

Dissertação de Mestrado Profissional

**MONITORAMENTO REMOTO DE TEMPERATURA PARA A
ARMAZENAGEM DE MATERIAIS BIOLÓGICOS E VACINAS,
APLICADO EM PESQUISA CLÍNICA**

FRANCISCO DIEGO NEGRÃO LOPES NETO

**HOSPITAL DE CLÍNICAS DE PORTO ALEGRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO PROFISSIONAL EM
PESQUISA CLÍNICA**

**MONITORAMENTO REMOTO DE TEMPERATURA PARA A ARMAZENAGEM DE
MATERIAIS BIOLÓGICOS E VACINAS, APLICADO EM PESQUISA CLÍNICA**

Autor: Francisco Diego Negrão Lopes Neto

Orientador: Profa. Ana Paula Beck da Silva Etges

*Dissertação submetida como requisito parcial
para a obtenção do grau de Mestre ao Programa
de Pós-Graduação Mestrado Profissional em
Pesquisa Clínica, do Hospital de Clínicas de
Porto Alegre.*

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

NETO, FRANCISCO DIEGO
MONITORAMENTO REMOTO DE TEMPERATURA PARA A
ARMAZENAGEM DE MATERIAIS BIOLÓGICOS E VACINAS APLICADO
EM PESQUISA CLÍNICA / FRANCISCO DIEGO NETO. -- 2019.
100 f.
Orientador: Ana Paula Etges.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Hospital de Clínicas de Porto
Alegre, Programa de Pós-Graduação em Pesquisa Clínica,
Porto Alegre, BR-RS, 2019.

1. Monitorização de temperatura por telemetria. I.
Etges, Ana Paula, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a direção e administração da EBSEH que oportunizaram a realização deste Mestrado, a janela que hoje vislumbro um horizonte superior.

A Professora Ana Paula Beck da Silva Etges pela orientação, apoio e confiança na elaboração deste trabalho. Também por sempre ter acreditado nas diversas ideias que surgiram ao longo do mestrado, sempre me apoiando, compreendendo e conseqüentemente ganhando meu respeito e admiração.

Sou extremamente grato aos colaboradores do HCPA, especialmente aos setores que me receberam e sugeriram ideias e colaboraram muito com o projeto, motivando, apontando falhas e sugerindo melhorias.

Realizei meu estágio curricular junto ao Serviço de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Biomédica – GPPG, onde o professor Paulo Roberto juntamente com sua equipe se demonstrara muito prestativos, resolutivos e me receberam de modo extremamente positivo, sou muito grato. Também agradeço aos colaboradores do setor de climatização do HCPA, especialmente ao colaborador Garibaldi Rodrigues e sua equipe que compartilhei bons momentos.

Ao Engenheiro Caio Tagliapetra, que juntamente com minha orientadora possibilitaram a realização de testes de verificação de temperatura nos Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica - Labelo – da PUC/RS.

Ao meu pai Francisco Lopes Filho, que me despertou gosto pelas ciências exatas e educação financeira. Com certeza é a pessoa que eu me inspiro todos os dias, amo incondicionalmente e sou muito grato por compartilharmos esse período em que podemos conversar e estar na presença um do outro.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Agradeço a minha colega de mestrado Sônia Francisco dos Santos, por ter me motivado, auxiliado e se tornado minha amiga, por período indeterminado.

Agradeço aos meus colegas do mestrado pelo companheirismo.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

LISTA DE ABREVIATURAS EM PORTUGUÊS

μA	- Microampere
Ah	- Ampere-hora
ANVISA	- Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BCG	- Bacilo de Calmette – Guérin
CPC	- Centro de Pesquisa Clínica
EBSERH	- Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
GHz	- GigaHertz
HCPA	- Hospital de Clínicas de Porto Alegre
kb	- Quilobit
Kbits	- Kilo bits
kΩ	- Kiloohm
mAh	- Miliampere-hora
MHz	- Megahertz
°C	- Graus Celsius
OMS	- Organização Mundial da Saúde
pF	- Picofarads
PNI	- Programa Nacional de Imunizações
RF	- Rede de Frio
RX	- Receptor
SUS	- Sistema Único de Saúde
TX	- Transmissor
UBS	- Unidade Básica de Saúde
URA	- Umidade Relativa do Ar
V	- Volts
VIP	- Vacina Inativada Poliomielite
VOP	- Vacina Oral Poliomielite
Ω	- Ohms

LISTA DE ABREVIATURAS EM INGLÊS

- CSV** - Comma-Separated Values
- EDGE** - Enhanced Data Rates
- GPRS** - General Packet Radio Services
- GPRS** - Global System for Mobile Communications
- HTTP** - Hypertext Transfer Protocol
- IOT** - Internet of Things
- ISM** - Industrial Scientific and medical
- LPWAN** - Low Power Wide Area Network
- RAM** - Random Access Memory
- SMS** - Short Message Service
- VRLA** - Valve Regulated Lead Acid
- WDT** - Watchdog Timer

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cálculo de valores N1 e N2, de acordo com a temperatura obtida	36
Tabela 2: Principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE	41
Tabela 3: Cobertura 2g no Brasil, por municípios	42
Tabela 4: Resultados das verificações realizadas no ponto de 0°C	53
Tabela 5: Intervalo de 95% de confiança para o erro de verificação em 0°C, por tipo de sensor e referência	54
Tabela 6: Resultados das verificações realizadas no ponto de 30°C.....	56
Tabela 7: Intervalo de 95% de confiança para o erro de verificação em 30°C, por tipo de sensor e referência	57
Tabela 8: Consumo energético da Base/Receptor.....	64
Tabela 9: Consumo energético da Termômetro/Transmissor	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Microcontrolador ATmega328, embarcado nas plataformas Nano(a), Uno(b) e Duemilanove(c)	28
Figura 2: Microcontrolador ATmega328	28
Figura 3: Montagem do “Standalone Arduino”	29
Figura 4: Diagrama esquemático da montagem do “Standalone Arduino	29
Figura 5: Módulo de transmissão nRF24L01+ (2,4 GHz)	31
Figura 6: 126 possíveis canais de comunicação, utilizando o módulo nRF24L01+ ..	32
Figura 7: Possibilidade de comunicação oferecida pelo nRF24L01+, utilizando até 6 “pipes” em um mesmo canal	32
Figura 8: Diagrama de comunicação através do nRF24L01+, adotado no projeto ...	33
Figura 9: Sensor DHT22	37
Figura 10: RTC DS3231	38
Figura 11: Módulo SIM 808 EVB v.3.2	39
Figura 12: Câmara Climática Weiss modelo WK111-340	43
Figura 13: calibrador do tipo bloco seco, modelo T-650P	43
Figura 14: Utilização da Eletro fita	47
Figura 15: Revestimento interno de um refrigerador, utilizado no HCPA	48
Figura 16: Leitura no ponto de 0°C: câmara climática Weiss modelo WK111-340 (-0,2°C), DHT22 (0,0°C) e Termistor 10kΩ (0,36°C)	52
Figura 17: Leitura no ponto de 30°C: Câmara climática Weiss modelo WK111-340 (30,1°C), DHT22 (30,2°C) e Termistor 10kΩ (29,31°C)	55
Figura 18: Leitura no ponto de 30°C: Calibrador do tipo bloco seco, modelo T-650P (30,19°C), DHT22 (30,2°C) e Termistor 10kΩ (29,31°C)	55
Figura 19: Confeção do Invólucro de isolamento do sensor DHT22	61
Figura 20: Capturas de Tela, demonstrando a visualização dos dados por meio do aplicativo elaborado	69
Figura 21: Principais elementos apresentados no gráfico de acompanhamento da temperatura instantânea	70
Figura 22: Funcionalidade do elemento A, registro de máximo e mínimo absoluto ..	71

Figura 23: Funcionalidade de download de dados históricos de registros de temperatura, por meio do aplicativo.....	72
Figura 24: Funcionalidade alarme sonoro, implementada por meio do aplicativo.....	73
Figura 25: Diagrama visual da base/receptor.....	76
Figura 26: Diagrama esquemático da base/receptor.....	77
Figura 27: Diagrama visual do termômetro/transmissor.....	78
Figura 28: Diagrama esquemático do termômetro/transmissor.....	79
Figura 29: Informações presentes no display da base.....	80
Figura 30: Fotografia da base, operando remotamente por meio da bateria interna.	81
Figura 31: Fotografia da carenagem do Termômetro, registrado no setor de climatização do HCPA.....	82
Figura 32: Arduino MRK WAN 1300.....	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características Ideais de Conservação, para Vacinas Atenuadas ou Inativadas.....	22
Quadro 2: Resultados dos testes de equivalência do sensor DHT22, por tipo de referência e diversos valores de margem de tolerância.....	62
Quadro 3: Relação entre tipos de bateria e locais de aplicação.....	67
Quadro 4: Custos para fabricação do Termômetro/Transmissor.....	84
Quadro 5: Custos para fabricação da Base/Receptor	85
Quadro 6: Faixas de operação LoRaWanTM, por país	87
Quadro 7: Faixas de operação LoRaWanTM, por país	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Performance de baterias em baixas temperaturas	45
Gráfico 2: Variação da tensão por tempo, em diferentes faixas de temperatura.....	46
Gráfico 3: Comparativo de acuracidade, por tipo de sensor e por padrão de referência, no ponto de 30°C	58
Gráfico 4: Comparativo de acuracidade, por tipo de sensor e por padrão de referência, no ponto de 0°C	59
Gráfico 5: Valores críticos de margem de tolerância, para teste de equivalência, avaliados por ponto e tipo de referencial	63

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1: Obtenção do parâmetro N1	34
Fórmula 2: Obtenção do parâmetro N2.....	34
Fórmula 3: Obtenção da temperatura, a partir de N1 e N2	35

RESUMO EM PORTUGUÊS

O trabalho se propõe a desenvolver uma solução de monitoramento remoto para congeladores e demais recipientes que conservem materiais que requerem um rigoroso acompanhamento de temperatura, como por exemplo vacinas, materiais termolábeis e biológicos. Estes elementos podem correr o risco de se deteriorar ou perder sua eficácia quando mantidos fora dos parâmetros ideais de temperatura.

A elaboração do projeto de monitorização remota de temperatura foi desenvolvida em Arduino, que consiste em uma plataforma prototipagem *Open Source*. A transmissão dos dados mensurados no interior do congelador é realizada por meio de ondas eletromagnéticas, na faixa de 2,4GHz, com alcance estimado de aproximadamente 50 metros. Por fim, os dados de temperatura são captados por uma base e retransmitidos por meio de SMS e GPRS para uma central onde o histórico é arquivado, de modo a facilitar a consulta dos dados.

Com a colaboração do setor de climatização do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA), foram realizados testes em congeladores ativos, assim possibilitando a avaliação do protótipo em condições reais de trabalho.

Foram realizados testes de equivalência das medições de temperatura fornecidas pelo protótipo, comparou-se os valores obtidos com dois padrões de calibração de sensores, de modo a avaliar a performance nos pontos de 0°C e 30°C. Calculou-se o valor limítrofe para a margem de tolerância, considerando 5% de significância, se concluiu pela equivalência das medições do protótipo para margens de tolerância maiores que 0,22318°C. Diante da constatação da equivalência das medições de temperatura do protótipo, pretende-se disponibilizá-lo para futuras aplicações em pesquisa clínica desenvolvidas no HCPA, especialmente em estudos que envolvam o transporte de medicamentos imunobiológicos ou termolábeis.

Palavras-chave:

monitoramento remoto, temperatura de vacinas, material biológico, telemetria, temperatura por telemetria.

ABSTRACT

This study proposes the development of a remote monitoring solution for freezers and other containers to act in the refrigeration of materials that require a rigorous temperature control, such as vaccines, thermolabile and bio-logical materials. These elements present a risk of deterioration or loss of immunodeficiency when kept outside the ideal temperature parameters.

The prototyping of the sensor and other components of remote temperature control was developed in Arduino, which consists of an Open Source prototyping platform. Transmission of the measured data inside the freezer is carried out by electromagnetic waves, in the range of 2.4GHz, with a range of up to 50 meters. Finally, the temperature data is captured by a base and retransmitted through SMS and GPRS to a central where the history is archived, in order to facilitate the consultation of the data.

With the collaboration of the air conditioning sector of the Hospital de Clínicas de Porto Alegre (HCPA), tests have been carried out in active freezers, thus enabling the evaluation of the prototype under real conditions.

Equivalence tests of the temperature measurements provided by the prototype have been performed, the measured values compared with two calibration standards of sensors, in order to evaluate the performance at the 0°C and 30°C points, the threshold value was calculated for the tolerance range , considering 5% of significance, it was concluded by the equivalence of the measurements of the prototype for tolerance margins greater than 0,22318°C.

Considering the equivalence of temperature measurements of the prototype, it is intended to be available for future applications in clinical research developed at HCPA, especially in studies involving the transport of immunobiological or thermolabile drugs.

Keywords:

remote monitoring, vaccine temperature, biological material, telemetry, temperature by telemetry, eHealth.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
REVISÃO DA LITERATURA.....	18
1.1 CONCEITO DE REDE DE FRIOS	18
1.2 ARMAZENAMENTO DE TERMOLÁBEIS	19
1.3 OUTROS ESTUDOS SOBRE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TELEMETRIA.....	19
JUSTIFICATIVA	22
OBJETIVOS	25
1.4 OBEJTIVO GERAL	25
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
METODOLOGIA.....	26
1.6 CONCEITO DO PRODUTO	27
1.7 MÓDULOS E SENSORES UTILIZADOS	27
1.7.1 <i>Microcontrolador ATmega328</i>	27
1.7.2 <i>nRF24L01+ wireless transceiver 2,4GHz</i>	30
1.7.3 <i>Sensor de temperatura DHT22</i>	37
1.7.4 <i>Módulo Real Time Clock (RTC)</i>	38
1.7.5 <i>Módulo SIM808 EVB (GSM/GPRS)</i>	39
1.8 REDE GSM/GPRS NO BRASIL	40
1.9 VERIFICAÇÃO DA ACURACIDADE NAS AFERIÇÕES	42
1.10 PERFORMANCE DE BATERIAS EM CONDIÇÕES DE BAIXA TEMPERATURA 44	
1.10.1 <i>Adaptação na alocação da bateria, em cenários de baixas temperaturas, próximas a -40°C</i>	47
1.11 ARMAZENAMENTO DOS DADOS (CLOUD STORAGE), UTILIZANDO A PLATAFORMA THINGSPEAK.....	49

1.12 INTEGRAÇÃO ENTRE PLATAFORMAS VIRTUINO E THINGSPEAK, PARA CONSULTA DE DADOS VIA APLICATIVO PARA ANDROID	50
RESULTADOS.....	51
1.13 RESULTADOS DOS TESTES LABORATORIAIS DE ACURACIDADE (DHT22 E TERMISTOR 10k Ω)	51
1.14 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE ALCANCE DE SINAL DO MÓDULO NRF24L01+ EM AMBIENTES HOSPITALARES/INDUSTRIAIS	60
1.15 AJUSTES E MELHORIAS IMPLEMENTADAS APÓS TESTES PRÁTICOS REALIZADOS NO SETOR DE CLIMATIZAÇÃO DO HCPA	60
1.16 RESULTADOS DOS TESTES DE EQUIVALÊNCIA DO SENSOR DHT22	61
1.17 CONSUMO ENERGÉTICO DA BASE E TRANSMISSOR	64
1.18 VISUALIZAÇÃO DOS DADOS AFERIDOS POR MEIO DE APLICATIVO ANDROID	68
DISCUSSÃO	74
PRODUTO DA DISSERTAÇÃO.....	76
1.19 DIAGRAMAS, ESQUEMAS E FOTOS DO PRODUTO	76
1.20 CUSTOS DE FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	83
1.21 FUTURAS OTIMIZAÇÕES ADVINDAS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO EM REDE LORA.....	86
APLICABILIDADE DO PRODUTO	91
INSERÇÃO SOCIAL	92
CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
CÓDIGO DO DO RECEPTOR (RX)	100
CÓDIGO DO TRANSMISSOR (TX)	100

INTRODUÇÃO

Segundo as boas práticas para estocagem de medicamentos, Valery (1990) ratifica e enfatiza a importância de certos medicamentos termolábeis permanecerem em locais de temperatura controlada. Para garantir o controle, é sugerido que seja realizada o ajuste da temperatura de maneira constante e segura, além de se sugerir a implantação de sistemas que possibilitem detectar eventuais inconformidades no controle da temperatura.

