carlos Sarti  
Internet das Coisas Aplicada ao Gerenciamento de  
Rastreabilidade de Amostras Biológicas / Emerson  
Carlos Sarti Ferrasi. -- Bauru, 2023  
53 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual  
Paulista (Unesp), Faculdade de Arquitetura, Artes,  
Comunicação e Design, Bauru

Orientador: Eduardo Martin Morgado

1. Internet das Coisas. 2. Sensores. 3. Amostras  
Biológicas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp.  
Biblioteca da Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design,  
Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE EMERSON CARLOS SARTI FERRASI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN.**

Aos 23 dias do mês de fevereiro do ano de 2023, às 09:00 horas, no(a) <https://meet.google.com/tym-xfhe-mmd>, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de EMERSON CARLOS SARTI FERRASI, intitulada **INTERNET DAS COISAS APLICADA AO GERENCIAMENTO DE RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS BIOLÓGICAS**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Professor Associado EDUARDO MARTINS MORGADO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Computação da Faculdade de Ciências / Universidade Estadual Paulista, Profa. Dra. ESTELA DE OLIVEIRA LIMA (Participação Virtual) do(a) Depto. de Clínica Médica / FM/Botucatu - Unesp, Profa. Dra. SILVIA HELENA BAREM RABENHORST (Participação Virtual) do(a) Depto. de Patologia e Medicina Legal / FM/Fortaleza - UFC. Após a exposição pelo doutorando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: **APROVADO** nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora. Professor Associado EDUARDO MARTINS MORGADO



EMERSON CARLOS SARTI FERRASI

**INTERNET DAS COISAS APLICADA AO GERENCIAMENTO DE  
RASTREABILIDADE DE AMOSTRAS BIOLÓGICAS**

Área de Concentração: Ambientes Midiáticos e Tecnológicos  
Linha de Pesquisa: Tecnologias Midiáticas

**Banca Examinadora:**

Presidente/Orientador: Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado

Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp - Bauru

Prof. 1: Prof<sup>a</sup>. Dra. Silvia Helena Barem Rabenhorst

Instituição: Universidade Federal do Ceará - UFC – Fortaleza/CE

Prof. 2: Prof<sup>a</sup>. Dra. Estela de Oliveira Lima

Instituição: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp - Botucatu

Resultado: Aprovado

Bauru, 23/02/2023

À minha esposa Adriana e meu filho Augusto, por dar sentido à minha vida.

Amo vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado, pela orientação, dedicação e por ter acreditado neste projeto.

Ao Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia, pela oportunidade.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação, por compartilharem os seus conhecimentos, o que muito me auxiliou no entendimento dessa nova área em minha carreira profissional.

Aos colegas do LTIA, pela grande colaboração e aprendizado.

Ao meu irmão Faberson pela parceria no desenvolvimento desse projeto.

A todos os que trabalham comigo e que colaboraram para que eu pudesse frequentar as aulas do Doutorado.

Agradeço ainda, àqueles que contribuíram para a realização desse trabalho e que, involuntariamente, eu possa ter esquecido de mencionar.

FERRASI, E.C.S. *Internet das Coisas Aplicada ao Gerenciamento de Rastreabilidade de Amostras Biológicas*, 2023. Tese (Curso de Doutorado em Mídia e Tecnologia) – FAAC – UNESP, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado, Bauru, 2023.

## **Resumo**

O compartilhamento de amostras biológicas entre centros de pesquisa ocorre historicamente e essa prática tem sido estimulada nas últimas décadas pelos órgãos públicos de financiamento a pesquisa. Além disso, em laboratórios de análises clínicas, amostras biológicas precisam ser transportadas a partir do momento da sua coleta até a análise final e este processo pode ocorrer dentro de um único laboratório ou entre várias instituições, estejam elas localizadas na mesma cidade ou até mesmo em locais muito distantes geograficamente. A acurácia nos resultados das análises é influenciada diretamente pela estabilidade e conservação das amostras nas etapas pré-analíticas. A manutenção da temperatura e umidade adequadas, bem como o índice de luminosidade a que são submetidas as amostras são fatores essenciais que devem ser garantidos para que os resultados laboratoriais sejam acurados e reprodutivos. Embora a conservação e segurança biológica sejam requisitos supostamente garantidos pelas empresas especializadas no transporte, as reais condições em que o material foi transportado não são registradas satisfatoriamente, restando ao remetente e destinatário apenas fiar-se da credibilidade e garantias que as empresas lhes oferecem. Assim, faz-se de grande importância o desenvolvimento de um sistema de detecção e registro automatizado das condições físicas em que o material foi exposto durante o percurso do transporte. Existem produtos para o monitoramento de temperatura e umidade disponíveis no mercado, contudo, o investimento é considerado relativamente alto, principalmente quando os potenciais usuários são laboratórios clínicos ou de pesquisa públicos, que já trabalham em uma faixa estreita de recursos. Com o avanço na ciência de dados, a *internet* atravessa uma de suas maiores e mais desafiante revolução tecnológica, permitindo a criação de objetos e dispositivos inteligentes interconectados, que compartilham dados em tempo real. Esta inovação é conhecida como a *Internet das Coisas* (do inglês *Internet of Things – IoT*) e se baseia no conceito de que “coisas” colem, armazenem e compartilhem dados, que uma vez processados e analisados, podem gerar outras informações e serviços, de forma autônoma. Esse cenário torna relevante direcionar esforços para o desenvolvimento de um dispositivo autônomo que monitore os fatores relevantes para a conservação do material biológico, principalmente temperatura, umidade relativa e luminosidade ambiente, produzido a um custo acessível à realidade dos laboratórios e pesquisadores brasileiros. Nesse contexto, o objetivo desse projeto foi determinar a especificação dos requisitos técnicos necessários para o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico microcontrolado, interconectado a sensores captadores de umidade, temperatura e luminosidade aplicado ao monitoramento autônomo de indicadores ambientais, utilizando *Internet das Coisas*. Resultou desse estudo, a elaboração de uma proposta de um dispositivo, de baixo custo, para detecção e registro de dados ambientais de amostras biológicas, entre outros materiais, durante o seu transporte.

**Palavras-chave:** Internet das Coisas, Sensores, Amostras Biológicas

FERRASI, E.C.S. Internet of Things Applied to Traceability Management of Biological Samples, 2023. Tese (Curso de Doutorado em Mídia e Tecnologia) – FAAC – UNESP, sob a orientação do Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado, Bauru, 2023.

### **Abstract**

The sharing of biological samples between research centers has historically occurred and this practice has been encouraged in recent decades by public research funding agencies. In addition, in clinical analysis laboratories, biological samples need to be transported from the moment of their collection until the final analysis and this process can occur within a single laboratory or between several institutions, whether they are located in the same city or even in geographically distant places. The accuracy of the analysis results is directly influenced by the stability and conservation of the samples in the pre-analytical stages. The maintenance of adequate temperature and humidity, as well as the luminosity index to which the samples are submitted are essential factors that must be guaranteed so that the laboratory results are accurate and reproducible. Although conservation and biological safety are requirements supposedly guaranteed by companies specializing in transport, the actual conditions under which the material was transported are not satisfactorily recorded, leaving the sender and recipient to rely only on the credibility and guarantees that companies offer them. Thus, it is of great importance to develop a detection system and automated recording of the physical conditions in which the material was exposed during the course of transport. There are products for monitoring temperature and humidity available on the market, however, the investment is considered relatively high, especially when potential users are public clinical or research laboratories, which already work in a narrow range of resources. With the advancement in data science, the internet is going through one of its biggest and most challenging technological revolutions, allowing the creation of interconnected intelligent objects and devices that share data in real time. This innovation is known as the Internet of Things (IoT) and is based on the concept that “things” collect, store and share data, which once processed and analyzed, can generate other information and services, in a different way. autonomous way. This scenario makes it relevant to direct efforts towards the development of an automaton device that monitors relevant factors for the conservation of biological material, mainly temperature, relative humidity and ambient luminosity, produced at an affordable cost for the reality of Brazilian laboratories and researchers. In this context, the objective of this project was to determine the specification of the technical requirements necessary for the development of a microcontrolled electronic device, interconnected to sensors that capture humidity, temperature and luminosity applied to the autonomous monitoring of environmental indicators, using the Internet of Things. As a result of this study, the elaboration of a proposal for a low-cost device for detecting and recording environmental data from biological samples, among other materials, during transport.

**Keywords:** Internet of Things, Sensors, Biological Samples

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> Arquitetura básica de um dispositivo para IoT.....	19
<b>FIGURA 2:</b> Arduíno modelo UNO .....	21
<b>FIGURA 3:</b> Raspberry Pi 4 modelo B.....	22
<b>FIGURA 4:</b> Modelo ESP32 NodeMCU.....	23
<b>FIGURA 5:</b> Sensor de temperatura e umidade (DHT22) .....	25
<b>FIGURA 6:</b> Embalagens apropriadas ao transporte de material biológico.....	31
<b>FIGURA 7:</b> Material biológico devidamente acondicionado .....	31
<b>FIGURA 8:</b> Projeto esquemático do dispositivo de captação de variáveis ambient..	43
<b>FIGURA 9:</b> Imagem externa do Dispositivo de Captação de Variáveis Ambientais..	43
<b>FIGURA 10:</b> Dispositivo de Captação de Variáveis Ambientais.....	44
<b>FIGURA 11:</b> Dispositivo de Captação de Variáveis Ambientais montado .....	45
<b>FIGURA 12:</b> Características externas do Dispositivo.....	45
<b>FIGURA 13:</b> Imagem ilustrativa de uma caixa térmica de transporte .....	46
<b>FIGURA 14:</b> Gráfico gerado com os dados de variação ambiental.....	47

## LISTA DE SIGLAS

<b>ANAC</b>	Agência Nacional de Aviação Civil
<b>ANSI</b>	American National Standards Institute
<b>ANTAQ</b>	Agência Nacional de Transporte Aquaviários
<b>ANTT</b>	Agência Nacional de Transportes Terrestre
<b>ANVISA</b>	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
<b>CONTRAN</b>	Conselho Nacional de Trânsito
<b>CPU</b>	Central Process Unit
<b>CTO</b>	Chief Technology Officer
<b>ECT</b>	Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos
<b>GB</b>	Gigabyte
<b>HDMI</b>	High-Definition Multimedia Interface IP - Internet Protocol
<b>IoT</b>	Internet of Things
<b>IoMT</b>	Internet of Medical Things
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode
<b>LTIA</b>	Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>MS</b>	Ministério da Saúde
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>RDC</b>	Resolução da Diretoria Colegiada
<b>RFID</b>	Radio Frequency Identification
<b>SDK</b>	Software Development Kit
<b>TI</b>	Tecnologia da informação
<b>UNESP</b>	Universidade Estadual Paulista
<b>UPU</b>	União Postal Universal
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>WWW</b>	World Wide Web

## **LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1:</b> Custo* aproximado dos componentes utilizados .....	48
---	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 Internet das Coisas (IoT) .....	16
2.2 Amostras Biológicas .....	26
2.3 Transporte de Amostras Biológicas .....	26
2.4 Considerações Finais .....	36
<b>3. JUSTIFICATIVA</b> .....	37
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	37
4.1 Gerais .....	37
4.2 Específicos .....	37
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	38
5.1 Local de Desenvolvimento .....	38
5.2 Histórico de Desenvolvimento .....	38
5.3 Tecnologias empregadas .....	39
5.3.1 Componentes .....	39
5.3.2 Linguagem de Programação .....	40
5.3.3 Comunicação entre os componentes .....	40
5.3.4 Acesso dos Dados .....	40
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	49
<b>8. REFERÊNCIAS</b> .....	49

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o Brasil tem impulsionado sua produção científica e biotecnológica através de vultuosos projetos que envolvem a colaboração entre múltiplos centros e instituições de pesquisa, muitas vezes localizados bem distantes geograficamente. Não restam dúvidas de que essa tendência mundial foi possibilitada e enriquecida pela implementação e democratização da *World Wide Web* (Rede Mundial de Computadores). Tal plataforma de comunicação tem possibilitado a criação de “grupos de pesquisa virtuais” para a troca de informações, dados e discussão de resultados.