Quanto ao manuseio e estocagem de medicamentos imunobiológicos (vacinas e soros), o autor reforça a importância de se dedicar grande atenção e tempo. A justificativa para isso se dá pelo fato de que esses materiais são sensíveis, caso expostos a luz excessiva ou a grandes variações de temperatura, pode-se comprometer a qualidade do medicamento.

Atualmente no Brasil, as recomendações de Valery (1990) servem de base para regulamentação de diversos métodos de estocagem de medicamentos. Entretanto, também existem outros autores que fornecem parâmetros adicionais para auxiliar no acondicionamento de materiais específicos.

Segundo o manual de rede de frios, FUNASA (2017), recomenda-se que vacinas sejam conservadas na faixa de temperatura entre +2°C e +8°C, sendo obrigatório esse controle para a manutenção de sua validade. Assim, para estabilização da temperatura nessa faixa, o manual apresenta diversas técnicas, a exemplo do forramento das paredes internas utilizando bobinas de gelo reciclável, que são constituídas por um frasco plástico (geralmente polietileno), contendo hidroxietil celulose em concentração comestível, conservante e água (gelo reciclável de gel). Esse material pode ser encontrado em mercados em várias dimensões e que podem auxiliar na conservação da temperatura por períodos de até 24 horas, após a ausência de energia elétrica.

A Sociedade Brasileira de Imunizações (SBIM) em 2017, através do guia de boas práticas de imunização em áreas remotas de difícil acesso, reforça a importância de elaboração de protocolos para garantir a manutenção da temperatura de medicamentos imunobiológicos, a fim de não comprometer sua eficácia. Tais precauções, são especialmente importantes em certas regiões no Brasil onde há

estradas em situação precária ou quando o único acesso se dá por meio fluvial. Portanto, é consenso que ao se realizar uma ação de imunização em uma área de difícil acesso é fundamental ter um bom planejamento e boa infraestrutura, com pontos de apoio, para não colocar em risco a qualidade das vacinas que estão sendo transportadas.

Seguindo as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) e Programa Nacional de Imunizações (PNI), o texto de SBIM (2017) reforça que, especialmente em ações de imunização em áreas isoladas deve-se seguir rigorosamente as boas práticas de cuidado com os medicamentos. Dentre as recomendações, destacam-se o registro de temperatura de hora em hora, uso de termômetros em todos os equipamentos que armazenam vacinas que permitam o monitoramento da temperatura máxima e mínima de momento e de jornada. Além das orientações referentes ao controle e acompanhamento de temperatura, também é recomendado que na hipótese de intercorrências que comprometam a qualidade da conservação, seja efetuada comunicação imediata junto a instância superior (municipal e/ou regional) ou ao laboratório para orientação e conduta sobre a utilização de materiais afetados.

No transporte de sangue e componentes no âmbito da hemoterapia, o relatório da ANVISA (2016) reafirma que caso o sangue coletado seja conservado fora da faixa ideal de temperatura, ele perde suas características e conseqüentemente suas propriedades terapêuticas. Além de todo o cuidado com o material de transporte quanto à higienização e à capacidade de conservação da temperatura, também é fundamental a monitorização da temperatura real verificada dentro da caixa onde o material é transportado, pois assim reduz-se a possibilidade de perda do material. De acordo com os autores acima, além da atenção ao invólucro que realiza o transporte ou conservação de materiais biológicos, é importante cuidar do monitoramento da temperatura, se possível realizar verificações frequentes ou em tempo real pois caso a temperatura saia dos parâmetros ideais, pode-se agir prontamente e assim não comprometer o material.

REVISÃO DA LITERATURA

Os parâmetros de controle de temperatura variam de acordo com o objeto ao qual pretende-se avaliar, em especial no caso de armazenagem de materiais biológicos, há uma grande importância em manter uma monitorização de qualidade, sobre o risco real de perda de material que consequente prejuízo para a saúde pacientes ou pessoas que venham a consumir tais produtos. Para tanto o Ministério da Saúde do Brasil, frequentemente produz material didático e divulga informações que visam melhorar a qualidade dos processos de controle e monitorização de termolábeis.

1.1 CONCEITO DE REDE DE FRIO

A Rede de Frio (RF) tem a finalidade de assegurar o bom funcionamento da cadeia de frio, um processo logístico aplicado à conservação adequada dos imunobiológicos, garantindo a preservação de suas características originais. Sua característica e especificidade de natureza técnico-administrativa e logística são orientadas pelo PNI do Ministério da Saúde, Ministério da Saúde (2017a).

A RF do frio consiste em uma condição a qual produtos são mantidos em um ambiente frio, com a finalidade de conservá-los por mais tempo, desde a sua produção até o seu uso. A RF se inicia no recebimento do produto e vai até o momento de seu uso pelo paciente, Ministério da Saúde (2013)

Segundo Ministério da Saúde (2017b), a RF é um fator que deve ser tratado com muita atenção, pois pode comprometer a efetividade do PNI, já que frequentemente as equipes de saúde enfrentam problemas com manuseio, distribuição, transporte e estocagem de seus imunobiológicos.

Falhas na rede RF podem comprometer a qualidade dos produtos, pois as velocidades das reações químicas, bioquímicas e microbiológicas são relacionadas diretamente com a temperatura, influenciando na a qualidade produtos refrigerados, Ministério da Saúde (2017a).

De acordo com OLIVEIRA et al., (2012), materiais como vacinas e alguns outro imunobiológicos devem ser conservados na faixa de 2°C até 8°C, caso os

materiais não sejam conservados nessa faixa, pode-se ter o risco de perda de suas propriedades terapêuticas.

1.2 ARMAZENAMENTO DE TERMOLÁBEIS

O armazenamento é a etapa do ciclo da assistência farmacêutica que visa garantir a qualidade e a guarda segura dos medicamentos nas organizações da área da saúde. É um conjunto de procedimentos que envolve o recebimento, a estocagem/guarda, a segurança contra danos físicos, furtos ou roubos, a conservação, o controle de estoque e a entrega (ANVISA, 2016).

No desenvolvimento de novas tecnologias, a utilização de equipamentos específicos para monitoramento e conservação de produtos termolábeis é essencial para diminuir falhas e garantir a qualidade do produto. Um sistema de monitoramento da temperatura deve ser confiável em todo o processo para que não ocorra perda da sua funcionalidade. Para garantir o bom funcionamento da rede de cadeia do frio são necessários alguns cuidados, como, certificar-se de que o produto recebido está dentro da faixa de temperatura ideal e que possa ser usado para garantir do controle de temperatura sem que haja rupturas na cadeia de Frio, Ministério da Saúde (2013).

De acordo com Valery (1990), produtos termolábeis (sensíveis a temperatura), tais como bolsas de sangue, leite materno, vacinas, medicamentos, alimentos, dentre outros. Requerem um rígido controle de temperatura para manter sua validade e efetividade, dentre os cuidados recomendados o mais importante é a atenção e controle da temperatura, principalmente no que tange além da estocagem, ou seja, também deve-se ter atenção no manuseio e especialmente no transporte.

1.3 OUTROS ESTUDOS SOBRE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TELEMETRIA

Há diversos estudos sobre meios de se medir a temperatura, por telemetria, e agregar valor ao processo atual, assim como abordado nos estudos de Curto et al. (2007), Palmieri et al. (2014) e Heron Vitor Monteiro (2016), que propõe métodos

distintos para monitorização de temperatura, aplicada a diversos mercados, que de modo geral carecem de melhorias em processos de monitoramento.

Quanto a RF, além das diversas recomendações de boas práticas encontradas nos textos de Valery (1990), OLIVEIRA et al., (2012) e nos manuais periodicamente divulgados pelo Ministério da Saúde do Brasil, há levantamentos como o de Spagnol et al. (2018), que cita as vantagens de se utilizar meios tecnológicos, em especial trata do impacto da implementação de rede de sensores sem fio (RSSF) e de identificação por radiofrequência (RFID) na RF. Spagnol et al. (2018), elenca a importância e o ganho de qualidade ao agregar essas novas tecnologias aos atuais processos de armazenagem de termolábeis na RF, entretanto o escopo do estudo não inclui a elaboração de uma solução por meio de um protótipo, apenas são levantados os pontos de melhoria e elencadas as possíveis soluções tecnológicas que agregariam valor para o monitoramento da RF.

Também há estudos que se propõe a fornecer uma solução prática, para a monitorização de vacinas, tal como Souza et al. (2012), que desenvolveu um sistema de monitoramento, que contava com um software para computador, que por meio de uma entrada USB, transferia os dados de temperatura, que por sua vez acionava alarmes, diante do ajuste de temperaturas fora dos parâmetros de conformidade. Entretanto, a época o projeto não abrangeu a intercomunicação por outros meios tecnológicos, que atualmente são facilmente acessíveis.

A implementação de novas tecnologias, de medição de temperatura por telemetria, pode ser observada no estudo de Mendes et al. (2009), que desenvolveu um sensor sem fio, para monitorização da temperatura intracorporal, realizando a prototipação de uma aplicação altamente complexa, que possibilita o aumento do grau de conhecimento sobre certos parâmetros biológicos avaliados em casais com problemas de fertilidade.

Atualmente, no Brasil observa-se que o controle e monitorização de temperatura, é principalmente explorado por grandes empresas, tais como VWR International®, VAISLA®, Biomerieux Industry®, VIGIE®, entretanto também há empresas nacionais que atendem a esse mercado, tais como SensorWeb® ou empresas de automação, como JMD Automação Industrial®, que é a responsável pelo monitoramento cabeado das temperaturas de aproximadamente 298 pontos de

medição, no HCPA. Entretanto, devido ao alto custo de implementação de um sistema de monitorização, observa-se que apesar de se tratar de um ponto extremamente importante, ainda há carência da implementação de sistemas de monitoramento em diversos hospitais e UBS, tal qual relatado por Oliveira et al. (2012) e Cunha (2017).

Então por meio do presente trabalho, espera-se contribuir com uma solução prática, a fim de minimizar os riscos de perda de material e aumentar a adesão as boas práticas de monitorização mencionadas por Valery (1990) e OLIVEIRA et al., (2012), por fim o projeto pretende implementar uma solução tecnológica, tal qual abordado Spagnol et al. (2018), que venha a agregar valor ao monitoramento da temperatura na RF.

JUSTIFICATIVA

O Ministério da Saúde (2014) cita produtos imunobiológicos como sendo produtos farmacológicos produzidos a partir de micro-organismos vivos, subprodutos ou componentes, capazes de imunizar de forma ativa ou passiva, e assim, portanto são produtos termolábeis, sensíveis ao calor, ao frio e à luz. A fim de manter suas características, devem ser armazenados, transportados, organizados, monitorados, distribuídos e administrados adequadamente.

De acordo com Ministério da Saúde (2013), no ano de 2013 a PNI disponibilizava 42 produtos imunobiológicos entre vacinas, soros e imunoglobulinas, que naturalmente requerem condições de armazenamento especificadas pelos laboratórios produtores, segundo suas respectivas composições e formas farmacêuticas (liofilizadas ou líquidas).

Já SBIM (2017), difere vacinas elencando-as como vacinas atenuadas e inativadas, assim realiza recomendações quanto a seu armazenamento, tais como relatadas no quadro abaixo.

Quadro 1: Características Ideais de Conservação, para Vacinas Atenuadas ou Inativadas

Atenuada/Inativada	Viral/Bacteriana	Nome da Vacina
Vacinas atenuadas: Compostas por antígenos enfraquecidos: Devem ser protegidas de luz e calor (temperaturas acima de 8º C), que podem facilmente danificá-las. São resistentes a temperaturas negativas (podem ser congeladas, exceto a vacina contra rotavírus)	Virais atenuadas	Sarampo, Caxumba, Rubéola, Varicela, Febre Amarela, Rotavírus, Poliovírus Oral ou VOP, Herpes Zoster, Dengue.
	Vacinas bacterianas atenuadas	BCG – Bacilo de Calmette – Guérin

<p>Vacinas inativadas: Compostas por vírus ou bactérias inteiras mortas, frações ou derivados específicos destes microrganismos: São sensíveis à temperatura negativa e nunca podem ser congeladas.</p>	Virais inativadas	Poliovírus inativada (VIP), Influenza, Hepatite A e B, Papiloma vírus Humano
	Vacinas bacterianas inativadas	Difteria, Tétano, Coqueluche, Pneumocócica, Meningocócica, Febre tifoide, " <i>Haemophilus influenzae</i> " tipo B

Fonte: Adaptado de SBIM (2017)

A partir das especificações dos componentes imunobiológicos, a SBIM (2017) orienta a boa prática de conservar tanto as vacinas atenuadas (que são capazes de resistir a temperaturas negativas) quanto vacinas inativadas (que nunca podem ser congeladas) na faixa entre dois e oito graus Celsius, diante da possibilidade de perda da imunogenicidade das mesmas.

Uma revisão integrativa realizada por Oliveira et al. (2012), baseada em dez artigos publicados entre os anos de 1988 e 2013, identificou diversos fatores capazes de comprometer a qualidade da imunogenicidade das vacinas, causando aumento nos custos do PNI. Dentre os fatores identificados de maior impacto, destaca-se a não conservação da temperatura das vacinas devido a erros na cadeia de frios. Também foi argumentado que o cuidado com a conservação das vacinas repassa por uma série de fatores dentre eles salienta-se a necessidade de educação permanente dos colaboradores envolvidos, assim como adoção de um sistema de monitorização e avaliação do processo de trabalho.

De acordo com Ministério da Saúde (2017a) a locomoção de produtos termolábeis é uma etapa primordial para assegurar a qualidade final do medicamento, que é geralmente quando transportado por meio aéreo em longas distancias, já em distâncias menores faz-se de maneira terrestre, porém nesses casos recomenda-se que o transporte seja feito em caminhões frigoríficos e ao longo do percurso sempre haja verificação da temperatura.

Em contraste com as recomendações propostas no Manual de Rede de Frio, identificou-se através do texto de Oliveira et al. (2012), e Cunha (2017), que devido diversos fatores, geralmente observa-se que as Unidades Básicas de Saúde (UBS) realizam o acondicionamento de materiais termolábeis em refrigeradores de uso doméstico, que são projetados para a conservação de alimentos e produtos e não demandam precisão no ajuste da temperatura, logo não são recomendados para o armazenamento e conservação dos imunobiológicos.

Os equipamentos, geladeiras, refrigeradores e câmaras frias da rede de frio, devem possuir um sistema de alarme confiável, que comunique prontamente qualquer tipo de anormalidade em seu funcionamento. É um desafio que demanda compromisso e responsabilidade, exigindo completa integração entre os diversos níveis. A inexistência de termômetros ou monitoramento diário de temperatura durante o transporte e o armazenamento tem gerado grandes prejuízos ao PNI, bem como a hospitais, Centros de Pesquisa Clínica (CPC), hemocentros, bancos de leite materno entre outros.

Assim sendo, levando-se em consideração as reais condições geralmente observadas nas UBS, uma eventual implementação do produto proposto nesse projeto, provavelmente auxiliará de modo a atribuir mais confiança e qualidade ao armazenamento de vacinas e soros, contribuindo para adequação ao que é preconizado no Manual da Rede de Frio, Ministério da Saúde (2017b). Dentre as possíveis melhorias advindas da utilização do produto proposto, espera-se que seja evidenciada uma melhoria no controle de qualidade, ao comunicar/sinalizar prontamente em emergências, quando a temperatura extrapolar os limites previamente estabelecidos, por exemplo: quedas de energia ou apagão. Também espera-se atribuir qualidade a monitorização da temperatura em casos de transporte de imunobiológicos. Portanto de modo geral, o produto contribuirá de modo a aumentar a qualidade da conservação de imunobiológicos.

OBJETIVOS

1.4 OBEJTIVO GERAL

Auxiliar o acompanhamento e monitorização da temperatura em pesquisas que necessitem armazenar materiais imunobiológicos ou termolábeis em condições ótimas de temperatura.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar testes laboratoriais, a fim de obter medidas de erro na medição de temperatura, permitindo estimar a confiabilidade do protótipo.

Desenvolver uma estrutura para o armazenamento e posterior consulta dos dados históricos de temperatura, coletadas em geladeiras e congeladores, que se destinem à armazenagem de materiais biológicos ou termolábeis

Disponibilizar o produto para ser aplicado em futuras pesquisas desenvolvidas no HCPA, ou em outros locais que realizem o transporte de produtos sensíveis a temperatura.

METODOLOGIA

Com o objetivo de elaborar um sistema de monitoramento a ser aplicado na monitorização de temperatura de materiais biológicos, optou-se por realizar a verificação por telemetria, assim sendo possível o acompanhamento simultâneo de diversos pontos em um determinado raio de alcance do sinal.