Historicamente, o compartilhamento de espécimes biológicos entre centros de pesquisa sempre foi uma realidade, contudo, nas últimas décadas essa prática tem sido estimulada através da criação de biobancos de amostras biológicas. Tais práticas contribuem tanto para a otimização do uso compartilhado de equipamentos de alta tecnologia ou reagentes de alto custo quanto ao acesso a amostras raras, após cumpridas todas as etapas éticas e legais necessárias.

A despeito dos evidentes benefícios obtidos da colaboração entre diferentes centros de pesquisa, o transporte do material biológico enfrenta ainda desafios a serem vencidos. A precisão dos resultados das análises laboratoriais é influenciada diretamente pela estabilidade e conservação das amostras nas etapas pré-analíticas, como por exemplo, os efeitos da temperatura dentro da embalagem podem resultar na deterioração do material e acarretar possíveis erros nas análises amostrais.

O transporte de amostras biológicas também é rotina entre os laboratórios de análises clínicas, tanto aqueles públicos quanto os privados. Muitas vezes os postos de coleta de material são distantes do local onde as amostras serão analisadas.

Embora a conservação e segurança biológica sejam requisitos supostamente garantidos pelas empresas especializadas no transporte, as reais condições em que o material foi transportado não são registradas satisfatoriamente, restando ao remetente e destinatário apenas fiar-se da credibilidade e garantias que as empresas lhes oferecem. Assim, faz-se de grande importância o desenvolvimento de um sistema de detecção e registro automatizado das condições físicas em que o material foi exposto durante o percurso entre uma instituição e outra.

A *Internet* que conhecemos hoje atravessa uma de suas maiores e mais desafiante revolução tecnológica, na qual teremos cada vez mais objetos e

dispositivos inteligentes interconectados, trocando dados a todo instante. Este conceito é conhecido como a *Internet* das Coisas (*Internet of Things – IoT*, em inglês), cuja fundamentação principal envolve a ideia em que “coisas” coletem, armazenem e compartilhem uma grande quantidade de dados, os quais, uma vez processados e analisados podem gerar uma gigantesca quantidade de informações e serviços, de forma autônoma, através da *Internet*.

Nesse contexto, o objetivo principal do presente estudo é propor um modelo de gerenciamento de rastreabilidade de amostras biológicas, utilizando *Internet* das Coisas.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os órgãos públicos de financiamento à pesquisa têm estimulado a colaboração entre grupos de pesquisa situados em instituições diferentes, muitas vezes bem distantes geograficamente e, nas últimas décadas, estudos relevantes foram desenvolvidos, como é o caso de alguns projetos brasileiros como o Projeto Genoma da *Xylella fastidiosa* (SIMPSON et al., 2000), Genoma Humano do Câncer (BRENTANI et al., 2003), *Transcript Finishing Initiative* (SOGAYAR et al., 2004), *Viral Genetic Diversity Network* (PARDINI et al, 2008), dentre outros, nacionais e internacionais.

O notável desempenho dessa nova abordagem em pesquisa deve-se, em parte, ao desenvolvimento e democratização da *World Wide Web* (Rede Mundial de Computadores) que tem facilitado a formação de “grupos de pesquisa virtuais” que compartilham dados, discutem resultados e, assim produzem novas informações e estudos de maneira tão eficiente quanto o seria se tais grupos estivessem reunidos *in loco*.

Além da troca de dados gerados nos ensaios laboratoriais, muitas vezes, amostras de material biológico são compartilhadas pelos centros de pesquisa, contribuindo tanto para a otimização do uso compartilhado de equipamentos de alta tecnologia ou reagentes de alto custo quanto para o acesso a amostras biológicas raras, após cumpridas todas as etapas éticas e legais necessárias (CNS, 2011).

Por amostra biológica animal entende-se qualquer parte representativa de um organismo animal (células, sangue, secreções, ossos, tecidos, fluidos, pelos, ácidos

nucléicos, proteínas, entre outros), utilizada para análises diagnósticas ou outros estudos e pesquisas científicas (BRASIL, 2005).

Para que os resultados das análises laboratoriais possam ser confiáveis, não basta que as técnicas sejam executadas de forma correta, é necessário que se utilize uma amostra devidamente conservada. Entende-se como amostra biológica adequada aquela que esteja em quantidade suficiente, em recipiente adequado, bem identificada e transportada de forma a manter a integridade do material a ser analisado (ANVISA, 2015). Além disso, durante o transporte é necessário que se garanta a segurança dos portadores do material, bem como da população e do meio ambiente (AIRES et al., 2015; GELBIVOVA & KOUDELKOVA, 2012).

Estudos mostram que o transporte e o armazenamento são variáveis importantes que podem afetar a viabilidade e a função dos componentes da amostra e os efeitos da temperatura dentro da embalagem podem resultar na deterioração do material e acarretar possíveis erros nas análises amostrais (OLSON et al, 2011; AMELLAL et al., 2008).

No Brasil, o transporte de amostras biológicas segue os requisitos definidos pela Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) 20/2014 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), que regula as atividades de transporte de amostras clínicas do ponto de vista da vigilância sanitária, além das normas segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), o Conselho Nacional de Trânsito (Contran) e a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac) (ANVISA, 2015).

Espera-se que a grande malha logística composta por empresas especializadas no transporte de amostras biológicas cumpram o seu papel no bom acondicionamento do material e que garantam que sejam cumpridos todos os requisitos necessários ao seu transporte, desde a origem até o seu destino. Contudo, o remetente e o destinatário desconhecem quais as reais condições em que seu material foi transportado, restando-lhes somente fiar-se da credibilidade e garantias que as empresas lhes oferecem.

## **2.1 Internet das Coisas (IoT)**

A *Internet* que conhecemos hoje atravessa uma de suas maiores e mais desafiante revolução tecnológica, na qual teremos cada vez mais objetos e dispositivos inteligentes interconectados, trocando dados a todo instante. Este

conceito é conhecido como Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*, em inglês). Esta denominação foi cunhada por Kevin Ashton do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) em uma de suas apresentações em 2009 e acabou sendo adotado mundialmente para representar essas mudanças (ASHTON, 2009).

Esta nova fase de evolução tem a sua essência apoiada na Computação Ubíqua. Este termo foi criado por Mark Weiser (1991), um cientista da computação que atuava como CTO (*Chief Technology Officer*) na *Xerox's Palo Alto Research Center* (Parc) e descrito no artigo *The Computer for 21st Century*, publicado em 1991. No texto, o autor defendia uma visão de futuro em que os computadores seriam invisíveis e incorporados aos objetos do cotidiano, substituindo os PCs habituais. A proposta da IoT consiste na ideia em que “coisas” colem, armazenem e compartilhem uma grande quantidade de dados, os quais, uma vez processados e analisados podem gerar uma gigantesca quantidade de informações e serviços, de forma autônoma, através da *internet*.

Os dispositivos eletrônicos fazem parte do nosso cotidiano, proporcionando a interação entre os indivíduos e facilitando as tarefas do dia-a-dia, seja por captar informações, processar ou gerar dados. Tais objetos, dotados de capacidade de processamento, comunicação com a *internet*, acesso remoto e sensores, possibilitaram uma nova revolução tecnológica (YANG; SHEN; WANG, 2018) e a IoT é uma vertente desse cenário.

Basicamente, a *Internet das Coisas* é uma rede de dispositivos físicos que anexam em sua infraestrutura sensores e softwares, integrados a outras ferramentas, com o objetivo de troca de informações com outros dispositivos conectados em rede pela internet (ORACLE, 2020), unindo o mundo físico ao mundo digital.

Institucionalmente, a utilização de IoT tem sido ampliada a cada ano e inúmeros setores já se beneficiam dessa tecnologia, principalmente os setores industriais, a agricultura, serviços públicos, energia, mineração, logística e a medicina (DACHYAR; ZAGLOEL; SARAGIH, 2019). Digno de nota é o aumento relevante dos dispositivos e aplicativos móveis que passaram a ser utilizados nos últimos cinco anos e que desempenham um papel crítico no rastreamento e prevenção de doenças crônicas para muitos pacientes e seus médicos. Combinando IoT com as tecnologias de telemedicina, surgiu um novo termo, a *Internet of Medical Things* (IoMT) ou Internet das Coisas Médicas e o mercado global nesse setor deve movimentar mais de 253

bilhões de dólares em 2030, superior aos 180,5 bilhões de 2021 (PRECEDENCE RESEARCH, 2022).

A facilidade de aquisição dos componentes e a implementação dos recursos tecnológicos possibilitaram cada vez mais a sua utilização e, nos dias atuais, os “objetos inteligentes” não se limitam a apenas computadores convencionais, mas também a relógios, pulseiras, televisores, notebooks, telefones celulares, geladeiras, consoles de jogos, sistemas de monitoramento e segurança e até mesmo automóveis (XU; HE; LI, 2014).

Há estimativas de que em 2020, o número de dispositivos conectados à IoT ultrapassou 21 bilhões, globalmente (KELLY et. al, 2020). Esse cenário parece indicar que a IoT representa a próxima evolução da *internet*, aumentando a capacidade de coletar, analisar e distribuir dados, em um ciclo onde “dados geram dados”, importante caminho para análises preditivas.

A saber, os “objetos inteligentes”, em IoT, devem apresentar em sua arquitetura, um ou mais dos seguintes componentes (Figura 1) (ZABADAL; CASTRO; FRANCINNY, 2017).

a) **unidade de processamento e de memória** – composta por uma memória interna para armazenamento de dados e programas, um microcontrolador e um conversor analógico digital para receber informações dos sensores;

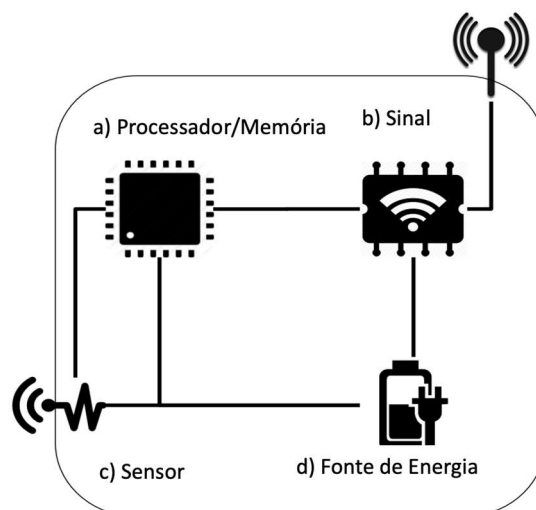
b) **unidade de comunicação** – algum meio de comunicação com ou sem fio.

c) **fonte de energia** - fornece energia aos componentes. Pode ser uma bateria (recarregável ou não) e um conversor AC-DC ou outras fontes de alimentação como energia elétrica, solar, entre outras.

d) **unidade sensora ou atuadora**: Os sensores capturam valores de grandezas físicas como temperatura, umidade, pressão e presença. Os atuadores são dispositivos que executam alguma ação, atendendo a comandos que podem ser elétricos ou mecânicos.

Atualmente, estão disponíveis inúmeros modelos de sensores, o que proporciona captar e gerar uma grande quantidade de dados, em tempo reduzido. O conjunto desses dados está cada vez mais sendo utilizado para nortear a tomada autômata de decisões, o planejamento e a previsão de demandas, seja pelo

comportamento de cada indivíduo na *internet*, pelos seus hábitos de consumo, utilização de serviços e até mesmo por registros anatômicos ou marcadores biológicos. Tais informações, por exemplo podem ser captadas por sensores acoplados diretamente ao corpo ou localizados nos itinerários ou simplesmente coletados pelos navegadores da *internet*.



Adaptado de Santos et al. (2016)

**Figura 1.** Arquitetura básica de um dispositivo para Internet das Coisas (IoT).

Comumente, esses dados são armazenados em *Data Warehouse*, um repositório central projetado para análises de dados, que envolvem a leitura, filtragem e processamento de grandes quantidades de dados para compreender relações e tendências entre eles. Cada vez mais essas análises estão sendo implementadas com Inteligência Artificial.

Ao mencionar IoT, a referência mais comum remete às tecnologias de captação e troca de dados através de um meio de comunicação, mas temos que considerar que tais dispositivos também podem atuar ligando e desligando outros dispositivos acoplados a eles (SANTOS et al., 2016), em uma cadeia de automação sem precedentes.