Dentre os diversos sensores disponíveis, para verificação de temperatura, inicialmente optou-se por dois modelos: DHT22 e Termistor 10k Ω , sendo a adoção final, condicionada a melhor performance no teste de acuracidade dos valores verificados.

O meio telemétrico utilizado para transmissão dos dados do termômetro para a base, foi o módulo transmissor nRF24L01+, que opera na faixa de 2,4GHz, coincidente com o padrão de transmissão para internet Wi-Fi.

As faixas de 2,4GHz até 5,8GHz, são disponibilizadas para uso de internet Wi-Fi e demais aparelhos de comunicação homologados, de acordo com a portaria nº 50632, de 17 de dezembro de 2015, Anatel (2015). Devido a essa condição supôs-se eventuais interferências e ruídos de sinal, logo foi necessário a realização de testes práticos, que por sua vez foram realizados no setor de climatização do HCPA. Assim foi possível avaliar o comportamento do protótipo em condições reais de operação.

A transmissão dos dados observados para um serviço online, foi realizada por meio da rede GPRS, onde se faz necessário a utilização de um chip “*Machine to Machine*” (M2M), que é capaz de efetuar o upload dos dados coletados. Também por meio da utilização de serviços de telefonia, pôde-se efetuar a comunicação via “*Short Message Service*” (SMS) ou ligação telefônica, sempre que verificadas temperaturas fora do intervalo de conformidade.

Para essa implementação, adotou-se a plataforma Arduino, que possui compatibilidade com o sensor DHT22, Nrf24L01+, rede GSM/GPRS e demais componentes necessários.

Portanto o estudo foi estruturado em 8 etapas, conceituação do produto, definição dos sensores e microcontroladores a serem utilizados, análise da rede de comunicação, montagem do protótipo, testes de acuracidade e equivalência,

avaliação de capacidade de sinal de comunicação, armazenagem de dados e integração entre plataformas.

1.6 CONCEITO DO PRODUTO

O projeto foi idealizado, de modo a fornecer um meio de monitorização de temperatura por telemetria, que possibilitasse grande acessibilidade aos dados gerados e ao mesmo tempo propiciasse uma efetiva comunicação, diante da verificação dos valores de temperatura, fora dos padrões de conformidade.

Também, objetivou-se desenvolver um produto com uma boa relação custo/benefício, de fácil implementação e grande mobilidade para aplicação em UBS ou Hospitais.

A escolha da plataforma Arduino foi devido a sua versatilidade e compatibilidade com os diversos hardwares necessários para transmissão de dados por telemetria e facilidade de comunicação com diversos outros serviços de IOT, tais como ThingSpeak ou Virtuino.

Portanto, após estabelecidos os conceitos gerais do projeto, buscou-se confeccionar um protótipo, capaz de atender a maior parte dessas definições.

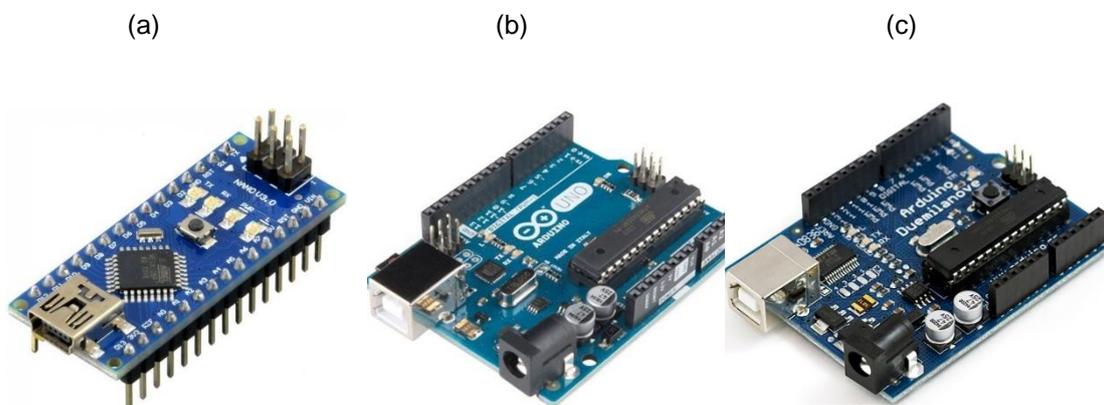
1.7 MÓDULOS E SENSORES UTILIZADOS

1.7.1 Microcontrolador ATmega328

O microcontrolador ATmega328 é utilizado principalmente nas plataformas Arduino nos modelos Uno, Nano e Duemilanove, sendo o principal componente responsável por todo o processamento realizado pela plataforma. De acordo com seu Datasheet ATmega328 (2009) o microcontrolador trabalha com uma arquitetura de 8bits, frequência de 16 MHz, 2KB de memória RAM e 32KB de memória flash, onde são armazenados os scripts, com instruções de execução.

Em operação, o microcontrolador requer uma tensão de 5V e em modo ativo necessita de uma corrente de 0,3mA, já nos modos “*power-down*” e “*power-save*”, consome respectivamente 0,1µA e 0,8µA e opera na faixa de -40°C até +85°C.

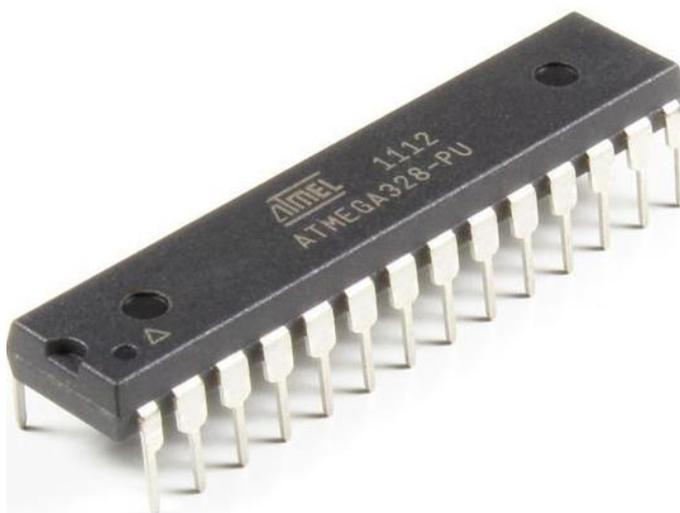
Figura 1: Microcontrolador ATmega328, embarcado nas plataformas Nano(a), Uno(b) e Duemilanove(c)



Fonte: Arduino (2019)

Apesar de ser frequente o uso do microcontrolador ATmega328 em plataformas Arduino, tal qual mencionado anteriormente, também pode-se utilizar o microcontrolador sozinho, ou seja, sem a necessidade de se trabalhar com a plataforma completa. Assim utilizando-se somente o componente ATmega328 pode-se reduzir o consumo energético necessário para execução de scripts.

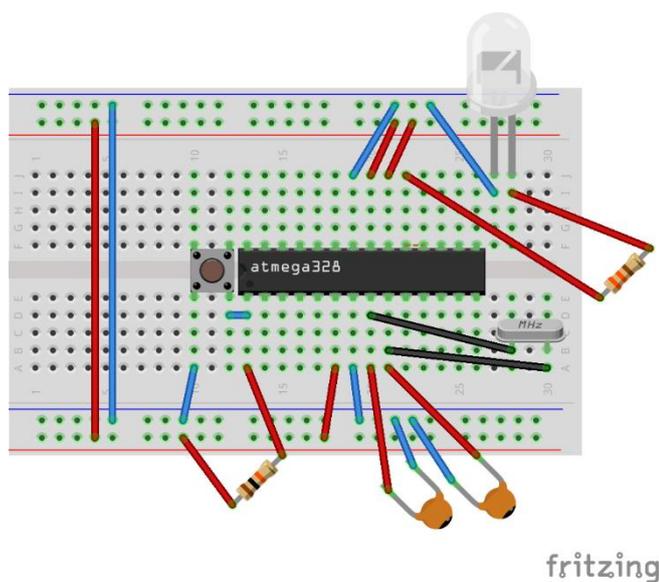
Figura 2: Microcontrolador ATmega328



Fonte: NuttyEngineer (2019)

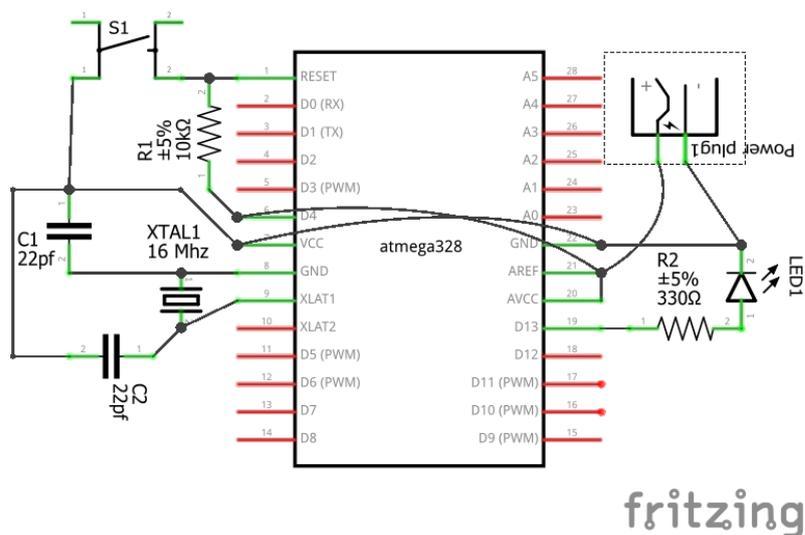
Entretanto para tornar o microcontrolador ATmega328 atuante, se faz necessário realizar uma montagem com alguns componentes adicionais, essa configuração é popularmente denominada de “*Standalone Arduino*”. A montagem inclui componentes de frequência: 1 Cristal 16 MHz + 2 Capacitores Cerâmicos 22pF, componentes de reset: 1 Chave Tátil + 1 Resistor 10kΩ, componentes de interface com o usuário: 1 LED + 1 Resistor 330Ω, tal qual observado na imagem abaixo:

Figura 3: Montagem do “Standalone Arduino”



Fonte: O autor (2019)

Figura 4: Diagrama esquemático da montagem do “Standalone Arduino



Fonte: O autor (2019)

Portanto, de modo simples, ao trabalhar com somente o essencial para o funcionamento do microcontrolador ATmega328, pode-se atingir uma boa eficiência energética, que é fundamental para que o termômetro (localizado dentro da geladeira/congelador) apresente uma boa durabilidade de bateria, diminuindo o gasto com reposição/recarga de pilhas/baterias.

Também de acordo com o livro de Monk (2014) e o arquivo de informações técnicas do microcontrolador ATmega328, ATMEL (2009), o chip conta com um recurso de hibernação, denominado “*Watchdog Timer*” (WDT), que é recomendado para protótipos/montagens que atuem de modo remoto e portanto necessitem de otimizar a utilização da bateria. Esse modo de hibernação, funciona de modo programável, com ciclos/períodos que variam de 2.048 até 1.048.576 ciclos, equivalentes a 16 milissegundos e 8 segundos respectivamente, sendo possibilitado a continuidade e extensão do período de hibernação através da implementação de sucessivos ciclos adjacentes.

Segundo ATmega328 (2009), a corrente consumida pelo microcontrolador ATmega328 em modo WDT varia entre 6 e 8 μ A, portanto apresentando um consumo maior do que o observado no modo “*power-down*” que registra cerca de 1 μ A. Entretanto, apesar do maior consumo, optou-se pela adoção do modo de hibernação WDT devido ao fato de que nessa modalidade há a possibilidade de sair dos sucessivos ciclos de hibernação sem ação externa, ou seja, o próprio microcontrolador é capaz de entrar e sair dos ciclos de hibernação, ao passo que no modo “*power-down*” existe a necessidade de um terceiro agente acionar a interrupção do modo.

1.7.2 nRF24L01+ wireless transceiver 2,4GHz

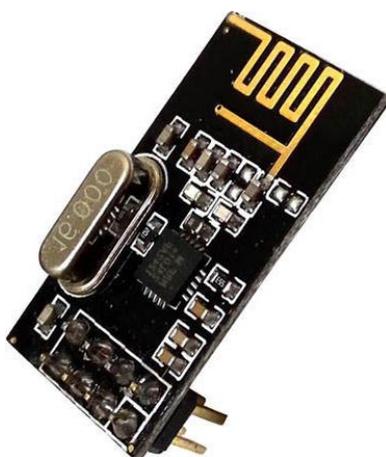
De acordo com seu Datasheet NRF24L01+ (2008) o módulo de transmissão wireless, opera na frequência de 2,4 Ghz (podendo atuar em até 126 canais, ou seja, entre 2.400 MHz a 2.525 MHz, com espaçamento entre canais de 1 MHz) , as taxas de transmissão que variam entre 250 kbps a 2 Mbps, tendo um alcance máximo de 100 metros em espaços abertos e sem interferências.

Com relação às condições de operação, ainda de acordo com NRF24L01+ (2008), o módulo necessita de uma tensão de aproximadamente 3,3V, corrente de

11,3mA para transmissão, 13,5mA para recepção e 26 μ A em standby, por fim o módulo opera na faixa de -40°C até +85°C.

Portanto devido à compatibilidade do módulo com o microcontrolador adotado no projeto, o ATmega328, também levando-se em consideração seu baixo custo de aquisição, baixa consumo de energia, optou-se por adotá-lo na realização da comunicação da temperatura por telemetria.

Figura 5: Módulo de transmissão nRF24L01+ (2,4 GHz)



Fonte: Eletrodex (2019)

O módulo nRF24L01+ possibilita diversos tipos de comunicação entre Transmissor (TX) e Receptor (RX), por exemplo pode-se realizar uma rede de conexões através dos 126 possíveis canais, sendo permitido que cada canal estabeleça até seis conexões entre TX com um único RX, essas conexões são denominadas como “*pipes*”, assim como ilustrado nas duas figura seguintes:

Figura 6: 126 possíveis canais de comunicação, utilizando o módulo nRF24L01+

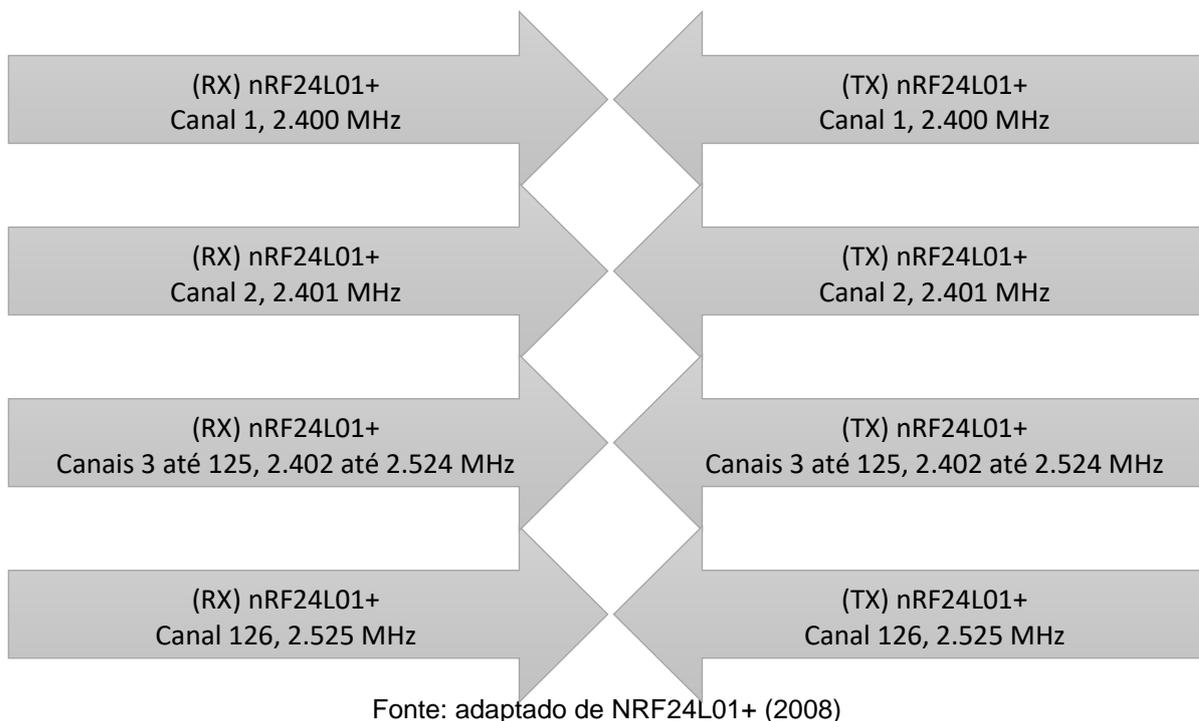
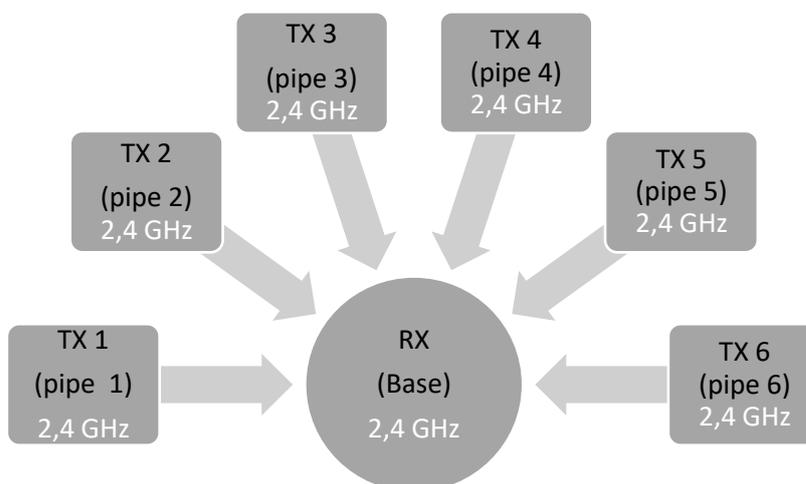


Figura 7: Possibilidade de comunicação oferecida pelo nRF24L01+, utilizando até 6 “pipes” em um mesmo canal

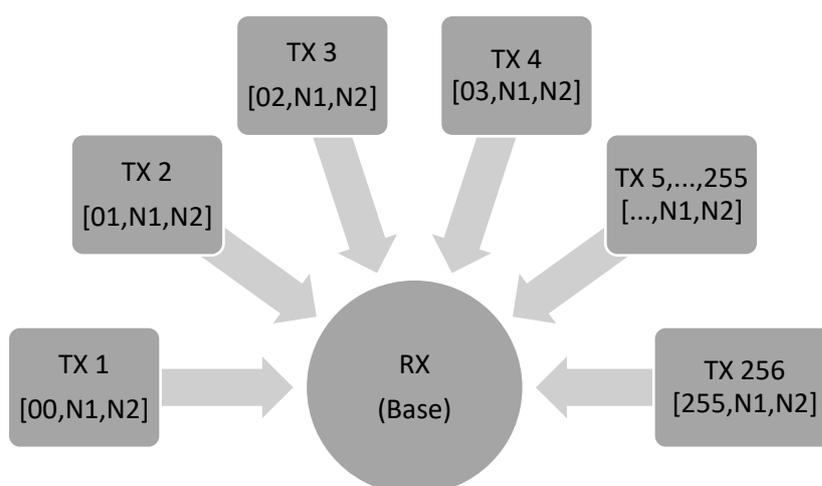


A partir da estrutura acima, pode-se aplicar algoritmos de comunicação que podem expandir a rede de comunicação oferecida pelo módulo nRF24L01+, Para isso algumas bibliotecas atuam fazendo com que a base (RX) trabalhem em sucessivos ciclos, passando pelos 126 canais, e coletando informações dos diversos TX atuantes em cada canal.

Entretanto, no presente trabalho, buscou-se trabalhar com somente um canal, a ser escolhido dentro das faixas de 2.400 até 2.525 MHz sendo adotado o canal que verificasse menor interferência no local de atuação, também se optou pela não implementação de comunicação por “pipes”.

Então a comunicação implementada no projeto, por meio do nRF24L01+, foi realizada através do envio de um vetor com três valores de classe “*unsigned char*”, em cada pulso de comunicação. Observando que valores da classe “*unsigned char*”, em C++, representam números inteiros que podem variar entre 0 e 255. Assim sendo, estipulou-se que o primeiro caractere do vetor representasse a identificação do TX, ou seja, a identificação do termômetro emissor (portanto limitando ao máximo de 256 termômetros TX comunicantes com a base RX), já os outros dois valores do vetor (representados na figura abaixo como “N1” e “N2”) referem-se a parâmetros necessários para se converter a temperatura (t) mensurada em graus Celsius. A dinâmica de comunicação descrita pode observada na figura abaixo:

Figura 8: Diagrama de comunicação através do nRF24L01+, adotado no projeto



Fonte: adaptado de NRF24L01+ (2008)

As duas últimas posições do vetor, “N1” e “N2” são necessárias para que se possa realizar a leitura correta dos valores mensurados, pois o sensor DHT22 mensura a temperatura com uma resolução de 0,1°C, em uma faixa de operação de -40°C até 80°C.

Devido a utilização de variáveis do tipo “*unsigned char*”, realizou-se a seguinte conversão:

O parâmetro N1 assume valores inteiros de 0 a 5, sendo 0 nos casos onde a temperatura verificada é menor ou igual a -40°C e 5 para valores maiores que 62,3°C, já nos casos complementares graduou-se as temperaturas variando em 0,1°C e atribuiu-se valores de 0 a 255 iniciando-se com o valor de N2 igual a um, na temperatura de -40°C, e mantendo-se esse valor unitário nas próximas 255 gradações. Assim de modo recorrente, somou-se uma unidade ao valor de N2 sempre que extrapolado o limite de 256 gradações. A fórmula de recorrência do valor do parâmetro N2 é dada pela seguinte fórmula:

Fórmula 1: Obtenção do parâmetro N1

$$\begin{cases} N1 = \text{trunc} \left[\left(\frac{(t + 40)}{0,1} - 1 \right) \times \frac{1}{256} \right] + 1, & \text{caso } -40^\circ\text{C} < t \leq 62,4^\circ\text{C} \\ N1 = 0, & \text{caso } t \leq -40^\circ\text{C} \\ N1 = 5, & \text{caso } t > 62,4^\circ\text{C} \end{cases}$$

O parâmetro N2 assume valores inteiros de 0 a 255, sendo obtido através da temperatura verificada e do valor de N2 calculado, da seguinte forma:

Fórmula 2: Obtenção do parâmetro N2

$$N2 = -1 \times \left[256 \times (N1 - 1) - \frac{t + 40}{0,1} + 1 \right], \quad \forall t \text{ aferido}$$

Tendo estabelecidos as regras de cálculo para elaboração dos valores de N1 e N2, após efetuada a transmissão pode-se transformar os valores recebidos a fim de apresentá-los em graus Celsius, para tanto, basta inverter a relação descrita na fórmula acima:

Fórmula 3: Obtenção da temperatura, a partir de N1 e N2

$$t (^{\circ}\text{C}) = -39,9 + (N2 + (N1 - 1) \times 256) \times 0,1, \quad \forall t \text{ aferido}$$

Na tabela abaixo, pode-se observar as relações entre os possíveis valores de temperatura e o cálculo de N1 e N2, necessários para se realizar a transmissão dos dados:

Tabela 1: Cálculo de valores N1 e N2, de acordo com a temperatura obtida

<i>Temperatura verificada pelo DHT22 (t)</i>	<i>Valor de N1</i>	<i>Valor de N2</i>
$t \leq -40,0^{\circ}\text{C}$	0	255
$t = -39,9^{\circ}\text{C}$		0
$t = -39,8^{\circ}\text{C}$		1
...	1	2, ...,256
$t = -14,5^{\circ}\text{C}$		254
$t = -14,4^{\circ}\text{C}$		255
$t = -14,3^{\circ}\text{C}$		0
$t = -14,2^{\circ}\text{C}$		1
...	2	2, ...,256
$t = +11,1^{\circ}\text{C}$		254
$t = +11,2^{\circ}\text{C}$		255
$t = +11,3^{\circ}\text{C}$		0
$t = +11,4^{\circ}\text{C}$		1
...	3	2, ...,256
$t = +36,7^{\circ}\text{C}$		254
$t = +36,8^{\circ}\text{C}$		255
$t = +36,9^{\circ}\text{C}$		0
$t = +40,0^{\circ}\text{C}$		1
...	4	2, ...,256
$t = +62,3^{\circ}\text{C}$		254
$t = +62,4^{\circ}\text{C}$		255
$t > +62,5^{\circ}\text{C}$	5	0

Fonte: O autor (2019)

Como o trabalho se propõe a verificar temperaturas entre a -40°C e $+60^{\circ}\text{C}$, não há necessidade de se estender a fórmula para cobrir leituras que estejam fora do escopo. Por fim, a utilização do módulo nRF24L01+ será baseada nos parâmetros

elaborados acima, assim possibilitando a transmissão, recepção e conversão dos valores de temperatura observadas, por telemetria.

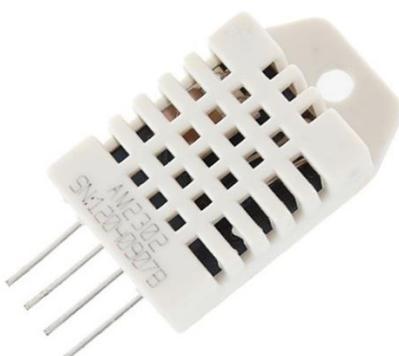
1.7.3 Sensor de temperatura DHT22

De acordo com Datasheet DHT22 (2015), o módulo de verificação da temperatura e umidade DHT22, pode ser utilizado em temperaturas dentro do intervalo de -40°C até $+80^{\circ}\text{C}$, e a leitura é realizada com resolução de $0,1^{\circ}\text{C}$ e acuracidade de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Além de também realizar a leitura da umidade relativa do ar, no intervalo de 0% até 100%, com resolução de 1% e acuracidade de $\pm 2\%$.

As condições de operação do Sensor DHT22, exigem uma tensão entre 3,3 e 6V, sendo requerida uma corrente de 1,5mA (em 5v) no momento da verificação e $50\mu\text{A}$ quando em estado de modo de espera. As medições de temperatura e umidade necessitam de um intervalo mínimo de 2 segundos.

Devido a sua facilidade de utilização, boa acuracidade, baixo consumo e baixo custo, optou-se por adotar o DHT22 para compor o projeto. Em testes realizados com o protótipo em laboratório, observou-se que a acuracidade da umidade é gravemente comprometida em cenários onde o sensor atinge baixas temperaturas (próximas a 0°C), e se faz necessário certas condições de temperatura e tempo até que a acuracidade do sensor de umidade volte reduzir o erro de medição, de modo a contemplar o patamar descrito em seu documento de especificação técnica, DHT22 (2015). Portanto, a partir dessa constatação prática, optou-se por não trabalhar com a verificação de umidade.

Figura 9: Sensor DHT22



Fonte: FelipeFlop (2019)

O microcontrolador adotado no projeto ATmega328, possui compatibilidade com o sensor DHT22, por meio de diversas bibliotecas elaboradas e divulgadas no repositório da plataforma Arduino, apresentam a licença “*Creative Commons*” (CC).

1.7.4 Módulo Real Time Clock (RTC)

Trata-se de um módulo com a função relógio, de alta precisão, baixo consumo de energia (~500nA quando em modo de espera) e projetado para utilizar baterias do tipo CR2032 (bateria não recarregável de 3V e capacidade de 225 mAh) ou LIR2032 (bateria recarregável de 3,7V e capacidade de 40mAh). Segundo DS3231 (2015), para o correto funcionamento é necessário uma tensão de 5V, e são produzidas versões industriais que operam na faixa de -40°C até +85°C.

Figura 10: RTC DS3231



Fonte: EletronicaCastro (2019)

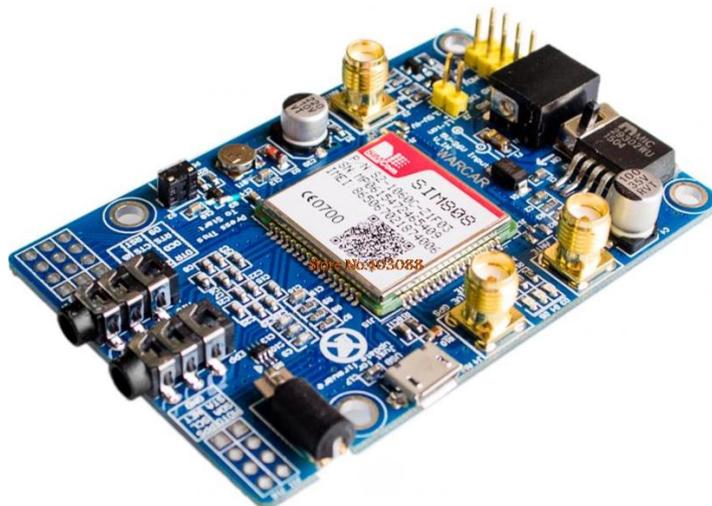
Além das funções comuns a um relógio, como informar horas, minutos e segundos, o módulo RTC DS3231 também fornece dados de dia, mês e ano, além de ter funções embutidas de alarme e cálculo de datas a partir de funções pré-programadas.

No projeto o módulo foi implementado junto a base (RX), assim registrando constantemente a hora e através de uma implementação por meio de algoritmo, pôde-se vincular e armazenar as informações do RTC DS212 no momento do recebimento da informação de temperatura, assim possibilitando a posterior comunicação do horário da verificação.

1.7.5 Módulo SIM808 EVB (GSM/GPRS)

O módulo SIM808 EVB, é utilizado para comunicação via GSM e transferência de dados através da internet, utilizando “*General Packet Radio Services*” (GPRS). Segundo seu Datasheet SIM808EVB (2013), a placa suporta comunicação em quatro bandas, sendo elas 850/900/1800/1900MHz, e conexão GPRS de até 85,6 kbps, além de permitir o recebimento e efetivação de ligações e SMS.

Figura 11: Módulo SIM 808 EVB v.3.2



Fonte: Acoptex (2019)

No presente projeto, a placa SIM808 EVB é responsável pelo envio de SMS com as informações atualizadas de temperatura e hora na qual a temperatura foi coletada. Esses dados são enviados para o contato do responsável pela verificação da temperatura e podem ser recebidos sempre que se envie um a mensagem com uma senha pré-estabelecida, para o número do chip inserido na placa.

A placa SIM808 EVB, trabalhando em conjunto com a plataforma Arduino, também permite funcionalidades que vão além do envio de informações após requisição. No protótipo foi implementada a possibilidade de se enviar SMS e efetuar ligações de modo automático, sempre que a leitura de temperatura recebida extrapolasse certos parâmetros pré-estabelecidos. Então, atribuindo maior confiabilidade ao controle e manutenção da temperatura, além de minimizar os riscos de perda de material ou lote, uma vez que a rápida comunicação ao responsável poderá gerar agilidade aos procedimentos padrão para casos de não conformidade de temperatura.

1.8 REDE GSM/GPRS NO BRASIL

A placa SIM808 EVB, trabalha e quatro bandas de comunicação (850/900/1800/1900MHz), também conhecidas como rede 2G. Essas bandas abrangem as principais operadoras de comunicação no Brasil.

De acordo com Smartinstec (2019) , as tecnologias GSM e GPRS, diferem no ponto em que a primeira se dedica especificamente a parte de telefonia digital e comunicação por voz já a última busca oferecer um melhor acesso a serviços de internet e consumo de conteúdo.

A tabela abaixo, com informações adaptadas de Ricardo Di Lucia Santos (2008), apresenta outros detalhes que diferenciam a rede GSM e GPRS, sendo observado que a rede GPRS, tem maior taxas de transmissão, se comparado a GSM.

Tabela 2: Principais diferenças entre as tecnologias GSM, GPRS e EDGE

<i>Tecnologia</i>	<i>Serviço</i>	<i>Taxa de transmissão máxima por ITC[Kbits/s]</i>	<i>Taxa de transmissão máxima por quadro -8 ITCs [Kbits/s]</i>
<i>GSM</i>	Voz	13	13
	Dados por comutação de circuito	14,4	14,4
<i>GPRS</i>	Voz	13	13
	Dados por comutação por pacotes	21,4	171,2
<i>EDGE</i> (<i>Explicit Data Graph Execution</i>)	Voz	13	13
	Dados por comutação por pacotes	59,2	473,6

Fonte: Adaptado de Ricardo Di Lucia Santos (2008)

A utilização da rede 2G, por meio da plataforma SIM808 EVB, também se mostrou adequada, por oferecer uma grande cobertura nacional, pois de acordo com IBGE (2019), no ano de 2019 Brasil conta com 5.570 municípios, dos quais todos possuem cobertura 2g, de acordo com dados da Anatel, observados na tabela abaixo:

Tabela 3: Cobertura 2g no Brasil, por municípios

<i>Operadora/Ano</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2016</i>	<i>2017</i>	<i>2018</i>
<i>Algar</i>	87	87	87	87	87	87
<i>Claro</i>	3.635	3.653	3.682	3.820	3.855	3.882
<i>Nextel</i>	0	0	0	5	71	71
<i>Oi</i>	3.332	3.420	3.426	3.431	3.432	3.463
<i>Sercomtel</i>	2	2	2	2	2	2
<i>Tim</i>	3.347	3.447	3.468	3.468	3.469	3.471
<i>Vivo</i>	3.738	3.750	3.750	3.751	3.752	3.752
<i>Total</i>	5.570	5.570	5.570	5.570	5.570	5.570

Fonte: Adaptado de Anatel (2019)

Portanto, tendo em vista a abrangência da rede 2g, pode-se assegurar a mobilidade do projeto, pois a comunicação e acesso aos dados gerados fica garantida ao optar por trabalhar com a operadora de melhor sinal em determinada região de utilização do protótipo.