Atualmente, estão disponíveis no mercado várias plataformas, complexos dispositivos de hardware e sensores capazes de, em conjunto, realizar as tarefas de captação, coleta, transmissão e atuação. Pela sua facilidade de uso, popularidade e

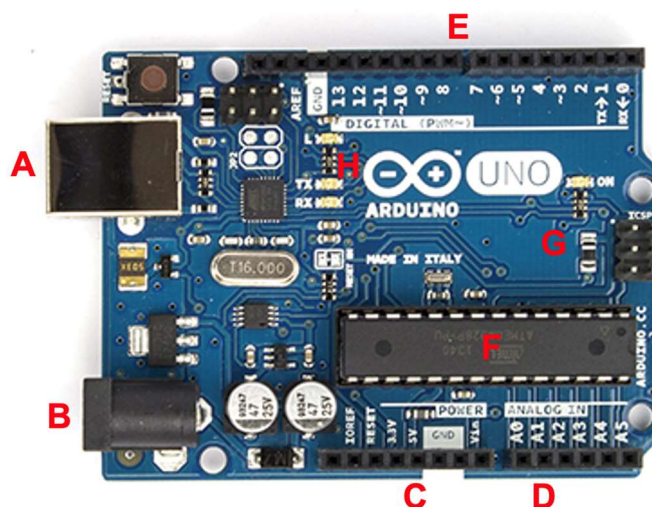
suporte, são os mais utilizados, o Arduíno, o Raspberry Pi e o ESP32, descritos a seguir:

### **Arduíno**

Desenvolvido por Massimo Branzi e colaboradores (Itália) em 2005, trata-se de uma placa de circuitos concebida para prototipação de dispositivos eletrônicos. Foi criado em conceito de livre programação (projeto *Hardware Open Source*), onde são disponibilizados componentes adaptáveis, reutilizáveis e de baixo custo. Basicamente, é composto por uma placa única de circuitos com entradas e saída digitais e analógicas para um microcontrolador programável de 8 bits Atmel AVR, um ambiente de desenvolvimento e um *bootloader* (gerenciador de inicialização) já gravado no microcontrolador (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011).

Com a utilização de um conjunto de instruções semelhantes à linguagem C/C++, disponíveis aos usuários um Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE, do inglês *Integrated Development Environment*) é possível desenvolver rotinas que permitam coletar informações dos sensores e até mesmo enviar instruções para o controle dos sensores e dos dispositivos conectados às entradas e saídas na placa. Depois de programado, o microcontrolador pode ser usado de forma independente.

A prototipação mais comum, envolvendo o Arduíno, utiliza uma placa de plástico, conhecida como *Protoboard*, onde é possível acoplar os sensores e ligá-los às portas digitais e analógicas. Assim, é possível a construção de dispositivos sem a utilização de soldagem dos componentes, facilitando a montagem dos protótipos e permitindo recombinações de componentes, bem como a sua reutilização em outros projetos, reduzindo o desperdício dos recursos empregados nos projetos. A alimentação pode ocorrer através da conexão USB (do inglês, *Universal Serial Bus*) ou com uma fonte de alimentação externa de 5V e 500mA (ARDUÍNO, 2020). Existem vários modelos de arduíno (Uno, Duemilanove, Mega, entre outros) e as principais diferenças são a velocidade, a quantidade de memória, e o número e tipo de pinos. A figura 2 apresenta um modelo de arduíno.



Adaptado de [https://www.arduino.cc/reference/pt/asciidoc\\_sample/asciidoc\\_dictionary/asciidoc\\_template-dictionary/](https://www.arduino.cc/reference/pt/asciidoc_sample/asciidoc_dictionary/asciidoc_template-dictionary/)

**Figura 2. Arduino modelo UNO.** A) USB para alimentação e comunicação; B) Alimentação alternativa; C) Pinos de alimentação (saídas e entradas); D) Pinos de entrada analógica; E) Pinos de entrada/saída digital; F) Processador; G) Botão de Reset; H) LEDs (RX e TX indicam comunicação série).

## Raspberry Pi

Diferente do Arduino, o Raspberry Pi não se limita a um microcontrolador com portas e pode ser considerado um microcomputador de placa única, ou seja, em uma só placa de circuito, possui, nativamente, conexão Ethernet, porta USB, armazenamento em cartão micro SD e saída HDMI (RASPBERRY PI, 2021).

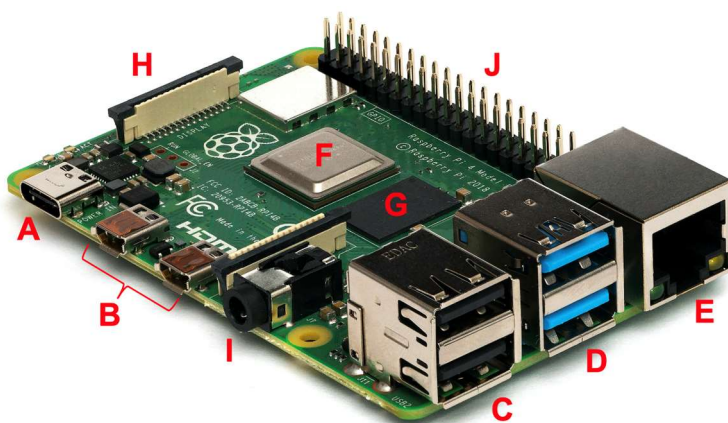
Apresenta CPU (do inglês, *Central Process Unit*) com tecnologia ARM V8, velocidade de 1.5 GHz, memória RAM variável entre 1 e 8 GB e, por ter saída de vídeo, possui um processador gráfico que permite a reprodução de imagens em *Full HD*.

Disponível em diversas versões, o Raspberry Pi é um hardware pequeno (dimensões de um cartão de crédito) mas com capacidade de processamento e recursos semelhantes aos de alguns computadores de menor desempenho ainda disponíveis no mercado. Como é totalmente customizável, pode ser utilizado para diversos processos de controle, desde atividades simples como alimentar uma planilha de dados até aplicações em ambientes industriais, como, por exemplo,

controle de robôs ou outras soluções que envolvam automação, com uma relação muito interessante de custo e benefício (RASPBerry PI, 2021).

O enfoque inicial dado por seus desenvolvedores (Universidade de Cambridge, Inglaterra) foi o de ser utilizado como ferramenta de baixo custo para ensino de programação nas escolas de ensino básico da Inglaterra. Suporta várias distribuições Linux e um grande apelo à linguagem de programação *Python*, de onde vem o "Pi" em seu nome. Contudo, pode ser ainda, programado em C/C++, Java ou até mesmo Assembly (ANDRADE; SOMA; EIKI, 2016).

Seu funcionamento se baseia na inicialização de um Sistema Operacional (SO) gravado no cartão SD e, após o *boot* inicial, se desenvolvem todas as atividades de um SO, análogo ao que seria executado em uma estação de trabalho e podem ser desenvolvidas as mais diferentes tarefas, como por exemplo, navegar pela *internet* e utilizar aplicativos suportados pelo seu hardware. O site da Fundação Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.org/>) disponibiliza vários sistemas operacionais, no entanto, o suporte é dado apenas para o Raspbian, criado a partir do Linux Debian Jessie (RASPBerry PI FOUNDATION, 2021). A figura 3 apresenta um modelo de Raspberry Pi.



**Figura 3. Raspberry Pi 4 modelo B.** A. USB C para alimentação; B. Entradas HDMI; C. USB 2.0; D. USB 3.0; E. Entrada Ethernet; F. Processador; G. Memória RAM; H. Entrada micro SD; I. Saída de áudio; J. Pinos de conexão de entrada/saída de dados dos sensores.

## ESP32

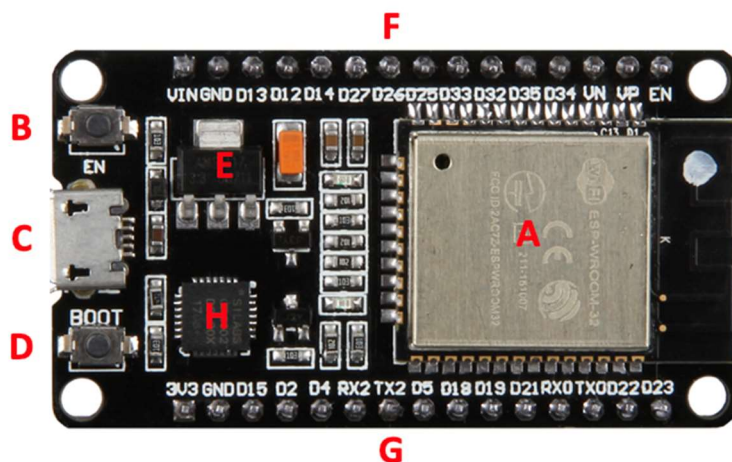
Projetado pela Espressif Systems em 2016, o microcontrolador ESP32 é considerado como um dos mais robustos controladores do mercado, com alta velocidade de processamento, acessibilidade e conectividade, fortalecida pela conexão sem fios (*wifi*) e múltiplos sensores embutidos (KOLBAN, 2018).

O processador do ESP32 pode ser *single* ou *dual-core* (dois núcleos físicos de processamento) de 32 *bits*, podendo atingir frequências de *clock* de até 240 MHz durante o trabalho. A capacidade de armazenamento pode chegar ao dobro dos microcontroladores Arduino, (IBRAHIM, 2017).

Outro ponto forte dos ESP32 é a excelente conectividade, representada por dois módulos impares de integração, incorporados ao seu chip, com acesso a redes de transmissão sem fio, através de ondas de rádio, representadas pelo protocolo *bluetooth* e o *wifi* (KOLBAN, 2018).

A programação pode ser realizada em diversos softwares compatíveis, inclusive a linguagem C/C++, que pode ser desenvolvida no programa *Software Development kit* (SDK) fornecido pela própria desenvolvedora do microcontrolador e, por apresentar uma robusta conectividade sem fio pode ser programado remotamente.

A Figura 4 exibe o modelo ESP32 NodeMCU, plataforma que se destaca por possuir módulo WiFi integrado, tamanho reduzido e alto poder de processamento, onde pode ser aplicada a mesma metodologia de programação do Arduino (ESPRESSIF, 2020).



**Figura 4. Modelo ESP32 NodeMCU.** A. Processador; B. Botão de reset (EN); C. Porta Micro USB; D. Botão boot (permite a gravação de dados); E. LED de alimentação; F. Pinos de entrada/saída digital; G. Pinos de entrada/saída analógica; H. Gerenciador da comunicação USB.

## Sensores

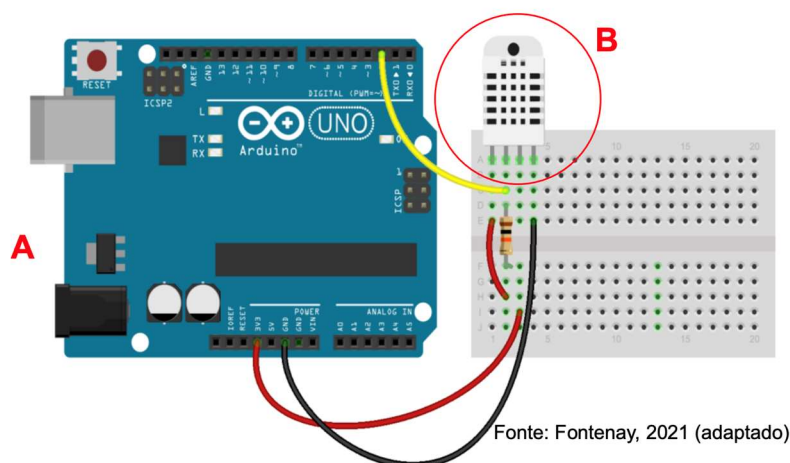
Os sensores são os componentes responsáveis pela obtenção de valores de entrada, ou seja, as informações iniciais, e, com a aquisição desses dados, é possível convertê-los para um formato digital através das portas analógicas e posteriormente manipular os mesmos dentro do software.

Existem inúmeros tipos de sensores compatíveis com a utilização em IoT disponíveis no mercado. Tais sensores podem captar informações ambientais como por exemplo temperatura, umidade relativa do ar, pressão, campo magnético, áudio, intensidade de luz, entre outros (BRAGA; RUIZ; NOGUEIRA, 2003). Dentre eles alguns exemplos são listados a seguir:

- Sensor de temperatura e umidade AM2302, também conhecido como DHT22, mede temperaturas entre  $-40$  a  $125^{\circ}$  Celsius e umidade do ar nas faixas de 0 a 100%, com precisão que varia de 2 a 5% (SPARKFUN, 2020). Uma de suas principais vantagens é o baixo consumo de energia e a calibração totalmente automatizada. A saída única de dados através de um barramento digital padrão e a sua facilidade de uso o torna um dos principais sensores utilizados em projetos para dispositivos da IoT.

- Sensor de intensidade de luz LDR (do inglês, *Light-Dependent Resistor*) é composto por resistor dependente de luz, ou seja, quanto maior a luz incidente nesse componente, menor será sua resistência (VIDA DE SILÍCIO, 2021). Assim, é possível inferir a intensidade da luz ambiente através da variação de sua resistência interna.

Para um sensor ser utilizado em um dispositivo IoT, é necessário que seja feita a conexão das portas do controlador, por exemplo do arduíno, com os respectivos pinos do sensor. A figura 5 mostra um esquema onde o pino do sinal está conectado à porta digital de um Arduíno que irá receber os valores de temperatura e umidade relativa do ar:



Fonte: Fontenay, 2021 (adaptado)

**Figura 5. Sensor de temperatura e umidade (DHT22) conectado ao controlador Arduino. A. Arduino; B. Sensor DHT22 de temperatura e umidade do ar.**

### Linguagens de Programação

O desenvolvimento de rotinas para a programação dos controladores utilizam linguagens convencionais e de conceito aberto, como por exemplo as linguagens C/C++ e Python. A disponibilidade gratuita desses ambientes de programação continua contribuindo para a popularização dessas linguagens, que são sumarizadas a seguir:

- Linguagem C: criada por Dennis Ritchie (1970) para ser usada no sistema operacional UNIX. O seu criador se baseou em uma linguagem mais antiga, a BCPL. Na década de 1980, a linguagem foi adaptada para uso no PC IBM, aumentando a sua popularidade devido ao alto grau de compatibilidade com vários tipos de microcomputadores. Em 1983 o ANSI (*American National Standards Institute*) estabeleceu um comitê e criou o padrão C ANSI para a linguagem, que já influenciou muitas outras linguagens de programação, como a linguagem Java e C++ (SCHILDT, 1996).

- Linguagem Python: foi desenvolvida por Guido Van Rossum (1989) com o objetivo de criar uma nova linguagem, mais eficiente e produtiva. Tem como origem a seu propósito científico, contudo pode ser utilizada em várias outras aplicações como jogos e sistemas comerciais (MANZANO, 2018).

## **2.2 Amostras Biológicas**

Amostras biológicas ou espécimes é o temo utilizado para definir quaisquer materiais biológicos de origem humana ou animal, incluindo, mas não se limitando a dejetos, secreções, sangue e seus componentes, tecidos ou fluidos (BRASIL, 2015).

A depender do juízo profissional, esse material pode ser classificado como substância infecciosa da categoria A, substância biológica da categoria B, espécime humano de risco mínimo ou material biológico isento (BRASIL, 2014). Frente ao seu potencial infeccioso, podem ser classificadas nas categorias: a) A - material biológico infeccioso cuja exposição ao mesmo pode causar incapacidade permanente ou enfermidade mortal, pondo em risco a vida humana ou de outros animais; b) B - material biológico infeccioso que não se inclui na categoria A, inserindo-se neste grupo amostras de pacientes que se suspeita ou se saiba conter agentes infecciosos causadores de doenças em humanos; c) Categoria Espécime Humana de Risco Mínimo - inclui materiais biológicos provenientes de indivíduos sadios que foram submetidos a juízo profissional baseado em história clínica, sintomas e características individuais, bem como nas condições endêmicas locais que asseguram a probabilidade mínima do material biológico conter microrganismos patogênicos, mesmo que estes materiais não tenham sido submetidos previamente a testes para marcadores de doenças transmissíveis pelo sangue, seguindo as diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS).

## **2.3 Transporte de Amostras Biológicas**

O transporte de material biológico é realizado para diversos fins, como pesquisa, ensino, diagnóstico, entre outros. Atualmente, a colaboração entre grupos de pesquisa de diferentes instituições (nacionais e internacionais) têm sido amplamente estimulada, principalmente pelos benefícios do uso compartilhado de equipamentos de alta tecnologia, acesso a amostras raras e aumento da casuística, bem como pela troca de experiências e conhecimento entre os pesquisadores envolvidos. Igualmente, muitos laboratórios de análises clínicas recebem amostras biológicas coletadas em locais distantes, muitas vezes envolvendo centenas a milhares de quilômetros de distância. Essa rotina é fundamental para que os exames diagnósticos estejam disponíveis para a maioria da população, mesmo aos que habitam localidades distantes e com menores recursos laboratoriais. Exemplificando, a pandemia de

SARS-CoV-2 (WHO, 2023) tem motivado o transporte de amostras biológicas em todas as regiões do globo.

Ainda que a colaboração entre diferentes centros de pesquisa e a democratização do acesso aos exames diagnósticos sejam um avanço, o transporte adequado do material biológico enfrenta ainda desafios a serem superados. A acurácia nos resultados das análises laboratoriais é influenciada diretamente pela estabilidade e conservação das amostras nas etapas pré-analíticas.

### **As Etapas Analíticas**

A análise laboratorial é composta por uma sequência de etapas que se inicia na solicitação do exame e termina na interpretação dos resultados. As etapas pré-analítica, analítica e pós-analítica, compõem o ciclo de análises. Os erros nos resultados podem ocorrer em qualquer dessas etapas, contudo, a sua frequência é mais comum em algumas do que em outras (LIMA-OLIVEIRA et al., 2009; MENDES, 1998).

A etapa pós-analítica, momento em que o laudo/registro do resultado é disponibilizado ao médico ou pesquisador, pode abrigar erros relacionados a transcrição equivocada, interpretação incorreta, entre outros (CARRARO; PLEBANI, 2007; PLEBANI; CARRANO, 1997).

A etapa ou fase analítica é o momento em o exame/análise é realizado. A automação está atingindo essa etapa em várias circunstâncias (principalmente nos laboratórios privados) e, quanto maior for a automação, menor é a probabilidade de ocorrerem erros laboratoriais, tanto pelo uso de controles internos e externos de qualidade quanto pela menor manipulação das amostras (LIMA-OLIVEIRA et al., 2009).

A etapa pré-analítica é a mais vulnerável e abriga a maior frequência dos erros que podem afetar a acurácia dos resultados. Adicionalmente, essa etapa abriga os maiores índices de erro humano. Estima-se que 40 a 70% dos erros estejam situados nessa importante etapa, que integra todos os eventos que antecedem a análise laboratorial da amostra, como por exemplo a erros durante a coleta, preparo inadequado do paciente, identificação errônea dos recipientes, tipo ou volume de amostra incorreto e demora ou conservação inadequados durante o transporte

(PLEBANI, 2012; GUIMARÃES et al., 2011; CHAWLA et al., 2010; CARRARO; PLEBANI, 2007; PLEBANI; CARRARO, 1997).

A manutenção da temperatura e umidade do ar adequadas, bem como intensidade de luz a que são submetidos os materiais biológicos são fatores essenciais para que os resultados laboratoriais sejam confiáveis e reprodutivos (OLSON et al., 2011; BURIN et al., 2000; FODY, 1983).

Estudos têm evidenciado que a exposição de amostras sanguíneas a temperaturas inadequadas pode reduzir a sensibilidade em testes laboratoriais baseados na detecção e quantificação de material genético viral (AMELLAL et al., 2008). Também, o transporte de amostras em temperaturas inadequadas afetou a sensibilidade na detecção de bactérias respiratórias (O'GRADY et al., 2013).

A atenção dada à regulamentação no transporte de amostras biológicas por parte dos órgãos nacionais e internacionais refletem a importância de um acondicionamento adequado às condições do transporte, tanto para as garantias na qualidade dos resultados quanto para proteger os indivíduos envolvidos no transporte, bem como terceiros e o próprio meio ambiente. A regulamentação atual apresenta diretrizes a serem seguidas, bem como institui sanções àqueles que fugirem às necessárias regras de segurança biológica.

As diretrizes regulatórias para o transporte de materiais biológicos têm sua origem nas Recomendações do Comitê Especialista da Organização das Nações Unidas (ONU) para o Transporte de Materiais Perigosos, atualizadas periodicamente (WHO, 2019). Essas normas internacionais são fundamentais para a definição dos requisitos regulatórios adotados no Brasil.

A seguir será apresentado uma breve apresentação das principais normas regulamentadoras relacionadas ao transporte de amostras biológicas, com enfoque principal aos critérios de acondicionamento para transporte.

- **RDC Nº 20** (Resolução da Diretoria Colegiada, número 20), de 10 de abril de 2014 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) (BRASIL, 2014).

Esse documento define critérios técnicos sanitários para a embalagem, acondicionamento, sinalização e rotulagem, documentos necessários para acompanhar o material biológico humano, além das responsabilidades na circulação desse material.

O principal objetivo apontado pela RDC determina:

*...definir e estabelecer padrões sanitários para o transporte de material biológico de origem humana em suas diferentes modalidades e formas, sem prejuízo do disposto em outras normas vigentes peculiares a cada material e modo de transporte, para garantir a segurança, minimizar os riscos sanitários e preservar a integridade do material transportado. (Seção I; Objetivo; Art. 1º)*

No que diz respeito à abrangência:

*...se aplica a todo remetente, transportador, destinatário e demais envolvidos no processo de transporte de material biológico humano, sem prejuízo do disposto em outras normas vigentes peculiares a cada material e modo de transporte.*

*Parágrafo único. O disposto nesta Resolução se aplica no que couber, aos procedimentos de importação e exportação de material biológico humano, sem prejuízo do disposto em outras normas vigentes peculiares a cada material e modo de transporte. (Seção II; Abrangência; Art. 2º)*

Para o contexto do presente capítulo, são relevantes algumas definições adotadas nessa resolução:

*I - acondicionamento de material biológico humano: procedimento de embalagem de material biológico humano com a finalidade de transporte, visando à proteção do material, das pessoas e do ambiente durante todas as etapas do transporte até o seu destino final;*

...

*XII - material biológico humano: tecido ou fluido constituinte do organismo humano, tais como excrementos, fluidos corporais, células, tecidos, órgãos ou outros fluidos de origem humana ou isolados a partir destes;*

...

*XIV - modo de transporte: mecanismo, alternativa ou tipo de veículo de transporte utilizado no deslocamento do material biológico humano;*

...

*XIX - transportador: pessoa física ou jurídica que efetua o transporte de material biológico humano proveniente de remetente para destinatário determinado incluindo os transportadores comerciais, públicos ou privados e os de carga própria; (Seção III; Definições; Art. 3º)*

O capítulo III dispõe sobre as características das embalagens e acondicionamento, onde é ressaltado que:

*O material biológico humano a ser transportado deve ser acondicionado de forma a preservar a sua integridade e estabilidade, bem como a segurança do pessoal envolvido, durante o processo de transporte. (Capítulo III; Da Embalagem e do Acondicionamento; Art. 10º)*

...

*Caso seja necessário controle de temperatura, este parâmetro deve ser considerado no processo de validação de transporte, de forma a garantir conservação das características biológicas pelo tempo de transporte previsto, com estimativa de margem de atrasos. (Cap. III; Da Embalagem e do Acondicionamento; Art. 11º, §1º)*

Mesmo para o material biológico classificado na categoria “Espécime Humana de Risco Mínimo”, devem ser acondicionados em de embalagens triplas (primária, secundária, terciária), com componente isotérmico e com quantidade de material refrigerante suficiente para a manutenção da temperatura de conservação das amostras de acordo com o tempo de transporte previsto, mantendo-se os registros.

A saber, i) embalagem primária, é aquela dotada de dispositivo que garanta vedação à prova de vazamento e impermeável para amostras líquidas, e no caso de amostras sólidas ou semi-sólidas, recipiente resistente dotado de mecanismo de fechamento que impeça o extravasamento do material; ii) embalagem secundária, é constituída por material resistente de forma a conter a embalagem primária, à prova de vazamento; iii) embalagem terciária, deve ser de material rígido, resistente, de tamanho adequado ao material transportado, e dotada de dispositivo de fechamento, observando-se que materiais laváveis e resistentes a desinfetantes podem ser reutilizáveis. A figura 6 apresenta modelos de cada classe de embalagens e a figura

7 exemplifica o acondicionamento de material biológico em caixa isotérmica para transporte entre laboratórios.