1.9 VERIFICAÇÃO DA ACURACIDADE NAS MEDIÇÕES

Inicialmente contava-se com duas alternativas para compor o sensor de temperatura do projeto, eram DHT22 e Termistor 10k Ω , ambas as alternativas atendiam aos critérios de baixo custo, boa acuracidade e compatibilidade com o Arduino (especificamente com o microcontrolador ATmega328). Com intuito de comparar as medições de temperatura, oferecidas pelos dois tipos de sensores térmicos, foi realizado um teste de verificação da temperatura com a colaboração do laboratório Labelo na PUC-RS em 01/02/2019.

O procedimento de verificação da temperatura foi realizado por pontos, em uma câmara climática Weiss modelo WK111-340, que estima a temperatura por meio de um sensor PT 100 de 4 fios e capaz de estimar a temperatura com precisão uma casa decimal, já a umidade por meio de um termômetro de bulbo úmido e seco, com

precisão de até uma casa decimal. Adicionalmente houve um segundo termômetro, calibrador do tipo bloco seco, modelo T-650P equipado com um sensor PT 100 de 4 fios, capaz de estimar a temperatura com a precisão de duas casas decimais.

Figura 12: Câmara Climática Weiss modelo WK111-340



Fonte: ButleGroup (2019)

Figura 13: calibrador do tipo bloco seco, modelo T-650P



Fonte: Presys.com.br (2019)

Considerando-se que a câmara climática Weiss WK111-340, trabalha de modo a estabilizar a temperatura em determinados pontos, optou-se por avaliar o erro de verificação em 30 °C e 0 °C, assim objetivou-se cobrir um amplo espectro de variação de temperatura, a fim de identificar possíveis vieses nos limites superiores e

inferiores do intervalo avaliado. O experimento teve duração aproximada de quatro horas, visto que se faz necessário aguardar certo tempo até que a câmara climática atinja o equilíbrio térmico interno, para cada ponto avaliado. Por fim, após avaliado a temperatura nos dois pontos supracitados, foi avaliada a verificação da umidade em apenas no ponto de 50% de umidade relativa do ar.

Equivalência entre o sensor DHT22 e os padrões (WK111-340 e T-650P)

Após definido a adoção do sensor DHT22 e de posse dos resultados do ensaio realizado no laboratório Labelo, realizou-se um teste de equivalência das medições apresentadas pelo DHT22, nos pontos de 30°C e 0°C, para os dois referenciais disponíveis WK111-340 e T-650P.

A realização do teste de equivalência, seguiu a metodologia proposta por Limentani et al. (2005), que conclui sobre a equivalência de dois métodos ao calcular a proporção de eventos favoráveis e eventos desfavoráveis, com relação a uma determinada margem de tolerância (Δ) previamente estabelecida, assim como os valores de erros tipo I (α) e tipo II (β).

O software utilizado para implementar a metodologia de Limentani et al. (2005) foi o Minitab® 17.1.0 e os resultados apresentados de forma gráfica por meio do Prism v.8.0.2, em todos os cálculos foi adotado o nível de significância $\alpha = 5\%$ e poder do teste de $1 - \beta = 80\%$.

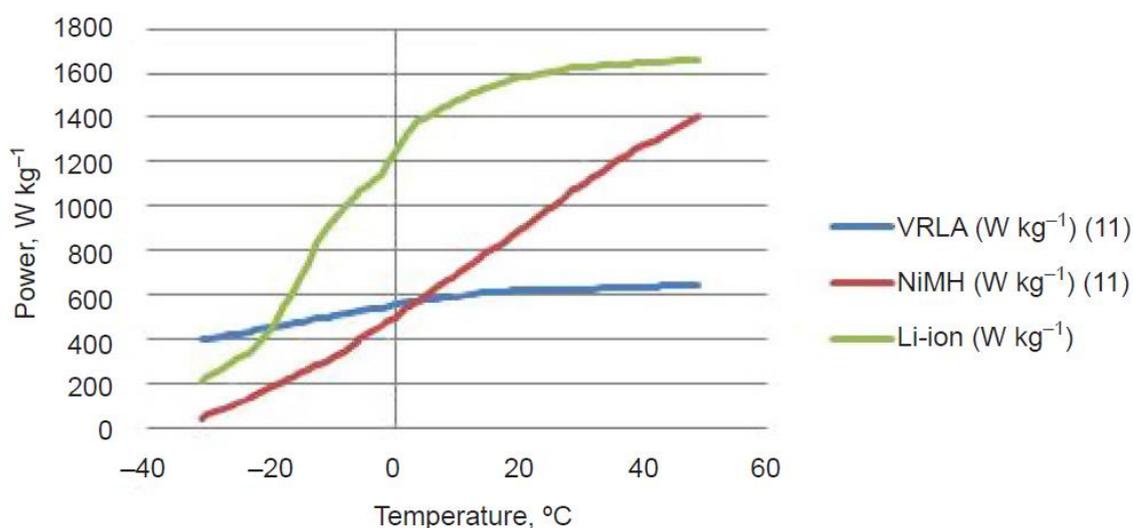
1.10 PERFORMANCE DE BATERIAS EM CONDIÇÕES DE BAIXA TEMPERATURA

Um problema enfrentado no início do projeto, foi a escolha do tipo ideal de bateria que permitisse que o produto tivesse a capacidade de atuar na verificação de baixas temperaturas. Pois devido ao fato de que as baterias armazenam e liberam energia por meio de reações químicas e a temperatura age como catalisador desse processo, há uma importante limitação no uso de baterias em baixas temperaturas, já que a depender do patamar da temperatura local a bateria pode se tornar inoperante, assim como abordado por Carneiro et al. (2017) e Bocchi et al. (2000).

Em uma análise sobre baterias automotivas, o estudo de Higashimoto et al. (2011), dentre as diversas comparações e considerações feitas a respeito da performance de diferentes tipos de baterias, compara-se a performance/desempenho

em Watts/Kg, de três tipos distintos de baterias: *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA), níquel-hidreto metálico (NiMH) e íon de lítio (Li-ion), os resultados são demonstrados no gráfico abaixo:

Gráfico 1: Performance de baterias em baixas temperaturas



Fonte: Higashimoto et al. (2011)

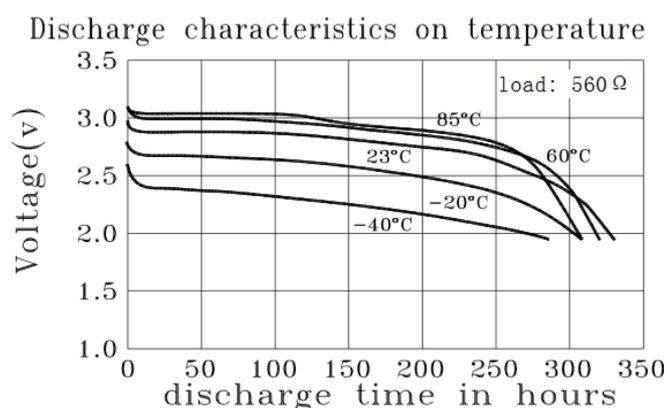
O resultado apresentado no gráfico, demonstra a variabilidade performance em diversos meios de armazenagem. Além disso, observa-se que a bateria de VRLA apresentou melhor performance em baixas temperaturas, próximas a -40°C , perdendo muito pouco em capacidade de armazenagem, apesar de demonstrar menor desempenho no intervalo aproximado de 10°C até 40°C . Entretanto a bateria de VRLA tem sua atuação limitada ao atingir o ponto de $-45,5^{\circ}\text{C}$, onde ocorre o congelamento eletrolítico.

A escolha da bateria que compôs o protótipo, foi baseada em características demonstradas através do documento de especificações técnicas, dos diversos tipos de baterias considerados. Para medições de baixas temperaturas (próximas a -40°C), Optou-se por adotar a bateria CR123A (Li/MnO₂), que de acordo com Varta (2014) e Panasonic (2000), tem capacidade nominal de 3v e 1.550 mAh (em 20°C), podendo atuar na faixa de -40°C até $+70^{\circ}\text{C}$. Já para o monitoramento de temperaturas na faixa de 2°C até 8°C , pode-se utilizar pilhas do tipo “AA”

recarregáveis, como a Energizer HR6, que suporta até -20°C , opera com 1,2v e capacidade de 2.300 mAh (em 21°C), de acordo com Energizer (2000).

Os gráficos abaixo, demonstram características do comportamento da CR123A, analisado em cenários de temperaturas extremas:

Gráfico 2: Variação da tensão por tempo, em diferentes faixas de temperatura



Fonte: Datasheet CR123A, em Batteryspace (2007)

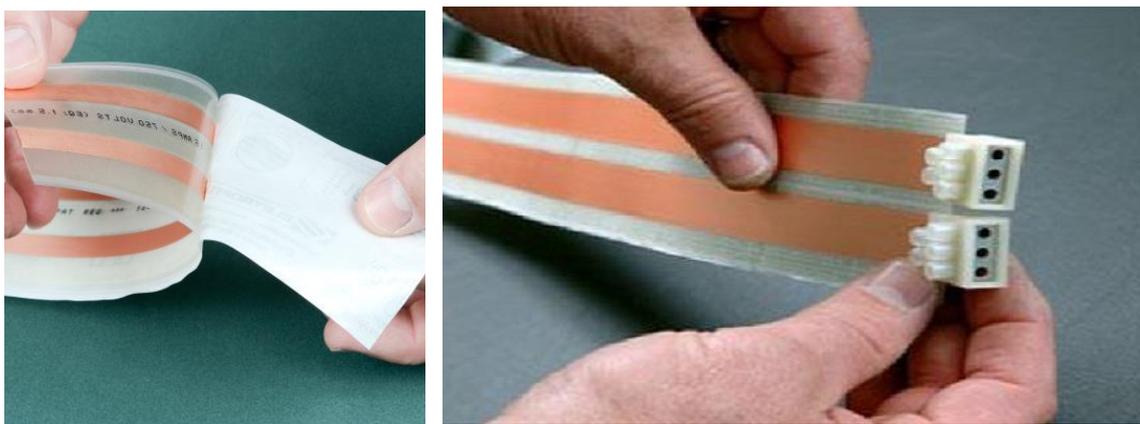
Observa-se que a redução da temperatura influencia na tensão fornecida pela bateria e conseqüentemente no tempo necessário para o atingimento do patamar de corte (2v), logo reduzindo sua eficiência, de modo análogo aos resultados de Higashimoto et al. (2011). Esse resultado também reforça que os cálculos de capacidade energética do sistema, devem levar em consideração a faixa de temperatura sobre a qual a bateria será requisitada, pois quando se encontra fora das condições ideais, apresenta notável redução de desempenho.

Portanto, analisando as características observadas no documento de especificações técnicas da CR123A e HR6, descritas acima, optou-se por adotá-la no protótipo. Entretanto, faz-se a ressalva de que no monitoramento de baixas temperaturas (próximas a -40°C), recomenda-se uma adaptação no termômetro/transmissor, de modo a manter a bateria fora do ambiente de verificação.

1.10.1 Adaptação na alocação da bateria, em cenários de baixas temperaturas, próximas a -40°C .

Conforme observado anteriormente, temperaturas próximas a -40°C , podem comprometer a eficiência da bateria, portanto nesses casos, pode-se realizar uma adaptação no termômetro/transmissor, de modo a garantir a carga da bateria. Devido ao baixo consumo do transmissor e a necessidade de não se comprometer a vedação do sistema de resfriamento, sugere-se a utilização de uma Eletro fita, que fará a ligação entre a bateria, localizada no exterior do refrigerador, e o transmissor que monitora a temperatura interna do equipamento.

Figura 14: Utilização da Eletro fita



Fonte: Volpe (2019)

A Eletro fita, tem a capacidade de transmitir energia elétrica por meio de fios de cobre dispostos de modo a minimizar o tamanho tridimensional, além disso o produto também é composto de uma superfície aderente, que colabora para não haver prejuízo na vedação do local de utilização.

Assim, pode-se reduzir custos de manutenção com compra e reposição de baterias e otimizar a vida útil do componente e colaborar para que essa parte não tenha sua integridade comprometida, por atuar em condições extremas.

Avaliação do alcance de sinal do módulo nRF24I01+ em ambientes hospitalares/industriais

Devido ao fato de a comunicação realizada pelo módulo nRF24L01+ utilizar as frequências na faixa de 2,4 Ghz, que coincidem com a faixa padrão de operação de redes Wi-Fi, dentre outros aparelhos de comunicação, há a possibilidade de que o envio de dados de temperatura sofra interferências, instabilidades e ruídos. Também de acordo com Cavalcanti (2009), que abordou os aspectos de interferência em redes sem fio, são elucidados diversos fatores que podem influenciar na qualidade e alcance de sinal de redes sem fio, tais como: eletromagnetismo, presença de aparelhos/máquinas industriais, espessura das paredes e pisos, estrutura do edifício e material da construção, presença de outros aparelhos sem fio, componentes mobiliários, vidrarias e superfícies refletoras, dentre outros.

Além das possíveis fontes de interferência de sinal, também deve-se considerar que os freezers utilizados para armazenagem de material biológico, com capacidade para atuar em -30°C , geralmente apresentam diversas camadas de revestimento interno em material metálico, podendo interferir no alcance da comunicação realizada pelo módulo nRF24L01+.

Figura 15: Revestimento interno de um refrigerador, utilizado no HCPA



Fonte: O autor (2019)

Com intuito de avaliar o protótipo, em condições reais, testou-se a qualidade da comunicação em diversos tipos de freezers presentes no setor de climatização do HCPA, sendo avaliados o impacto do revestimento interno e as possíveis interferências, características de um setor hospitalar/industrial.

Para avaliar a qualidade do sinal recebido e a consequente perda por ruído ou interferência, programou-se envios com periodicidade de 2 segundos, então após alocado o transmissor no interior do refrigerador, afastou-se a base, aproximadamente em 35 metros, e observou-se a manutenção ou redução da frequência de recebimento.

1.11 ARMAZENAMENTO DOS DADOS (CLOUD STORAGE), UTILIZANDO A PLATAFORMA THINGSPEAK

A plataforma ThingSpeak (<https://thingspeak.com/>) oferece o serviço de armazenamento de dados, com foco em para “*Internet of Things*” (IOT). Por meio de uma infraestrutura web e um protocolo de comunicação baseado em “*Hypertext Transfer Protocol*” (HTTP) para o envio e recebimento de dados (utilizando os métodos GET e POST), o serviço oferecido facilita a tarefa de armazenamento de dados de temperatura coletados pelo protótipo.

A plataforma também permite a integração dos dados armazenados com o uma versão online software MATLAB, possibilitando a exploração dos dados coletados e posterior elaboração de informações secundárias. Essa possibilidade de integração também viabiliza a confecção de gráficos interativos e eventuais indicadores.

Portanto, devido a facilidade de integração com o Arduino e possibilidade de integração com o MATLAB, optou-se por efetuar a armazenagem dos dados de temperatura, através da plataforma ThingSpeak.

1.12 INTEGRAÇÃO ENTRE PLATAFORMAS VIRTUINO E THINGSPEAK, PARA CONSULTA DE DADOS VIA APLICATIVO PARA ANDROID

A Virtuino (<https://virtuino.com/>) é definido como uma “*Human-Machine Interface*” (HMI) que possibilita a conexão com servidores de armazenagem de dados, tal qual o ThingSpeak. Além disso, dentre os serviços oferecidos pela Virtuino, destaca-se a possibilidade de elaboração de aplicativos em Android, que por sua vez, podem apresentar dashboards atualizados em tempo real, a partir dos dados armazenados no ThingSpeak.