Também é digno de nota o disposto no artigo 6º do parágrafo Capítulo II:

*Quaisquer não conformidades durante o processo de transporte devem ser investigadas e registradas, incluindo-se, no que couber, as medidas corretivas e preventivas adotadas. (Cap. II; Disposições Iniciais; Art. 6º)*



Compilação do Autor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fontes das imagens:  
<https://www.unilab.com.br/materiais-educativos/>;  
<https://www.interplas.com/6x9-2mil-biohazard-reclosable-bags-p-czsb09-c->;  
<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/sangue/capacitacoes/arquivos>

**Figura 6. Embalagens apropriadas ao transporte de material biológico. A. Embalagem primária; B. Embalagem secundária; C. Embalagem terciária.**



**Figura 7. Material biológico devidamente acondicionado em caixa isotérmica para transporte entre laboratórios. Fonte: AIRES et al., 2015.**

- **Portaria Conjunta MS/ANVISA/SAS Nº 370**, de 07 de maio de 2014 (BRASIL, 2014b).

Em conjunto à RDC Nº 20 (2014), a Portaria Conjunta MS/ANVISA/SAS nº370, regulamenta e estabelece os requisitos sanitários para o transporte de sangue e componentes, em suas diferentes modalidades e formas, para garantir a segurança, minimizar os riscos sanitários e preservar a integridade do material.

O Artigo 12 estabelece a necessidade do transporte de sangue e componentes ser realizado em embalagens externas rígidas, com especificações técnicas para transporte a depender da carga transportada. Não é permitida a utilização de embalagens externas compostas por poliestireno expandido (isopor), sacos plásticos ou outros materiais sem rigidez, resistência e impermeabilidade apropriadas.

O mesmo artigo ressalta que para o *transporte de unidade de sangue total e hemocomponentes coletados, processados e armazenados em sistemas de bolsas de sangue não será necessária à utilização de embalagens intermediárias*, exceto nos casos de transporte por via aérea, quando deve-se adotar sistema de embalagem tripla conforme definido em normas específicas da Agência Nacional de Aviação Civil.

Os artigos 23, 24, 27 a 34 estabelecem as diretrizes sobre a temperatura:

*O sistema de embalagens utilizadas para o transporte de sangue e componentes será constituído de forma a garantir a manutenção da temperatura de acordo com a característica de cada material biológico transportado determinado em regulamento técnico sobre procedimentos hemoterápicos definidos pelo Ministério da Saúde e nas Boas Práticas do Ciclo do Sangue estabelecidas pela Anvisa. (Seção I; Do Acondicionamento e Rotulagem; Art. 23º)*

*As etapas de acondicionamento e controle de temperatura durante o transporte de sangue e componentes serão validadas pelo serviço de hemoterapia remetente ou sob sua instrução.*

*§ 1º O conjunto de embalagens e material refrigerante estará adequado às necessidades de controle de temperatura para conservação do material biológico, verificando-se os seguintes fatores:*

*I-intervalo de temperatura de transporte; II-temperatura ambiente; III-eficácia do isolamento térmico; e IV-tempo do transporte, que deve ser previsto com margem de segurança para atrasos. (Seção I; Do Acondicionamento e Rotulagem; Art. 24º)*

...

*O material refrigerante com temperatura igual ou inferior a 0°C (zero grau Celsius) não poderá estar em contato direto com as unidades de concentrados de hemácias e plaquetas, submetidos ou não a procedimentos especiais. (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 27º)*

*A unidade de sangue total destinada ao processamento será transportada sob temperatura de 1°C (um grau Celsius) a 10 °C (dez graus Celsius), exceto para produção de plaquetas.*

*§ 1º Para produção de plaquetas, a faixa de temperatura de transporte da unidade de sangue total será de 20 °C (vinte graus Celsius) a 24 °C (vinte e quatro graus Celsius).*

*§ 2º O sangue total destinado à transfusão será transportado considerando-se o mesmo intervalo de temperatura de conservação definido no caput. (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 28º)*

*O transporte de unidades de concentrados de hemácias, submetidas ou não a procedimentos especiais, será realizado num intervalo de temperatura de 1°C (um grau Celsius) a 10°C (dez graus Celsius). (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 29º)*

*O transporte de unidades de concentrados de plaquetas será realizado num intervalo de temperatura de 20 °C (vinte graus Celsius) a 24 °C (vinte e quatro graus Celsius). (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 30º)*

*As unidades de concentrados de granulócitos serão transportadas num intervalo de temperatura de 20 °C (vinte graus Celsius) a 24 °C (vinte e quatro graus Celsius). (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 31º)*

*A unidade de plasma fresco congelado e o crioprecipitado para fins transfusionais serão transportados de maneira que se mantenham congelados e na temperatura igual ou inferior a - 18°C (dezoito graus Celsius negativos). (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 32º)*

*O transporte de sangue e componentes que utilize gelo seco ou outro material de conservação e preservação que ofereça riscos durante o*

*processo de transporte será realizado em embalagem apropriada e sinalizada externamente de acordo com as normas específicas para o transporte de material refrigerante perigoso). (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 33º)*

*A temperatura de conservação de sangue e componentes será registrada durante o processo de transporte, sendo monitorada por mecanismos que possibilitem a verificação de seus valores fora do limite estabelecido. (Seção II; Do Transporte...; Seção II; Art. 34º)*

Ainda, o Artigo 42, define que, o transporte de amostras biológicas para a triagem laboratorial de doadores deverá ocorrer nas temperaturas informadas nas instruções dos fabricantes dos conjuntos diagnósticos utilizados no laboratório, registrada durante o processo de transporte, devendo ser monitorada por mecanismos que possibilitem a verificação de valores fora do limite estabelecido.

Além das diretrizes definidas pelos órgãos relacionados à saúde, transporte de amostras biológicas também é regulamentado de acordo com a via utilizada. Dessa forma, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) e o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) também contribuem com Resoluções norteadoras sobre o assunto, como apontado a seguir:

- **Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT)**

Resolução 420, de 12 de fevereiro de 2004, e suas atualizações. Aprova as Instruções Complementares ao Regulamento do Transporte Terrestre de Produtos Perigosos (ANTT, 2004).

Resolução 5848 de 25 de junho de 2019. Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. (ANTT, 2019)

- **Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)**

Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) 175 – Transporte de Artigos Perigosos em Aeronaves Civis. (ANAC, 2009).

Instrução Suplementar (IS) 175-004 C, de 22 de setembro de 2020. Orienta quanto aos procedimentos para a expedição e transporte de substâncias biológicas e infectantes em aeronaves civis. (ANAC, 2020).

- **Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ)**

Resolução 2.239, de 15 de setembro de 2011, que aprova a norma de procedimentos para o transporte seguro de produtos perigosos por instalações portuárias situadas dentro ou fora da área de porto organizado. (ANTAQ, 2011).

- **Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT),**

Lei 6.538, de 22 de junho de 1978. Dispõe sobre os Serviços Postais. (BRASIL, 1978)

O Brasil é signatário de um acordo internacional organizado pela União Postal Universal (UPU) – *Letter Post Manual* (2009) –, que define os parâmetros para transporte, por via postal, de amostras biológicas e substâncias infecciosas. (ECT, 2021)

Por último, a Anvisa publicou, em 2015, o “Manual de Vigilância Sanitária sobre o Transporte de Material Biológico Humano para Fins de Diagnóstico Clínico” (BRASIL, 2015), tendo como principal objetivo de divulgar as orientações sobre as normas sanitárias que visam garantir a integridade e a estabilidade do material biológico transportado, bem como a segurança de todos os atores envolvidos no processo de transporte dessas amostras. A publicação descreve conceitos e modelos

que podem ajudar os remetentes, destinatários e transportadores a cumprir os requisitos legais exigidos pelas normas vigentes, sendo baseado na RDC 20/2014, nas Normas da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), da Agência Nacional de Transportes Aquaviários e da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT), todos eles contemplados em parágrafos anteriores.

### **Refrigeração das amostras durante o transporte**

Como já foi evidenciado anteriormente, um dos fatores mais importantes para garantir a qualidade dos resultados analíticos é a manutenção da temperatura adequada a cada tipo de amostra biológica. As temperaturas mais comumente estabelecidas para o acondicionamento são a temperatura ambiente, a temperatura refrigerada (2 a 8 graus *Celsius*) e a temperatura congelada.

Para o transporte de material em temperatura ambiente, não é necessário o uso qualquer tipo de refrigeração, exceto nos casos em a temperatura ambiental seja muito elevada, requisitando o uso de gelo reciclável do tipo *gelox*; O transporte de material biológico refrigerado faz uso de *gelox*, congelado previamente em congelador/freezer. Finalmente, para o transporte de material biológico congelado, pode ser usado nitrogênio líquido ou gelo seco (dióxido de carbono sólido). Como a evaporação ocorre rapidamente, são utilizados bem próximo do momento da coleta. Esses materiais são capazes de garantir até -70 graus de congelamento. Quando for usado o gelo seco ou o nitrogênio líquido, a embalagem deve ser projetada e construída para acondicionar tais substâncias com segurança, além de apresentarem identificação externa sobre o seu conteúdo (BRASIL, 2015).

### **2.4 Considerações finais**

O cenário apresentado evidencia que a Internet das Coisas (IoT) apresenta as ferramentas necessárias para contribuir com a acurácia dos diagnósticos baseados em análises laboratoriais através do monitoramento das condições físicas ambientais a que são submetidas as amostras biológicas durante o percurso entre a coleta e o recebimento nos locais de análise. Nesse contexto, faz-se de grande importância o desenvolvimento de um sistema de detecção e registro automatizado da temperatura, umidade relativa do ar e intensidade luminosa em que o material foi exposto durante

o percurso entre uma instituição e outra. Embora existam produtos para o monitoramento de temperatura e umidade disponíveis no mercado, o investimento é considerado relativamente alto, principalmente quando os potenciais usuários são laboratórios clínicos ou de pesquisa públicos.

### **3. JUSTIFICATIVA**

Nas pesquisas ou análises diagnósticas envolvendo amostras biológicas, a degradação do material por falhas na logística do transporte, como por exemplo condições ambientais inadequadas, podem acarretar em resultados incorretos ou não reproduzíveis. Atualmente, remetente e destinatário devem fiar-se somente da credibilidade e garantias que as empresas lhes oferecem, sem maiores informações sobre as reais condições em que o material foi transportado. Assim, faz-se de grande importância o desenvolvimento de um dispositivo para detecção e registro automatizado das condições físicas em que o material foi exposto durante o percurso entre uma instituição e outra.

### **4.OBJETIVOS**

#### **4.1 Gerais**

Propor um modelo com os parâmetros técnicos necessários para o desenvolvimento de um protótipo de um dispositivo eletrônico microcontrolado aplicado ao monitoramento autônomo de indicadores ambientais, interconectado a sensores captadores de umidade, temperatura e luminosidade, bem como um dispositivo de mídia para armazenamento e controle dos dados captados, de baixo custo, utilizando Internet das Coisas.

#### **4.2 Específicos**

- Realizar um levantamento dos requisitos físicos ambientais necessários para a conservação e estabilidade de amostras biológicas;
- Identificar tecnologias de sensores adequados para o registro das condições ambientais em que as amostras são transportadas;
- Especificar o modelo do protótipo de um dispositivo que interconecte microcontrolador, sensores e mídia.

- Definir um método de armazenamento dos dados coletadas pelos sensores, para um acesso aos dados de forma prática e segura.

## **5. METODOLOGIA**

### **5.1 Local do desenvolvimento**

O projeto foi desenvolvido no LTIA (Laboratório de Tecnologia da Informação Aplicada) da Universidade Estadual Paulista - UNESP, *campus* de Bauru, em colaboração entre os doutorandos Faberson A. Ferrasi e Emerson C. S. Ferrasi, sob orientação do Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado.

### **5.2 Histórico de desenvolvimento**

O desenvolvimento do presente estudo seguiu as etapas descritas abaixo:

- 1) Pesquisa sobre as condições críticas estabelecidas pelos órgãos regulamentadores para transporte de amostras biológicas no Brasil e no mundo.
- 2) Pesquisa sobre quais os dispositivos de monitoramento de temperatura e umidade disponíveis no mercado brasileiro e custos ao consumidor final.
- 3) Revisão bibliográfica sobre as tecnologias e componentes disponíveis para a produção de um dispositivo que capte e armazene os dados de temperatura, umidade e luminosidade de um ambiente.
- 4) Elaboração de modelo esquemático do dispositivo na plataforma de simulação de projetos e Arduínos Tinkercad, disponível em <https://www.tinkercad.com/things>.
- 5) Verificação de investimentos necessários para a produção de protótipo de baixo custo.
- 6) Aquisição dos componentes.
- 7) Montagem e escolha do modelo com maior potencial para tornar-se um protótipo viável.
- 8) Testagem da funcionalidade dos sensores.
- 9) Validação do dispositivo sob várias condições ambientais de transporte.

### **5.3 Tecnologias empregadas**

Nesta seção serão apresentados os principais componentes que foram utilizados para compor o dispositivo e como estes foram organizados para comunicarem-se entre si.

#### **5.3.1 Componentes**

##### **ESP32 NodeMCU**

Microcontrolador usado para integrar os sensores do dispositivo, cuja função é o gerenciamento das partes conectadas a ele e o processamento e a integração dos resultados obtidos.

##### **Sensor captador LDR**

O LDR (*Light Dependent Resistor*) tem a capacidade de converter espectro de luz em um sinal digitalizado que pode ser quantificado para fim de mensuração de exposição a intensidade de luz.

##### **Sensor DHT22**

Tem a recursividade de obtenção, de forma simultânea, os valores de umidade relativa do ar e temperatura, convertendo-os em dados que possam ser processados e armazenados.

##### **Mini Data Logger RTC**

Possibilita o registro da data e hora corrente, permitindo que a captura dos eventos possam ser identificadas no momento exato em que ocorreram, fazendo o registro fidedigno dos eventos para posterior leitura e comparação.

##### **Cartão Micro SD**

Recurso de armazenamento de todos os dados recebidos dos sensores e processados pelo microcontrolador. Os dados são encerrados em um arquivo do tipo texto, permitindo que possam ser lidos em computadores ou transmitidos por meio de um dispositivo sem fio.

### 5.3.2 Linguagem de Programação

A Linguagem C foi desenvolvida por Dennis Ritchie nos laboratórios da Bell Telephone em 1972, originando-se com o propósito no desenvolvimento de uma nova versão do sistema operacional Unix, foi derivada das linguagens BCPL e Algol (DEITEL; DEITEL, 2011). Destaca-se por ser uma linguagem gratuita e amplamente utilizada no desenvolvimento da maioria dos sistemas operacionais atuais dos *smartphones* aos computadores pessoais e servidores. Está disponível para a maioria dos computadores, permitindo que um mesmo código de programação possa ser portátil para vários tipos de ambientes de programação.

### 5.3.3 Comunicação entre os componentes

Ao ser inicializado, o microcontrolador ESP32 NodeMCU verifica a existência, no módulo do cartão Micro SD, do arquivo de armazenamento dos dados das leituras. Caso não exista este criará o arquivo, se existir ele o utilizará para armazenar os registros das leituras subsequentes. Na inicialização do dispositivo, caso haja carga de bateria suficiente, o *led* indicador será iluminado, caso contrário, o *led* indicador não se iluminará.

O dispositivo está programado para fazer um ciclo de leitura de informações a cada intervalo de tempo pré-determinado. Nos intervalos de tempo entre cada momento de leitura, o sistema ficará em latência (dormência), o que garantirá economia de energia ao dispositivo. A cada ciclo de leitura, os dados coletados pelos sensores LDR (luz), DHT22 (umidade e temperatura) são armazenados juntamente com data e hora do evento pelo *Data Logger* em uma nova linha do arquivo no cartão do módulo Micro SD. O ciclo se repete até o dispositivo ser desligado ou a bateria cessar a sua carga.

### 5.3.4 Acesso dos dados

Como o meio de armazenamento se dá pelo módulo de cartão Micro SD, o arquivo texto pode ser lido em qualquer computador, independente do sistema operacional, havendo necessidade, apenas de uma entrada Micro SD ou de um adaptador USB. O arquivo contido nesta mídia pode ser copiado e até mesmo apagado, para a reutilização do dispositivo, quantas vezes o usuário assim o desejar.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultou desse estudo, a definição dos parâmetros técnicos necessários para o desenvolvimento de um **Protótipo de Dispositivo Eletrônico Microcontrolado** para **registro e armazenamento** de valores de temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade para monitoramento autônomo durante o transporte de amostras biológicas, esquematizado na figura 8, descrito a seguir e ilustrado nas figuras 9, 10, 11 e 12:

### **Descrição do modelo proposto para o protótipo:**

O dispositivo consiste numa caixa plástica, tipo patola, com as dimensões de 120 mm x 82mm x 37mm que acondiciona em seu interior os componentes eletrônicos:

- Placa de circuito com dimensões de 7cm x 5cm, denominada ESP32 NodeMCU (38 pinos). A placa possui um conversor USB serial integrado e porta micro USB para energização e transmissão de dados e um microcontrolador ESP32 CPU: Xtensa® Dual-Core 32-bit dual-core, 240Mhz de Clock, memória flash de 4mb e memória RAM de 520kbytes, conectividade via rádio frequência Wifi (802.11b/g/n) e Bluetooth 4.2.
- Ligados à placa ESP32 NodeMCU estão:
  - a) Sensor captador LDR (Light Dependent Resistor), cuja resistência varia de acordo com a intensidade da luz. Opera em tensão máxima de 150VDC e potência máxima de 100mW, espectro de 540nm, com a resistência no escuro de 1M $\Omega$  (Lux 0) e na luz entre 10 a 20 K $\Omega$  (Lux 10);
  - b) Sensor DHT22 modelo AM302, captador duplo de umidade relativa do ar e temperatura. Opera sob tensão entre 3 a 5VDC (5,5VDC máximo), faixa de medição de umidade relativa do ar (UR) entre 0 a 100%, faixa de medição de temperatura entre -40°C a +80°C, precisão de umidade de medição de aproximadamente 2,0% UR e temperatura aproximadamente 0,5°C. Opera a 2,5mA de corrente, com tempo de resposta de 2 segundos;
  - c) Mini Data Logger RTC (*Real Time Clock*), composto por controlador de contagem do tempo (ciclos de clock) e slot para entrada de cartão micro SD

(*Secure Digital Card*), responsável armazenamento dos dados capturados pelos sensores e gerenciados pelo microcontrolador;

d) Cartão Micro SD;

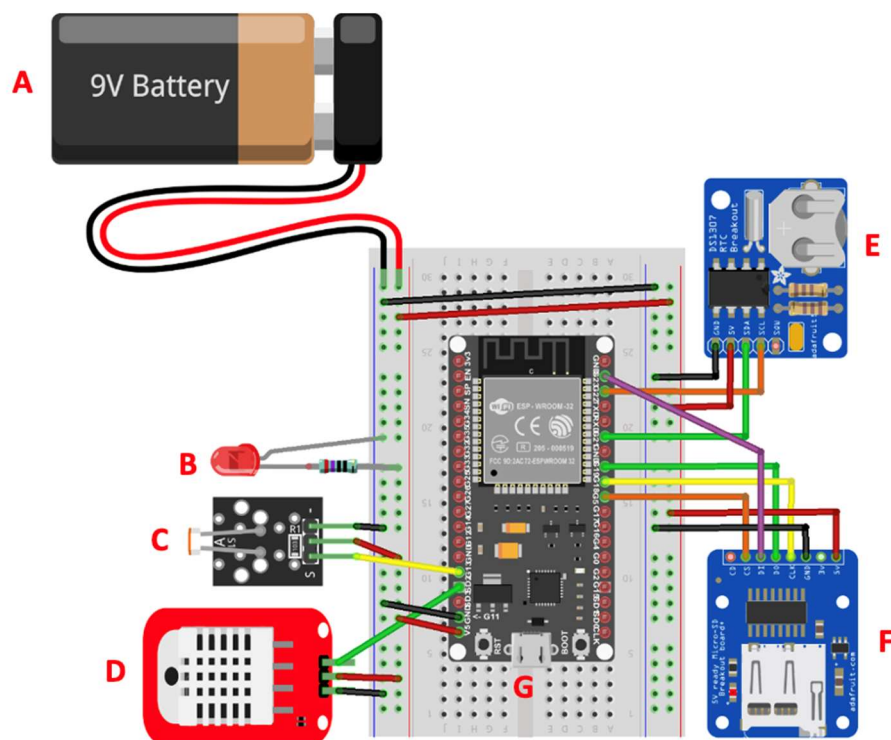
e) O diodo emissor de luz LED (*Light-Emitting Diode*), indicador de funcionamento de circuitos eletrônicos;

f) Chave liga/desliga com polos positivo e negativo, controlador do fluxo de eletricidade por um contato metálico;

g) Bateria de energia (9v). Tais componentes eletrônicos são interligados por fios de cobre, energizados pela bateria externa de 9v.

A operacionalização do microcontrolador, bem como os sensores, ocorre *via* software embarcado, ou seja, o arquivo compilado de inicialização, captura e gravação das informações é transferido (uma única vez) para a memória flash do ESP32, via comunicação serial com um computador convencional modelo PC (*Personal Computer*). O código fonte foi escrito em linguagem de programação C.

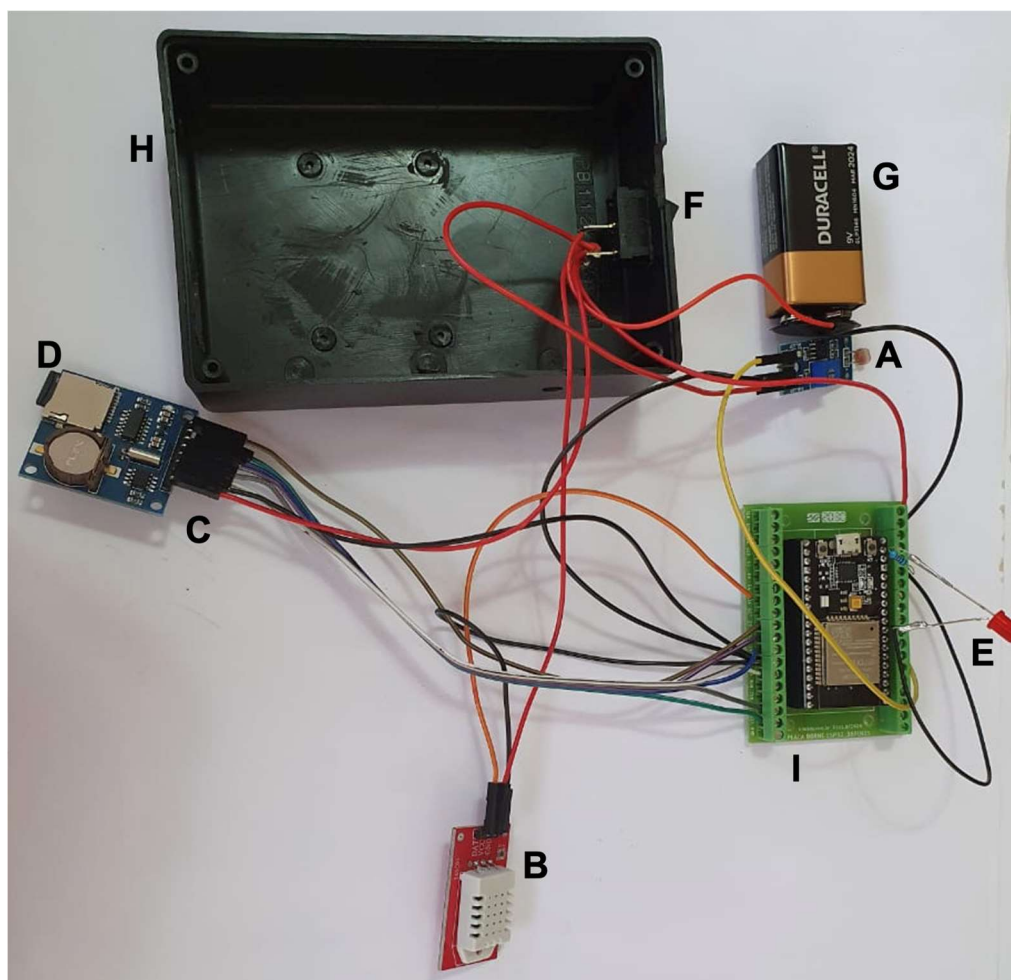
A principal funcionalidade do dispositivo é a captação autônoma de dados relativos aos indicadores físicos ambientais luminosidade, temperatura e umidade. Tais informações são catalogadas em arquivo texto e armazenadas sequencialmente, de forma intervalada de tempo, no cartão micro SD alocado no dispositivo. As informações gravadas no cartão micro SD poderão ser acessadas e lidas a partir de qualquer leitor de cartão SD, como por exemplo computadores pessoais, tablets, smartphones, entre outros.