Além da consulta aos dados históricos e monitorização da temperatura, a elaboração do aplicativo em Android, por meio da plataforma Virtuino, possibilita consultas rápidas ao banco de dados onde pode-se verificar os máximos e mínimos por período ou visualizar dos dados em diferentes periodicidades/escalas. Também é possível a elaboração de alarmes, que podem ser adaptados no protótipo, para atuar com sinal sonoro em toda a vez que seja registrada alguma temperatura que esteja fora dos limites previamente estabelecidos.

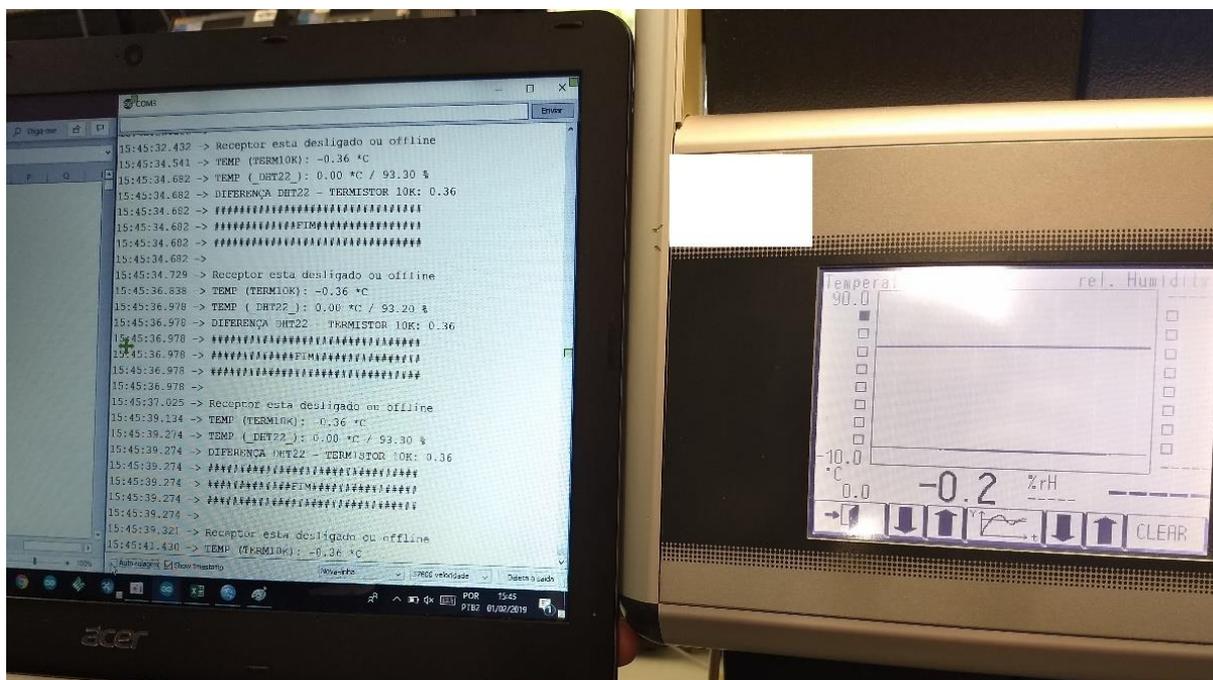
Devido a facilidade de integração entre as plataformas Arduino, Virtuino e ThingSpeak, optou-se pela adoção desse serviço, a fim de ampliar as possibilidades de acompanhamento e monitorização da temperatura, uma vez que será possível que o coordenador ou responsável pelo acompanhamento da temperatura, tenha acesso a temperatura verificada ou a série histórica.

RESULTADOS

1.13 RESULTADOS DOS TESTES LABORATORIAIS DE ACURACIDADE (DHT22 E TERMISTOR 10k Ω)

Os resultados obtidos no ponto de 0°C, podem ser observados na figura 16. Já o intervalo de confiança para o erro mensurado é apresentado na tabela 4, que apresenta a estimativa paramétrica (média de erro e intervalo de confiança para a média) em casos onde se verifica a normalidade, a 5% de significância por meio do teste de Shapiro-wilk, caso contrário é apresentada a estimativa não paramétrica (mediana do erro e intervalo de confiança de Hodges-Lehmann).

Figura 16: Leitura no ponto de 0°C: câmara climática Weiss modelo WK111-340 (-0,2°C), DHT22 (0,0°C) e Termistor 10kΩ (0,36°C)



Fonte: O autor (2019)

Tabela 4: Resultados das verificações realizadas no ponto de 0°C

Horário (aproximado)	WK111 -340	T- 650P	DHT22	Termi stor 10kΩ	ERROS (Xi-"WK111- 340")		ERROS (Xi-"TP-650P")	
					DHT2 2	Termist or 10kΩ	DHT22	Termist or 10kΩ
15:40	-0,3	0,03	0,0	-0,42	0,3	-0,12	0,0	-0,45
15:41	-0,3	0,03	0,0	-0,42	0,3	-0,12	0,0	-0,45
15:41	-0,3	0,04	0,0	-0,41	0,3	-0,11	0,0	-0,45
15:42	-0,3	0,04	0,0	-0,41	0,3	-0,11	0,0	-0,45
15:42	-0,3	0,05	0,0	-0,40	0,3	-0,10	-0,1	-0,45
15:43	-0,3	0,05	0,0	-0,40	0,3	-0,10	-0,1	-0,45
15:43	-0,3	0,05	0,0	-0,39	0,3	-0,09	-0,1	-0,44
15:44	-0,2	0,05	0,0	-0,38	0,2	-0,18	-0,1	-0,43
15:44	-0,2	0,05	0,0	-0,38	0,2	-0,18	-0,1	-0,43
15:45	-0,2	0,05	0,0	-0,37	0,2	-0,17	-0,1	-0,42
15:45	-0,2	0,06	0,0	-0,36	0,2	-0,16	-0,1	-0,42
15:46	-0,2	0,06	0,0	-0,36	0,2	-0,16	-0,1	-0,42
15:46	-0,2	0,06	0,0	-0,36	0,2	-0,16	-0,1	-0,42
15:47	-0,2	0,06	0,0	-0,36	0,2	-0,16	-0,1	-0,42
15:47	-0,2	0,07	0,0	-0,35	0,2	-0,15	-0,1	-0,42
MÉDIA	-0,25	0,05	0,00	-0,38	0,25	-0,14	-0,05	-0,43
			DESVIO PADRÃO		0,05	0,03	0,01	0,01
			MEDIANA		0,20	-0,15	-0,05	-0,43
			IIQ		Q1:0,2	Q1:-0,16	Q1:-0,06	Q1:-0,45
					Q3:0,3	Q3:-0,11	Q3:-0,05	Q3:-0,42

Fonte: O autor (2019)

Tabela 5: Intervalo de 95% de confiança para o erro de verificação em 0°C, por tipo de sensor e referência

ERRO MENSURADO, POR TIPO DE SENSOR	Valor-p	Erro (°C)	INTERVALO 95% DE CONFIANÇA	
			Limite Inferior	Limite Superior
Erro(DHT22)_WK111-340	< .001	0.250 ^a	0.200 ^{a'}	0.300 ^{a'}
Erro(Termistor 10kΩ)_WK111-340	0.063	- 0.138 ^b	- 0.156 ^{b'}	- 0.120 ^{b'}
Erro(DHT22)_T-650P	0.171	- 0.050 ^b	- 0.056 ^{b'}	- 0.044 ^{b'}
Erro(Termistor 10kΩ)_T-650P	< .001	- 0.435 ^a	- 0.445 ^{a'}	- 0.425 ^{a'}

Valor-p, para teste de normalidade de Shapiro-Wilk

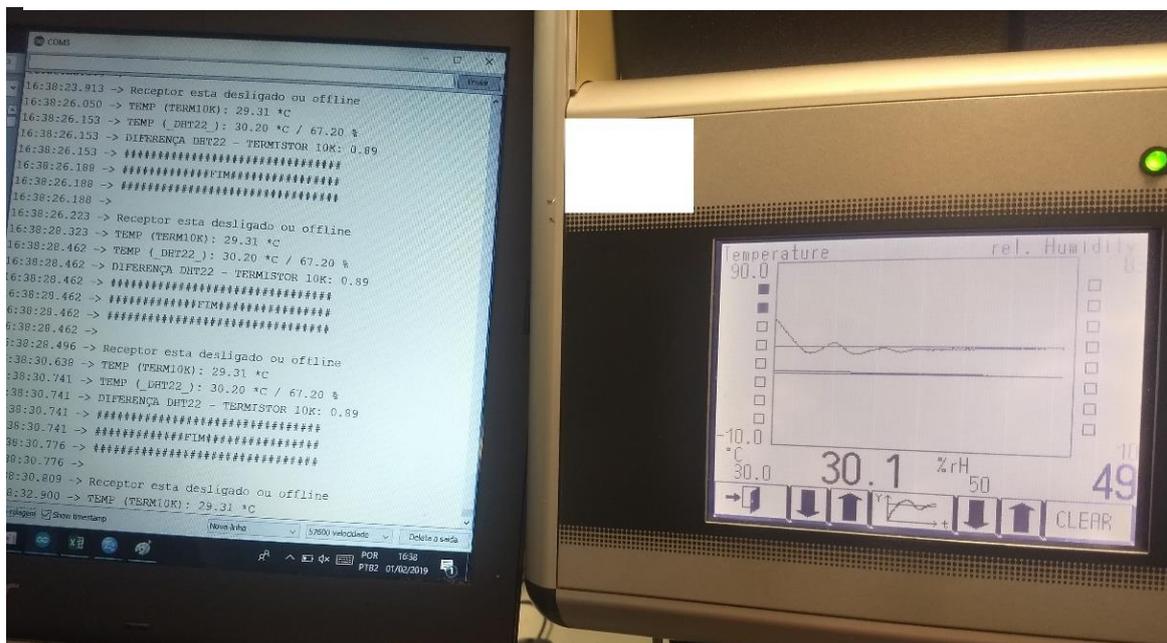
a, a': Média e Intervalo de confiança para a Média, respectivamente

b, b': Mediana de Hodges-Lehmann e Intervalo de confiança de Hodges-Lehmann, respectivamente

Fonte: O autor (2019)

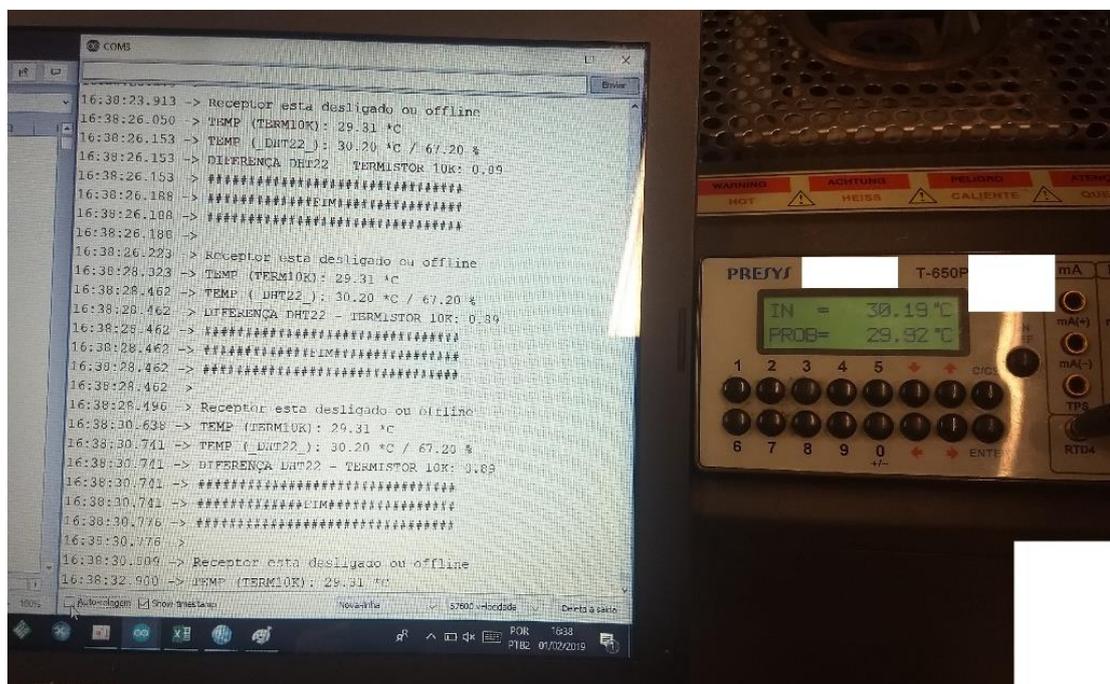
Já no ponto de 30°C, as figuras abaixo, juntamente com as tabelas 3 e 4 apresentam as estatísticas descritivas das observações e o intervalo de 95% de confiança, respectivamente.

Figura 17: Leitura no ponto de 30°C: Câmara climática Weiss modelo WK111-340 (30,1°C), DHT22 (30,2°C) e Termistor 10kΩ (29,31°C)



Fonte: O autor (2019)

Figura 18: Leitura no ponto de 30°C: Calibrador do tipo bloco seco, modelo T-650P (30,19°C), DHT22 (30,2°C) e Termistor 10kΩ (29,31°C)



Fonte: O autor (2019)

Tabela 6: Resultados das verificações realizadas no ponto de 30°C

Horário (aproximado)	WK111- 340	T- 650P	DHT22	Termist or 10kΩ	ERROS (Xi-"WK111- 340")		ERROS (Xi-"TP-650P")	
					DHT22	Termist or 10kΩ	DHT22	Termist or 10kΩ
16:32	30,3	30,33	30,3	29,44	0,0	-0,86	0,0	-0,89
16:32	30,2	30,32	30,3	29,42	0,1	-0,78	0,0	-0,90
16:33	30,2	30,30	30,3	29,41	0,1	-0,79	0,0	-0,89
16:33	30,2	30,29	30,3	29,40	0,1	-0,80	0,0	-0,89
16:34	30,1	30,29	30,3	29,39	0,2	-0,71	0,0	-0,90
16:34	30,1	30,27	30,2	29,37	0,1	-0,73	-0,1	-0,90
16:35	30,1	30,26	30,2	29,37	0,1	-0,73	-0,1	-0,89
16:35	30,1	30,25	30,2	29,36	0,1	-0,74	-0,1	-0,89
16:36	30,1	30,25	30,2	29,36	0,1	-0,74	-0,1	-0,89
16:36	30,1	30,25	30,2	29,35	0,1	-0,75	-0,1	-0,90
16:37	30,1	30,24	30,2	29,34	0,1	-0,76	0,0	-0,90
16:37	30,1	30,22	30,2	29,33	0,1	-0,77	0,0	-0,89
16:38	30,1	30,20	30,2	29,31	0,1	-0,79	0,0	-0,89
16:38	30,1	30,19	30,2	29,31	0,1	-0,79	0,0	-0,88
16:39	30,1	30,19	30,2	29,31	0,1	-0,79	0,0	-0,88
MÉDIA	30,13	30,26	30,23	29,36	0,10	-0,77	-0,02	-0,89
			DESVIO PADRÃO		0,04	0,04	0,03	0,01
			MEDIANA		0,10	-0,77	-0,02	-0,89
			IIQ		Q1:0,1	Q1:-0,79	Q1:-0,05	Q1:-0,9
					Q3:0,1	Q3:-0,74	Q3:0	Q3:-0,89

Fonte: O autor (2019).

Tabela 7: Intervalo de 95% de confiança para o erro de verificação em 30°C, por tipo de sensor e referência

ERRO MENSURADO, POR TIPO DE SENSOR	Valor-p	Erro (°C)	INTERVALO 95% DE CONFIANÇA	
			Limite Inferior	Limite Superior
Erro(DHT22)_WK111-340	< .001	0.100 ^a	0.100 ^{a'}	0.100 ^{a'}
Erro(Termistor 10kΩ)_WK111-340	0.315	- 0.769 ^b	- 0.789 ^{b'}	- 0.748 ^{b'}
Erro(DHT22)_T-650P	0.067	- 0.023 ^b	- 0.039 ^{b'}	- 0.007 ^{b'}
Erro(Termistor 10kΩ)_T-650P	0.004	- 0.890 ^a	- 0.895 ^{a'}	- 0.890 ^{a'}

Valor-p, para teste de normalidade de Shapiro-Wilk

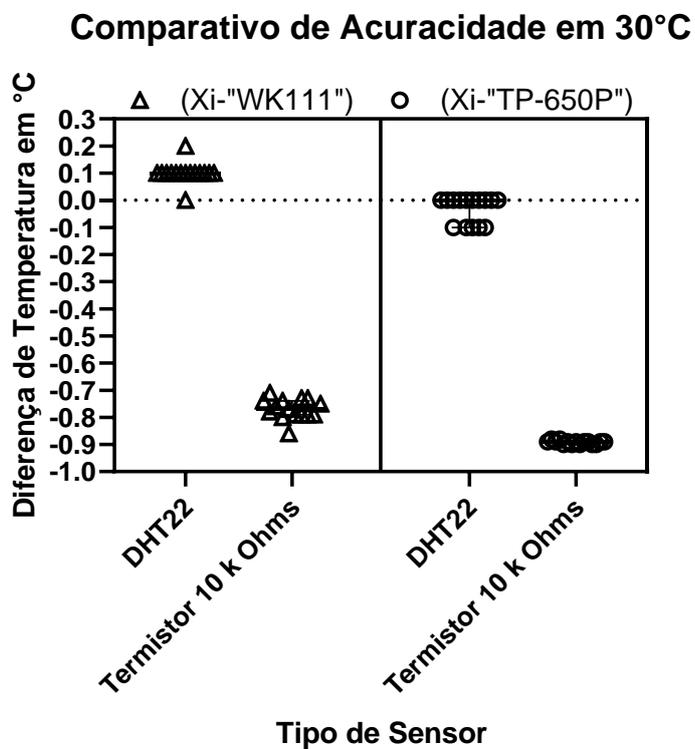
a, a': Média e Intervalo de confiança para a Média, respectivamente

b, b': Mediana de Hodges-Lehmann e Intervalo de confiança de Hodges-Lehmann, respectivamente

Fonte: O autor (2019).