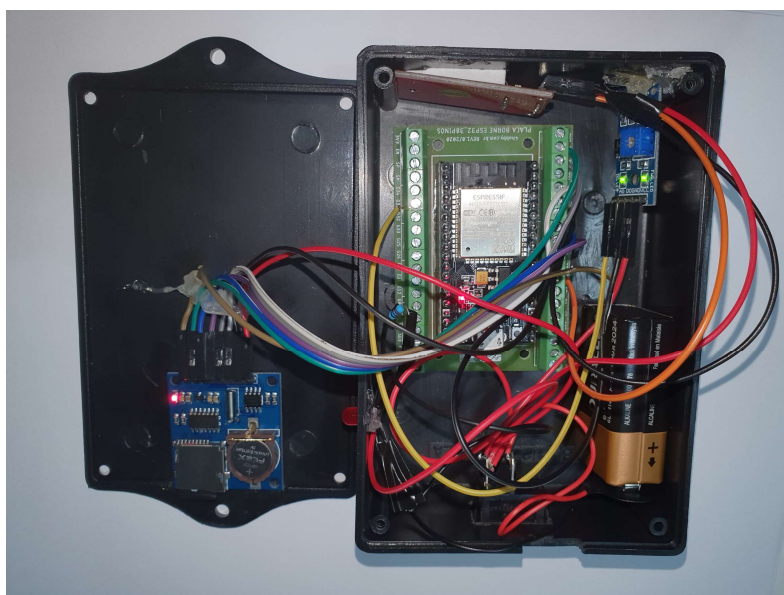
**Figura 8. Projeto esquemático do dispositivo de captação de variáveis ambientais.** A) Bateria; B) LED; C) LDR (*Light Dependent Resistor*); D) DHT22 (Sensor de temperatura e umidade); E) Data Logger (registro de data e hora); F) SD-CARD (cartão de armazenamento dos dados); G) ESP32 NodeMCU (microcontrolador)



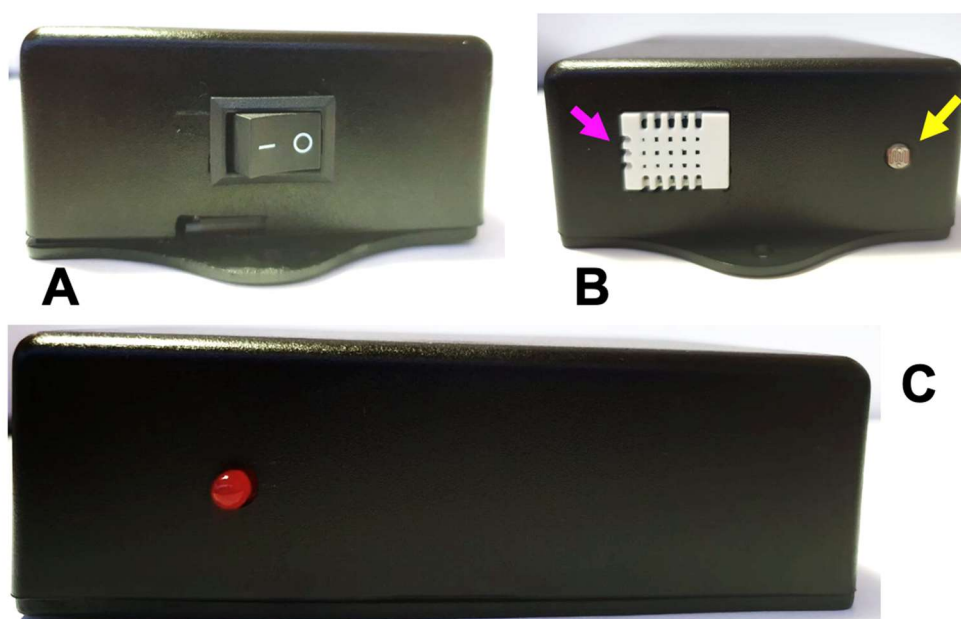
**Figura 9.** Imagem externa do Dispositivo de Captação de Variáveis Ambientais.



**Figura 10. Dispositivo de Captação de Variáveis Ambientais.** Composto por: A) Sensor captador LDR (Light Dependent Resistor); B) Sensor DHT22 modelo AM302 (temperatura e umidade); C) Mini Data Logger RTC; D) Cartão Micro SD; E) Indicador de funcionamento LED (Light-Emitting Diode; F) Chave liga/desliga; G) Bateria de energia (9v); H) Caixa de plástico tipo “patola”; I) Microcontrolador ESP32 NodeMCU (38 pinos).



**Figura 11.** Dispositivo de Captação de Variáveis Ambientais montado.



**Figura 12. Características externas do Dispositivo.** a) Lateral onde está localizado o botão liga/desliga; b) Lateral que abriga os sensores de luminosidade (seta amarela) e temperatura/umidade (seta magenta); c) Lateral que exhibe o LED indicador de funcionamento do dispositivo.

A seguir são apresentados os dados de captura das variáveis ambientais, como são gravados no dispositivo de armazenamento:

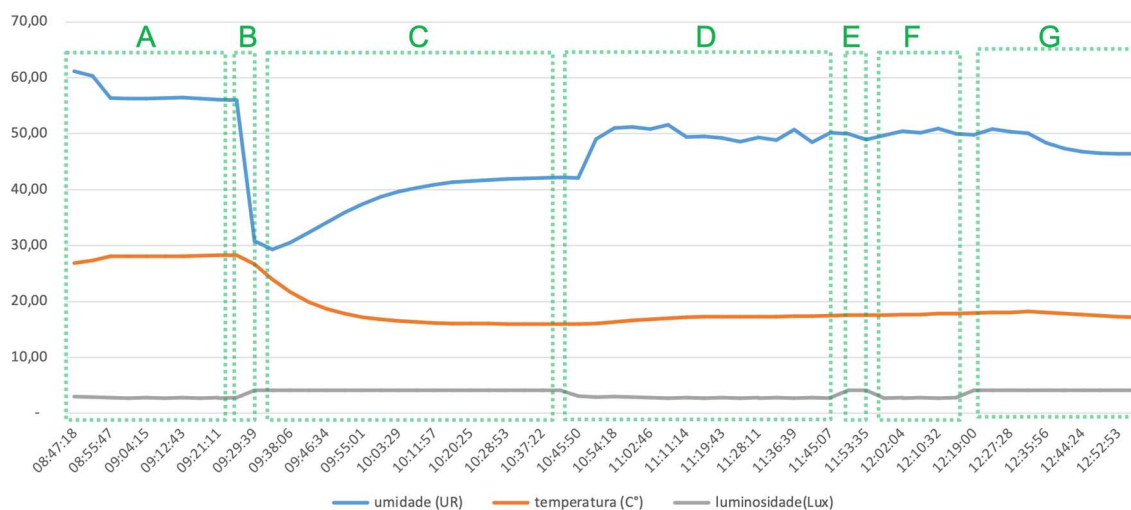
```
{"datahora":"18/02/2021 14:26:00","umidade":36.50,"temperatura":29.10,"luminosidade":3254}  
{"datahora":"18/02/2021 14:27:00","umidade":41.60,"temperatura":28.00,"luminosidade":4095}  
{"datahora":"18/02/2021 14:28:00","umidade":42.20,"temperatura":27.90,"luminosidade":4095}  
{"datahora":"18/02/2021 14:29:00","umidade":42.10,"temperatura":27.50,"luminosidade":4095}
```

A figura 13 ilustra uma caixa de transporte de amostras e a simulação do acondicionamento do dispositivo junto a algumas amostras, para testagem da sua funcionalidade.



**Figura 13.** Imagem ilustrativa de uma caixa térmica de transporte e do dispositivo acondicionado em seu interior, juntamente com amostras biológicas para testagem de sua funcionalidade.

Na figura 14 podemos observar um gráfico gerado a partir dos dados coletados durante a utilização do dispositivo durante o transporte das amostras em um percurso que durou aproximadamente nove horas e cinco minutos.



**Figura 14.** Gráfico gerado com os dados de variação ambiental captados pelo dispositivo durante o transporte de amostras biológicas em um percurso com duração de aproximadamente nove horas e cinco minutos. As linhas azul, laranja e cinza indicam umidade, temperatura e luminosidade, respectivamente. A área definida com retângulos pontilhados verdes indicam as situações-teste: A) caixa aberta e vazia (sem amostra); B) inserção da amostra na caixa; C) caixa fechada; D) caixa aberta; E) fechamento da caixa; F) caixa aberta; G) caixa fechada.

### Diferencial do dispositivo em comparação aos outros no mercado atual

A captação e armazenamento dos dados de luminosidade ambiente é o primeiro diferencial no presente dispositivo, sendo que os já disponíveis no mercado possuem sensores apenas para a temperatura e umidade. A informação acerca da luminosidade no interior das caixas de transporte não apenas acrescentará uma informação importante sobre uma condição que muitas vezes altera os resultados analíticos laboratoriais, como também indicarão se, e quantas vezes, a caixa de armazenamento foi aberta durante o transporte. O segundo diferencial é a possibilidade de reutilização do dispositivo, por quantas vezes o usuário assim o desejar. A maioria dos produtos disponíveis no mercado limitam o uso a uma ou poucas vezes. Por último, o custo final do dispositivo é inferior a maioria dos disponíveis no mercado. Isso foi possível pelo uso de micro-controladores e plataformas de programação projetados a partir de tecnologias de acesso aberto (*open source*). Tais atributos devem contribuir com a confiabilidade nos resultados de exames analíticos e o seu baixo custo relativo devem interessar principalmente aos

potenciais usuários de laboratórios clínicos ou de pesquisa públicos, que já trabalham em uma faixa estreita de recursos.

### Potenciais aplicações

O dispositivo é aplicável à detecção e registro de dados de temperatura, umidade e luminosidade do interior de caixas utilizadas no transporte de qualquer material sensível a essas condições. Além de amostras biológicas para exame laboratorial, outros materiais poderiam ser monitorados, como vacinas e soros, medicamentos, bolsas de sangue e derivados, órgãos e tecidos para transplante, alimentos, entre outros.

### Desvantagens

O dispositivo é aplicável apenas à materiais que estejam armazenados em caixas de transporte e considera as condições do seu interior como “condições ambientais”. Assim, não é adequado a sua utilização para monitorar as condições de qualquer material que não esteja encerrado em um ambiente isolado das condições externas.

### Custos para desenvolvimento de uma unidade do protótipo

Na tabela 1 estão dispostos todos os componentes utilizados para a elaboração do protótipo, bem como seus custos para compra no varejo:

**Tabela 1.** Custo\* aproximado dos componentes utilizados no protótipo do dispositivo de monitoramento das condições físicas ambientais de transporte de amostras biológicas.

Componente	Qtde	Valor Unit. (R\$)	Total (R\$)
Microcontrolador ESP32	1	50,00	50,00
Mini Data Logger RTC	1	23,00	23,00
Lâmpada LED	1	0,25	0,25
Sensor LDR (Luz)	1	7,50	7,50
Sensor DHT22 (temp/umid)	1	28,00	28,00
Cartão Mem. MicroSD 64GB	1	25,00	25,00
Placa Adaptadora Borne	1	30,00	30,00
Caixa tipo patola	1	12,00	12,00
Bateria 9v	1	12,00	12,00
Cabos	20	0,50	10,00
<b>Custo Final:</b>			<b>R\$ 197,75</b>

\*valores de venda a varejo em janeiro de 2023.; Qtde. = Quantidade; Unit. = Unitário

Ressalta-se que os valores acima informados são os praticados no varejo para compra unitária dos componentes, caso a aquisição seja realizada em lotes no atacado, os custos serão reduzidos consideravelmente para a produção em maior escala.