O gráfico abaixo demonstra a magnitude do Erro mensurado, quando comparado ao padrão informado pela câmara climática Weiss WK111-340 e T-650P.

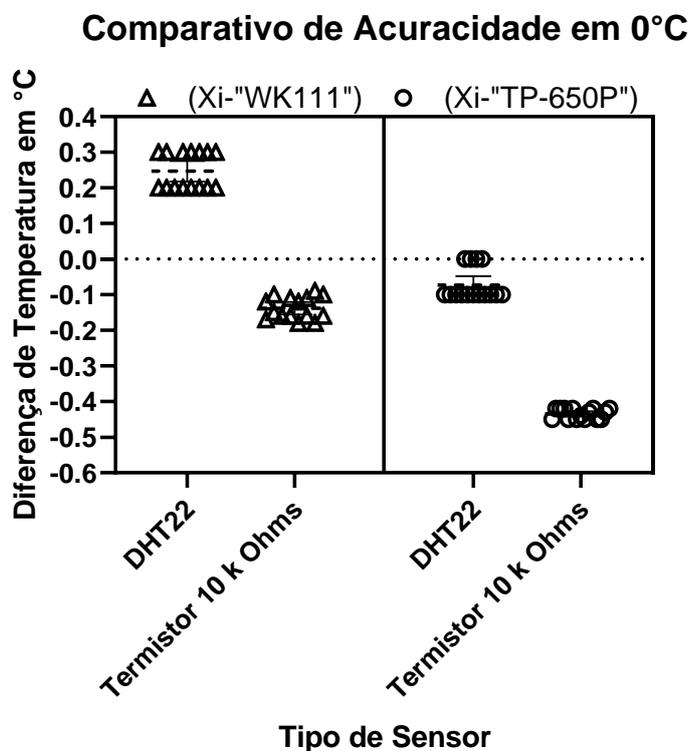
Gráfico 3: Comparativo de acuracidade, por tipo de sensor e por padrão de referência, no ponto de 30°C



Fonte: O autor (2019).

O Gráfico acima reflete os resultados indicados na tabela 7, onde nota-se que o sensor DHT22 apresenta menor erro, quando comparado ao resultado do Termistor 10kΩ, também se nota a ausência de viés nas medições realizadas pelo DHT22, contrapondo o viés negativo observado no Termistor 10kΩ.

Gráfico 4: Comparativo de acuracidade, por tipo de sensor e por padrão de referência, no ponto de 0°C



Fonte: O autor (2019).

Novamente observa-se resultados semelhantes aos encontrados no gráfico anterior, sendo evidente a ausência de viés do sensor DHT22. Também se nota o menor erro quando observadas as medidas referentes ao TP-650P.

Por fim, após a realização dos testes, concluiu-se que, de modo geral, o sensor DHT22 apresentou menor erro médio, se comparado ao Termistor 10kΩ, principalmente no cenário onde ajustou-se a temperatura em 30°C. Também se notou um viés nas temperaturas verificadas pelo Termistor 10kΩ, constituindo erros sistematicamente negativos, tanto na avaliação em 0°C quanto em 30°C.

Por fim, optou-se por adotar o sensor DHT22, que apresentou baixo erro e demonstrou-se não enviesado, já que em ambos os cenários e considerando os dois referenciais (Weiss WK111-340 e T-650P) o erro mensurado não apresentou nenhum viés sistemático positivo ou negativo.

Para os testes de verificação de umidade relativa do ar (URA), foi estipulada a avaliação no ponto de 50% URA na simulação e notou-se que após o sensor DHT22 atingir baixas temperaturas (próximas a 0°C), ocorre a “desregulagem” momentânea do sensor de umidade, fazendo com que os valores verificados apresentem erros da ordem de 30%, por um longo período de tempo. Portanto, após essa verificação, optou-se por não trabalhar com a mensuração da umidade relativa do ar, no protótipo.

1.14 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE ALCANCE DE SINAL DO MÓDULO NRF24L01+ EM AMBIENTES HOSPITALARES/INDUSTRIAIS

Constatou-se que a comunicação do sensor Nrf24L01+ seguiu sem prejuízo na frequência de recebimento, dentro do raio de até 50 metros, sem paredes, entre emissor (presente no interior do refrigerador) e receptor (base). Também se obteve resultados satisfatórios para comunicação, quando avaliado o sinal recebido após ultrapassadas duas paredes, em distâncias de até 30 metros, entre emissor (presente no interior do refrigerador) e receptor(base).

Portanto, de posse da performance do protótipo em campo prático, recomenda-se a utilização em raio de atuação de até 50 metros, para locais sem paredes, ou de até 30 metros caso existam até dois obstáculos entre o emissor e receptor.

1.15 AJUSTES E MELHORIAS IMPLEMENTADAS APÓS TESTES PRÁTICOS REALIZADOS NO SETOR DE CLIMATIZAÇÃO DO HCPA

Em visita ao setor de climatização do HCPA, foi levantado a importância de se separar o sensor do contato direto com o ambiente interno da geladeira. Caso não haja o isolamento entre o sensor e o ambiente interno do congelador, há o risco de registrar grandes oscilações de temperatura em curto período, geralmente provocadas pela ação de abertura da porta, causando ruído desnecessário e evitável nos dados de registro de temperatura.

Figura 19: Confeção do Invólucro de isolamento do sensor DHT22



Fonte: O autor (2019)

Portanto, a partir dessa constatação prática, relatada pelos profissionais do HCPA, optou-se por realizar o isolamento do sensor DHT22, por meio de um invólucro, impresso em 3d, que realiza a separação do sensor com o ambiente interno da geladeira/congelador através do ar presente em seu interior, então contribuindo para que os dados coletados e armazenados não registrem ruídos ou fortes oscilações advindas de ações/eventos rotineiros.

1.16 RESULTADOS DOS TESTES DE EQUIVALÊNCIA DO SENSOR DHT22

O resultado da aplicação da metodologia de Limentani et al. (2005), é apresentado no quadro abaixo, que sumariza os resultados do teste de equivalência, implementados por meio do software Minitab, aplicado para diversos valores de margem de tolerância (Δ), considerando 5% de significância:

Quadro 2: Resultados dos testes de equivalência do sensor DHT22, por tipo de referência e diversos valores de margem de tolerância

		WK111-340			T-650P				
		$\Delta^{\circ}\text{C}$	Valor- p	Conclusão (α 5%)	$\Delta^{\circ}\text{C}$	Valor- p	Conclusão (α 5%)		
Ponto de 0°C	$\Delta_{\text{crítico}}(\alpha 5\%) : 0,22318^{\circ}\text{C}$	<0,20	>0,998	Não Equivalente	Ponto de 0°C	$\Delta_{\text{crítico}}(\alpha 5\%) : 0,05252^{\circ}\text{C}$	<0,03	>0,999	Não Equivalente
		0,20	0,998	Não Equivalente			0,03	0,999	Não Equivalente
		0,21	0,992	Não Equivalente			0,04	0,993	Não Equivalente
		0,22	0,967	Não Equivalente			0,05	0,966	Não Equivalente
		0,23	0,884	Equivalente			0,06	0,861	Equivalente
		0,24	0,688	Equivalente			0,07	0,609	Equivalente
		0,25	0,403	Equivalente			0,08	0,291	Equivalente
		>0,25	<0,403	Equivalente			>0,08	<0,291	Equivalente
Ponto de 30°C	$\Delta_{\text{crítico}}(\alpha 5\%) : 0,08281^{\circ}\text{C}$	<0,07	>0,996	Não Equivalente	Ponto de 30°C	$\Delta_{\text{crítico}}(\alpha 5\%) : 0,01114^{\circ}\text{C}$	<0,009	>0,963	Não Equivalente
		0,07	0,996	Não Equivalente			0,009	0,963	Não Equivalente
		0,08	0,970	Não Equivalente			0,010	0,957	Não Equivalente
		0,09	0,839	Equivalente			0,011	0,951	Não Equivalente
		0,10	0,500	Equivalente			0,012	0,944	Equivalente
		0,11	0,161	Equivalente			0,013	0,936	Equivalente
		0,12	0,030	Equivalente			0,014	0,926	Equivalente
		>0,12	<0,030	Equivalente			>0,014	<0,926	Equivalente

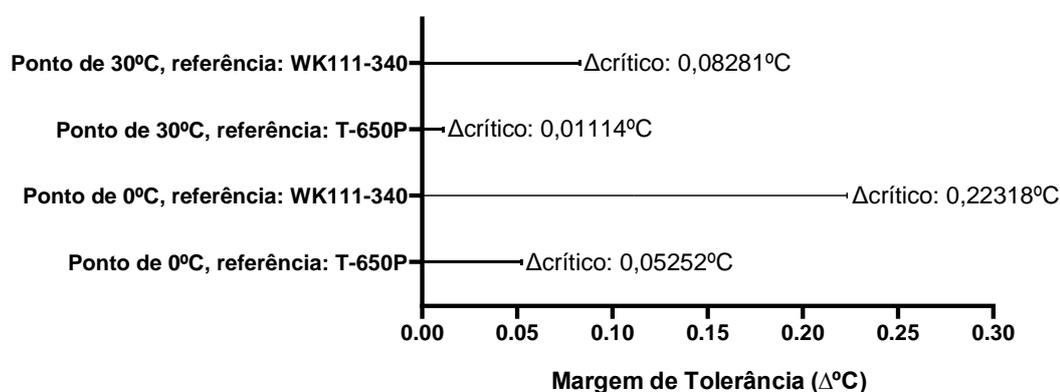
Fonte: O autor (2019).

De modo geral, observa-se que a maior margem crítica de tolerância é verificada no ponto de 0°C, quando comparado com o referencial WK111-340, sendo localizada entre os pontos de $\Delta = 0,22^{\circ}\text{C}$ e $\Delta = 0,23^{\circ}\text{C}$, indicando a conclusão pela

equivalência do sensor DHT22, caso a margem de tolerância adotada seja superior ao valor crítico de $0,2231^{\circ}\text{C}$.

O gráfico abaixo, apresenta os valores críticos para a margem de tolerância, a partir do qual conclui-se a equivalência entre as medidas do Sensor DHT22 e a referência adotada (WK111-340 e T-650P), avaliados nos pontos de 0°C e 30°C :

Gráfico 5: Valores críticos de margem de tolerância, para teste de equivalência, avaliados por ponto e tipo de referencial



Fonte: O autor (2019).

Portanto, observa-se que no ponto de 30°C , adotando-se uma margem de tolerância superior a $0,08281^{\circ}\text{C}$, conclui-se, a 5% de significância, que há equivalência entre as medidas verificadas pelo sensor DHT22. Já no ponto de 0°C , com descrito anteriormente, há equivalência para valores de margem de tolerância superiores a $0,22318^{\circ}\text{C}$.

Os testes evidenciam que se pode concluir sobre a equivalência entre as medições do protótipo e dos dois referenciais, em uma margem de tolerância máxima de $0,22318^{\circ}\text{C}$, ou seja inferior a $\frac{1}{4}$ de um grau Celsius, sendo portanto considerado um resultado satisfatório para o escopo ao qual o produto se propõe a atuar.

1.17 CONSUMO ENERGÉTICO DA BASE E TRANSMISSOR

Com intuito de dimensionar a capacidade energética da bateria que compõe o produto, foi estimado o consumo energético de cada componente e do conjunto geral, tanto em estado de modo de espera, quanto em estado de atividade.

Os resultados das medições encontram-se na tabela abaixo:

Tabela 8: Consumo energético da Base/Receptor

	TENSÃO DE OPERAÇÃO	MODO DE ESPERA		MODO ATIVO (RECEBENDO E ENVIANDO DADOS)	
	(v)	Consumo médio (mA)	Tempo (s)	Consumo médio (mA)	Tempo (s)
MÓDULO GSM	5,05	32,9	40	194,7	20
ARDUINO MEGA 2560	5,05	-	-	31,56	60
TELA NEXTION 3,2"	5,05	-	-	99,4	60
NRF24L01+	3,3	9,5	45	23,61	15
RTC DS3231	5,05	-	-	3,25	60
BASE/RECEPTOR	5,05	Min: 164,6 ; Máx:347,2			60

Fonte: O autor (2019).

Tabela 9: Consumo energético da Termômetro/Transmissor

	TENSÃO DE OPERAÇÃO	MODO DE ESPERA		MODO ATIVO (ENVIANDO DADOS)	
	(v)	Consumo médio (mA)	Tempo (s)	Consumo médio (mA)	Tempo (s)
NRF24L01+	3,3	0,36	120	11,3	3
DHT22	5,05	~0,03	120	1,49	3
ATMEGA328	5,05	<0,1	120	~14	3
TERMÔMETRO /TRANSMISSOR	5,05	Min: ~1; Max:~27			123

Fonte: O autor (2019).

Observou-se que o maior consumo no conjunto Receptor, deve-se a tela de 3,2", que necessita de ficar ativa durante todo o tempo, então após essa constatação foi implementado uma chave para ligar e desligar o display, sempre que necessário.

No conjunto Transmissor, implementou-se um ciclo de hibernação com periodicidade de dois minutos, onde o conjunto passa aproximadamente 120 segundos em hibernação e logo após é ativado em tempo suficiente para enviar os dados mensurados para a base. Em testes, buscou-se diminuir o tempo em ativação, a fim de economizar energia, sendo observado que o conjunto necessita de menos de 3 segundos para efetuar a comunicação.

De posse dos dados de consumo do protótipo, pode-se realizar cálculos a fim de se estimar a autonomia do sistema, para diversos tipos de bateria.

Como a Receptor, é alimentada por uma fonte e conta com uma bateria com capacidade nominal de 10.000mAh, para registro e envio de sinais, principalmente em situações de ausência repentina de luz, tendo em vista o consumo calculado, em um cenário de 25°C, pode-se estimar que a base tem uma autonomia de aproximadamente $10.000 \text{ mAh} \div 347,2 \text{ mA} = \frac{10.000 \text{ mAh}}{347,2 \text{ mA}} h = 28,80h \approx 28 \text{ horas}$

Observando que apesar de ser considerado o valor máximo de operação do conjunto Base, de outro lado levou-se em consideração o valor de capacidade nominal da bateria, logo é razoável supor uma autonomia um pouco menor do que 28 horas.

Já o conjunto Transmissor, apresenta uma situação peculiar de consumo energético, que se deve a implementação da hibernação oferecida pelo microcontrolador ATmega328. Então foi necessário adaptar uma periodicidade múltipla de 8s (8, 16, 24, 32, ..., 112, 120, 128...), optou-se por ciclos de 120s, tendo em vista o consumo de energia. Logo o cálculo da autonomia, se faz da seguinte forma:

$$\textit{Tempo de autonomia} = \textit{Capacidade da Bateria mAh} \div \left(\frac{120 \times 1 \textit{ mA}}{120 + 3} + \frac{3 \times 27 \textit{ mA}}{120 + 3} \right)$$

$$\textit{Tempo de autonomia} = \textit{Capacidade da Bateria mAh} \div \frac{201}{123} \textit{ mA}$$

$$\textit{Tempo de autonomia} \cong \textit{Capacidade da Bateria mAh} \div 1,63415 \textit{ mA}$$

$$\textit{Tempo de autonomia} \cong \frac{\textit{Capacidade da Bateria}}{1,63415} \textit{ horas}$$

Como o produto pode ser utilizado para monitorar diferentes tipos de materiais, pode-se optar pela bateria que melhora atenda a situação na qual o termômetro atue, por exemplo, para monitorização de um congelador, que trabalha na faixa de -30°C é importante optar por uma bateria que opere até -40°C (ou também pode-se uma bateria comum juntamente com uma eletro fita a fim de manter a bateria no ambiente externo ao ambiente monitorado), já para monitorização de temperaturas entre +2°C e +8°C, pode-se optar por baterias de menor custo, que atenderão a demanda.