Os produtos similares disponibilizados para venda final são comercializados a valores a partir de R\$ 250,00 até R\$ 700,00. Todos eles não disponibilizam a detecção de luminosidade.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados do presente estudo mostraram que as ferramentas disponíveis em Internet das Coisas (IoT) podem contribuir para garantir a qualidade e acurácia dos diagnósticos baseados em análises laboratoriais. O monitoramento das condições físicas ambientais a que são submetidas as amostras biológicas durante o percurso entre a coleta e o recebimento nos locais de análise permitirá ao profissional da saúde confiar na qualidade dos resultados obtidos em suas análises ou fornecerá subsídios para que solicite nova coleta por desconformidades pré-analíticas. Após revisão sobre as condições físicas ambientais necessárias à estabilidade dos espécimes biológicos, ficou evidente que a temperatura, a umidade relativa do ar e a luminosidade estão entre os fatores mais críticos. Existem produtos para o monitoramento de temperatura e umidade disponíveis no mercado, contudo, o investimento é considerado relativamente alto, principalmente quando os potenciais usuários são laboratórios clínicos ou de pesquisa públicos, que já trabalham em uma faixa estreita de recursos. O baixo custo relativo do dispositivo proposto no presente estudo e o potencial de aplicação ao rastreamento de amostras biológicas, entre outros materiais, nos motivam a conduzir novos estudos para viabilizar a sua produção em larga escala.

## **8. REFERÊNCIAS**

AIRES, C. A. M. et al. Biossegurança em transporte de material biológico no âmbito nacional: um guia breve. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 2015 Jun; v. 6, n. 2, p. 73-81.

AMELLAL, B. et al. Stability of HIV RNA in plasma specimens stored at different temperatures. *HIV Med.* 2008 Oct; 9(9):790-3

ANAC. Agência Nacional de Aeronáutica. Instrução Suplementar Nº 175-004 Revisão C de 22 de setembro de 2020. Disponível em:

<[https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-175-004c/@@display-file/arquivo\\_norma/IS%20175-004C.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-175-004c/@@display-file/arquivo_norma/IS%20175-004C.pdf)> Acesso: 17/12/2020.

ANAC. Agência Nacional de Aeronáutica. REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL RBAC nº 175: Transporte de Artigos Perigosos em Aeronaves Civis. 2009. Disponível em: [https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-175/@@display-file/arquivo\\_norma/RBAC175.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-175/@@display-file/arquivo_norma/RBAC175.pdf) Acesso: 17/12/2020.

ANDRADE A., SOMA A., EIKI C. (2016). Automação de baixo custo baseada no Raspberry Pi. UFABC. DOI: 10.13140/RG.2.1.1282.3920.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Resolução Nº 2239 de 15 de setembro de 2011. Disponível em: <<http://sophia.antaq.gov.br/terminal/acervo/detalhe/7264?guid=4281b8a16d7a2453f99a&returnUrl=%2fterminal%2fresultado%2flistarlegislacao%3fguid%3d4281b8a16d7a2453f99a%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d7264%237264&i=1>> Acesso: 12/11/2020.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução 420. Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos. 2004. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/1420/Resolucao\\_420.htm](http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/1420/Resolucao_420.htm)>. Acesso: 21/06/2020.

ANTT. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução 5848. Atualiza o Regulamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos e dá outras providências. 2019. Disponível em: <[https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00005848&seqAto=000&valorAno=2019&orgao=DG/ANTT/MI&codTipo=&desltem=&desltemFim=&cod\\_menu=5408&cod\\_modulo=161](https://anttlegis.antt.gov.br/action/ActionDatalegis.php?acao=detalharAto&tipo=RES&numeroAto=00005848&seqAto=000&valorAno=2019&orgao=DG/ANTT/MI&codTipo=&desltem=&desltemFim=&cod_menu=5408&cod_modulo=161)> 2019. Acesso: 21/06/2020.

ANVISA. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. “Manual de vigilância sanitária sobre o transporte de material biológico humano para fins de diagnóstico clínico”. 47p, 2015.

Disponível<<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33840/330551/Manual+de+Transporte+de+Material+Biol%C3%B3gico/277cf036-7e67-464a-8ba5-be5f72c326b4>> Acesso: 24/11/2019.

ARDUÍNO. Arduíno UNO Rev. 3. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>> Acesso: 11/11/2020.

ASHTON, K. That 'Internet of Things' Thing. RFID Journal, 2009.

BRAGA T.; RUIZ L.; NOGUEIRA J. Tecnologia de nós sensores sem fio. UFMG. 2003. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~linnyer/ufmgnossensores.pdf> Acesso: 10/01/2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Manual de vigilância sanitária sobre o transporte de material biológico humano para fins de diagnóstico clínico – Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), 2015.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n. 20, de 10 de abril de 2014. Dispõe sobre o regulamento sanitário para o transporte de material biológico humano. Diário Oficial da União [Internet], Brasília, p. 67, 11 abr. 2014.

Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d287058043c1f708933bbb664d62d08e/RDC\\_20\\_2014\\_Transporte\\_Material\\_Biologico.pdf](http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/d287058043c1f708933bbb664d62d08e/RDC_20_2014_Transporte_Material_Biologico.pdf)> Acesso: 03/03/2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária; BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Portaria Conjunta ANVISA/SAS Nº 370 de 07/05/2014. Dispõe sobre regulamento técnico-sanitário para o transporte de sangue e componentes. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 maio 2014. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/582410804492b8d49929db281231adb/Portaria+Conjunta+MS+Anvisa+370+2014.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso: 23/11/2020.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 6.538 de 22 de junho de 1978. disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L6538.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6538.htm)> Acesso: 12/01/2021.

BRENTANI, H. et al. The generation and utilization of a cancer-oriented representation of the human transcriptome, using Expressed Sequence Tags. PNAS, v.100, p.13418-13423, 2003.

BURIN M., et al. Effect of collection, transport, processing and storage of blood specimens on the activity of lysosomal enzymes in plasma and leukocytes. Braz J Med Biol Res. 2000 Sep; 33(9):1003-13.

CARRARO P., PLEBANI M. Errors in a stat laboratory: types and frequencies 10 years later. Clinical chemistry. 2007 July; v. 53, n. 7, p.1338–42.

CAVALCANTE M. A., TAVOLARO C. R. C.; MOLISANI E. Física com arduino para iniciantes. Revista Brasileira de Ensino de Física. 2011. v.33, n.4, p4503.

CHAWLA, R. et al. Identification of the Types of Preanalytical Errors in the Clinical Chemistry Laboratory: 1-Year Study at G.B. Pant Hospital. Laboratory Medicine. 20 Jan. v.41, n.2, p.89–92.

CNS. Conselho Nacional de Saúde. Regulamentação do armazenamento e utilização de material biológico humano no âmbito de projetos de pesquisa, Res CNS nº 347 (13 jan, 2005). Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/docs/Reso347.doc>

CNS. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 441, de 12 de maio de 2011. Diretrizes para análise ética de projetos de pesquisas que envolvam armazenamento de material biológico humano ou uso de material armazenado em pesquisas anteriores. Diário Oficial União. 18 de julho de 2011; Seção 1:60-61. Disponível em: <http://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2011/Reso441.pdf>.

DACHYAR M., ZAGLOEL T.Y.M., SARAGIH L.R. Knowledge growth and development: internet of things (IoT) research, 2006-2018. Heliyon. 2019 Aug 28;5(8):e02264.

DEITEL, H.M.; DEITEL, P.J. C: como programar. 6.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 848p.

ECT. Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos. Disponível em: <<http://www.upu.int/UPU/media/upu/files/postalSolutions/programmesAndServices/postalSupplyChain/customs/listCustomsProhibitedArticlesEn.pdf>> Acesso: 12/01/2021.

ESPRESSIF. ESP32 NodeMCU. ESP32-DevKitC V4 Getting Started Guide. Disponível em: <<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html> > Acesso: 06/10/2022.

FODY E. P. Preanalytic variables. A management problem. Clin Lab Med. 1983 Sep; 3(3):525-40.

GELBICOVÁ, T.; KOUDELKOVÁ, S. The rules for the transport of microorganisms. Epidemiol Mikrobiol Imunol. 2012; 61(3):67-71

GUIMARÃES A. C. et al. Laboratório Clínico e os Erros Pré-Analíticos. Rev HCPA, 2011; v.31, n.1, p.66–72.

IBRAHIM, D. The Complete ESP32 Projects Guide. 1a. ed. [S.l.]: Elektor Digital, 2017.

KELLY, J.T. et al. The Internet of Things: Impact and Implications for Health Care Delivery. J Med Internet Res. 2020 Nov 10;22(11):e20135.

KOLBAN, N. Kolban's book on ESP32. [S.l.]: Leanpub, 2018

LIMA-OLIVEIRA, G. D. S. et al. Controle da qualidade na coleta do espécime diagnóstico sanguíneo : iluminando uma fase escura de erros. J Bras Patol Med Lab, 2009, v.45, n.6, p.441–447.

MANZANO J.A.N.G. Introdução à linguagem Python São Paulo: Novatec Editora, 2018

MENDES M. E. Avaliação da implantação de um sistema de qualidade em laboratório clínico público. 1998. Tese (Doutorado) – Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

O'GRADY K.A. et al. Mailed versus frozen transport of nasal swabs for surveillance of respiratory bacteria in remote Indigenous communities in Australia. BMC Infect Dis. 2013 Nov; 13(543):1-7.

OLSON W.C. et al. Shipping blood to a central laboratory in multicenter clinical trials: effect of ambient temperature on specimen temperature, and effects of temperature on mononuclear cell yield, viability and immunologic function. J Transl Med. 2011 Mar; 9(26):1-13.

ORACLE. O QUE É IOT? Disponível em: <<https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot.html>>. Acesso em: 19/12/2020.

PARDINI, M.I.M.C. et al. Boosting virology in Brazil. PLoS Biol, v.6, e57, 2008.

PLEBANI M. Quality Indicators to Detect Pre-Analytical Errors in Laboratory Testing. Clin Biochem Rev, v. 33, n. August, p. 85–88, 2012.

PLEBANI M., CARRARO P. Mistakes in a stat laboratory: types and frequency. Clinical chemistry, 1997 Aug; v.43, n.8, p.1348–51.

PRECEDENCE RESEARCH. Internet of Things (IOT) in Healthcare Market Report 2022-2030, 2022. Disponível em: <https://www.precedenceresearch.com/internet-of-things-in-healthcare-market>. Acesso: 07/01/2023.

RASPBERRY PI FOUNDATION. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/software/>> Acesso: 10/01/2021.

- RASPBERRY PI. Raspberry Pi Foundation. 2021. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/about/>> Acesso: 27/01/2021
- SANTOS, B.P. et al. Internet das Coisas: da Teoria à Prática. (2016). 50p. Disponível em: < <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>> Acesso em: 12/10/2021.
- SCHILDT, H. C Completo e Total, 3ª Edição revisada e atualizada, São Paulo: Makron Books, 1996. 816p.
- SIMPSON, A. J. G. et al. The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. *Nature*, v.406, p.151-157, 2000.
- SOGAYAR, M.C. et al. A Transcript Finishing Initiative for Closing Gaps in the Human Transcriptome. *Genome Research*, v.14, p.1-11, 2004.
- SPARKFUN. Humidity and Temperature Sensor. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/products/10167>> Acesso: 11/08/2020.
- VIDA DE SILÍCIO. Sensor de Luz LDR Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-luz-com-ldr/>> Acesso: 12/12/2020.
- WEISER, M. The computer for the 21st century. *Scientific American*, v. 265, n. 3, 1991.
- WHO. World Health Organization. (2019). Guidance on regulations for the transport of infectious substances 2019 – 2020. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/325884>>. Acesso: 12/08/2020.
- WHO. World Health Organization. (2023). Coronavirus disease (COVID-19) Weekly Epidemiological Updates and Monthly Operational Update. Disponível em: < <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>>. Acesso: 12/01/2023.
- XU, L.D.; HE, W.; LI, S. Internet of Things in Industries: A Survey. *IEEE Trans. Ind. Inf.* 2014; 10:2233–2243.
- YANG, C.; SHEN, W.; WANG, X. Internet of Things in manufacturing: An overview. *IEEE SMC*. 2018 May; 4:6–15.
- ZABADAL, B. M.; CASTRO, L.B.; FRANCINNY, B. IoT e Seus Principais Desafios. *Revista Interdisciplinar de Tecnologias e Educação*. 2017 July v3 (1).