O quadro abaixo relaciona alguns tipos de bateria, custo, autonomia e possíveis locais de aplicação.

Quadro 3: Relação entre tipos de bateria e locais de aplicação

		SITUAÇÃO RECOMENDADA			
		Verificação de baixas temperaturas, próximas a -40°C		Verificação de temperaturas próximas a 0°C	
CARACTERÍSTICAS DA BATERIA	Tipo de Bateria	CR123A – Panasonic (não recarregável)		Energizer E91 (não recarregável)	Energizer NG15-230 (HR6) (recarregável)
	Datasheet	Panasonic (2000)		Energizer (2014)	Energizer (2000)
	Capacidade nominal a 25°C (mAh)	1400		3000	2300
	Tensão nominal a 25°C (v)	3		1,5	1,2
	Custo unitário estimado da bateria	R\$ 18,9		R\$ 6,8	R\$ 21,2
RELAÇÕES DE CUSTO/BENEFÍCIO	Quantidade de baterias	2	4	4	6
	Tipo de Ligação	2 em paralelo	2 em paralelo em série	4 em série	6 em série
	Custo Total	R\$ 37,8	R\$ 75,6	R\$ 27,2	R\$ 127,0
	Autonomia estimada a 25°C (meses)	1,2	2,4	2,5	2,0
	R\$/Mês	R\$ 31,8		R\$ 10,7	R\$ 65,0

FONTE: O autor (2019).

Ao observar o quadro acima, nota-se que a bateria CR123A, que resiste a baixas temperaturas, apresenta um elevado custo em R\$/Mês, entretanto após realizadas diversas pesquisas, essa foi a única bateria que apresentou boa performance em cenários próximos a -40°C , de acordo com Panasonic (2000). Entretanto, pode-se utilizar outras baterias, tais como Energizer E91 ou Energizer (HR6), que também serão capazes de fornecer energia para que o termômetro realize suas medições, para tanto basta atentar-se em manter as baterias em ambiente externo ao do congelador, sendo sugerido a utilização de Eletro fitas para o fornecimento de energia para o sistema.

Também ressalta-se que apesar do elevado valor em R\$/Mês da bateria Energizer (HR6), essa é uma bateria recarregável, logo considerando sucessivas recargas pode-se considerar que essa bateria possui melhor relação de custo benefício, ou seja, essa bateria passa a apresentar menor custo a partir da sexta recarga, sendo justificado o alto investimento inicial.

1.18 VISUALIZAÇÃO DOS DADOS POR MEIO DE APLICATIVO ANDROID

Por meio da integração entre as plataformas ThingSpeak e Virtuino, pôde-se elaborar um aplicativo que possibilitou a visualização da temperatura em tempo real, assim como o acesso ao histórico de temperaturas.

As figuras abaixo, mostram três capturas, onde é demonstrado a visualização dos dados por meio do aplicativo elaborado:

Figura 20: Capturas de Tela, demonstrando a visualização dos dados por meio do aplicativo elaborado

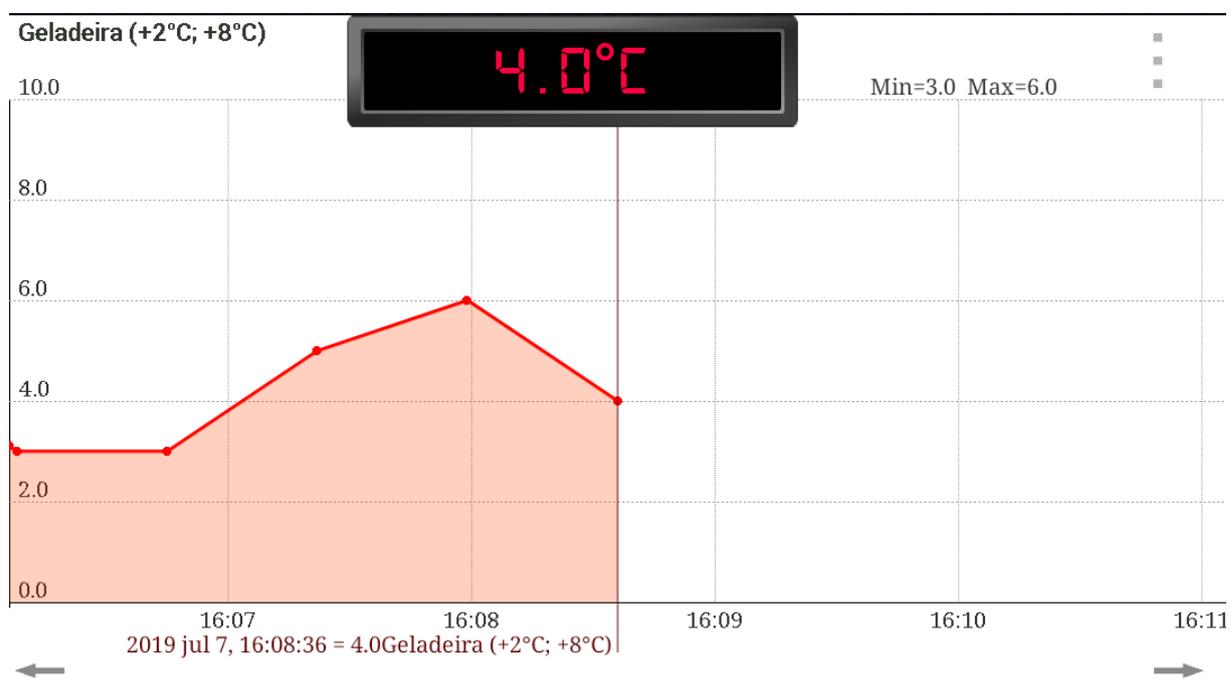


Fonte: O autor (2019)

A fim de demonstrar o funcionamento da visualização dos dados por meio do aplicativo, foram gerados temperaturas (por meio de simulação) a partir do Transmissor (TX), com a periodicidade de 20 segundos, sendo o gráfico da parte superior obtido a partir de uma distribuição uniforme entre 3°C e 6°C, e o gráfico da parte inferior seguiu uma distribuição uniforme entre -30°C e -10°C. Então, após gerado os dados foram transmitidos por meio do nRF24L01+ para a base (RX) que realizou o armazenamento dos dados por meio de comunicação GPRS, no servidor provido pela ThingSpeak, por fim o aplicativo elaborado por meio da plataforma Virtuino, acessou os dados e executou a representação gráfica observada nas figuras acima.

A figura abaixo, descreve em maiores detalhes as principais informações apresentadas no aplicativo:

Figura 21: Principais elementos apresentados no gráfico de acompanhamento da temperatura instantânea



Fonte: O autor (2019)

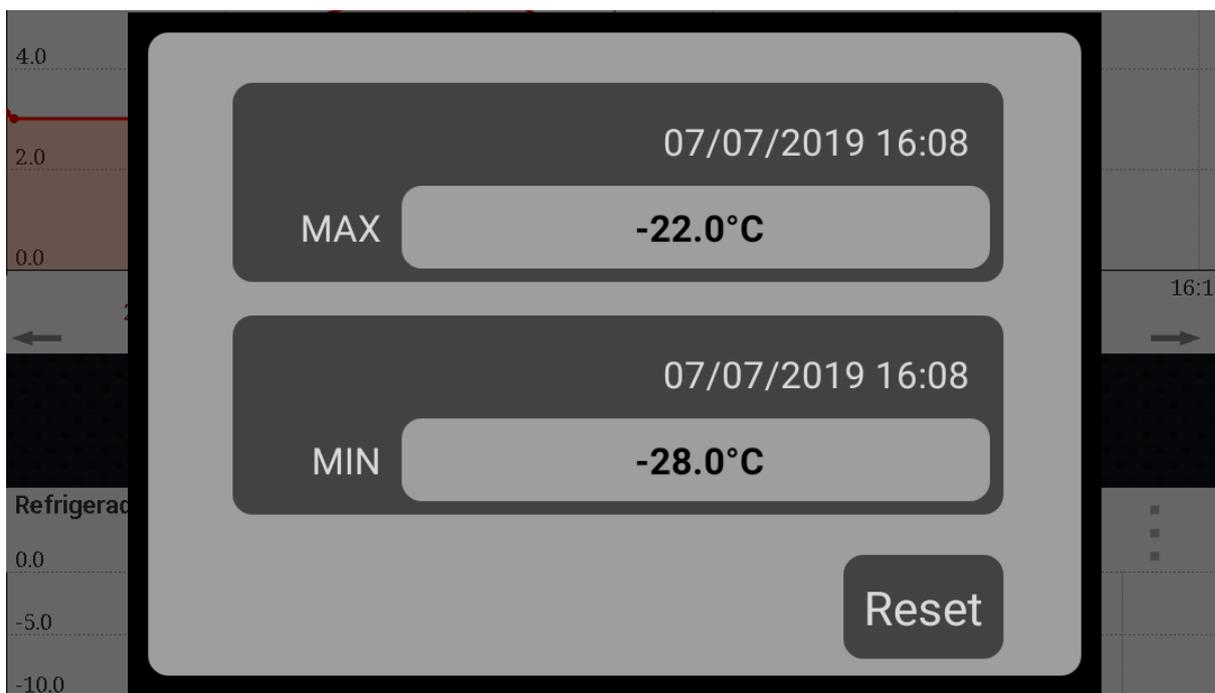
Na figura acima, observa-se os seguintes elementos:

- Temperatura instantânea;
- Marcação da última atualização;
- Registro do máximo e mínimo histórico, no período visualizado;
- Identificação da alocação do termômetro;

Caso necessário o usuário pode alterar a escala do eixo horizontal, de modo a consultar os valores registrados em períodos anteriores, então atualizando o registro de máximo e mínimo.

O elemento A (marcação da temperatura instantânea), possui a função de registrar os máximos e mínimos absolutos (independentemente do histórico apresentado em gráfico), tal qual pode ser observado na figura abaixo:

Figura 22: Funcionalidade do elemento A, registro de máximo e mínimo absoluto

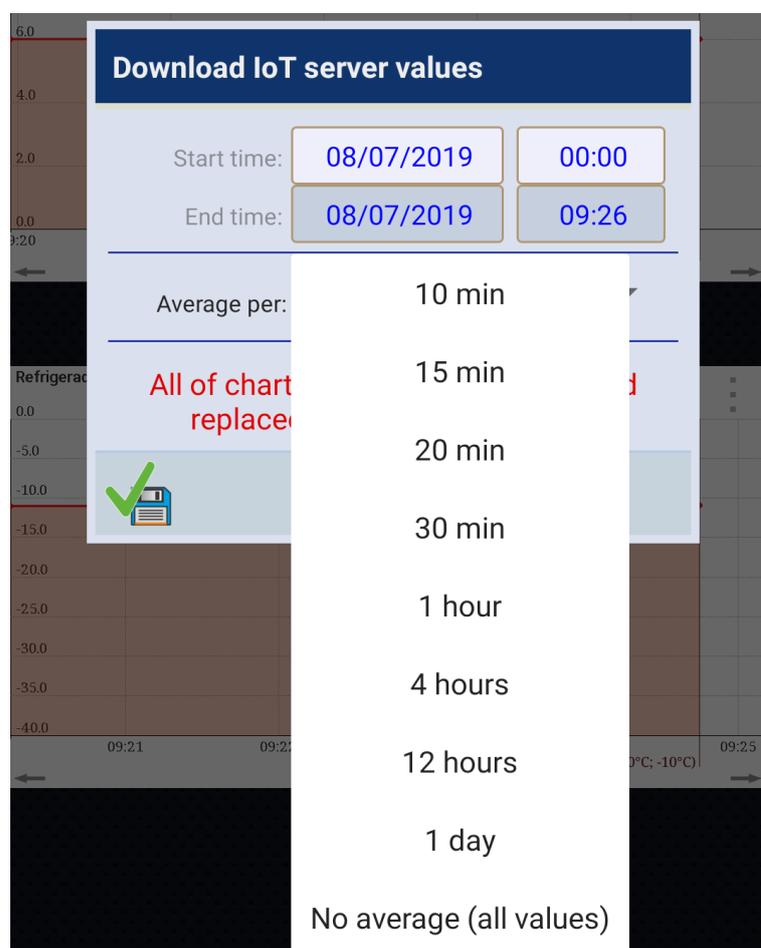


Fonte: O autor (2019)

Essa funcionalidade permite que, caso seja necessário o usuário acesse facilmente os registros de máximo e mínimo histórico, sendo possível também resetar esses valores e iniciar o uma nova série.

Dentre as funcionalidades implementadas, também é possível efetuar o download de dados referentes ao histórico de registro de temperaturas, em um arquivo de extensão *“Comma-Separated Values”* (CSV), assim possibilitando que os dados possam ser baixados e analisados em outras ferramentas.

Figura 23: Funcionalidade de download de dados históricos de registros de temperatura, por meio do aplicativo

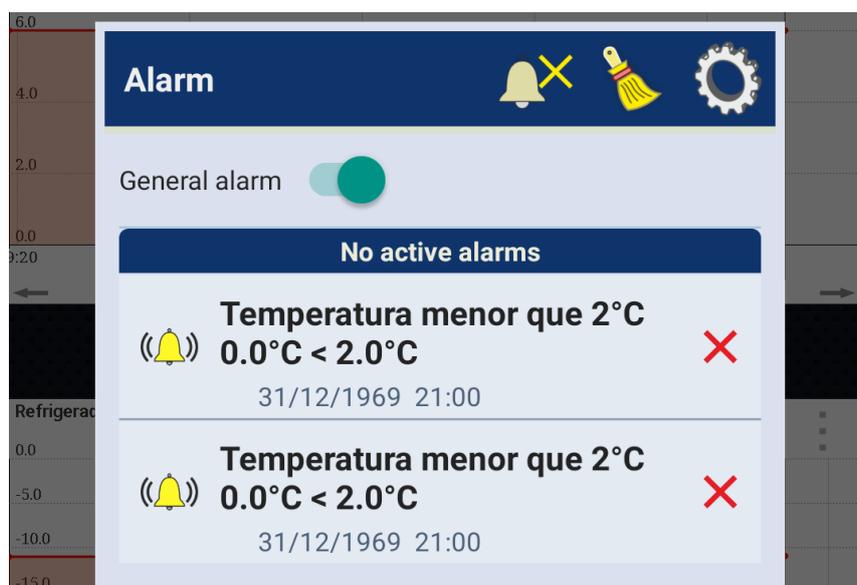


Fonte: O autor (2019)

Na figura acima, nota-se a possibilidade de se efetuar o download dos dados de modo sumarizado, onde cada ponto representa uma média de um certo período, ou caso necessário pode-se exportar os dados brutos sem nenhum tratamento especial.

Por fim, também foi implementada a função de alarme sonoro, que é ativada sempre que evidenciado algum registro de temperatura, que esteja fora dos limites estabelecidos pelo usuário:

Figura 24: Funcionalidade alarme sonoro, implementada por meio do aplicativo



Fonte: O autor (2019)

Com a implementação do alarme sonoro, por meio de aplicativo, espera-se reduzir o tempo de resposta, no cenário onde a temperatura venha a sair dos limites de conformidade, assim contribuindo para reduzir o risco de perda de material e agregando valor para a qualidade do monitoramento.

Entretanto, observa-se que a funcionalidade de alarme sonoro exige que o aplicativo se mantenha ativo em segundo plano, então essa condição consequentemente aumenta o consumo de bateria e dados, por outro lado ressalta-se que o acompanhamento por meio do aplicativo é opcional e o sistema implantado no protótipo já é programado para enviar SMS e efetuar ligações, para o celular responsável, diante da hipótese de registro de temperaturas fora dos limites de conformidade.

DISCUSSÃO

De acordo com o apresentado no estudo Oliveira et al. (2012), através da utilização do produto do presente trabalho, espera-se colaborar no sentido de somar esforços para a redução de perdas desnecessárias de vacinas, vinculadas a oscilações de temperatura, que também contribuem para redução da eficiência imunológica e comprometem a saúde pública. Haja a vista que com o monitoramento constante da temperatura diminui-se a possibilidade de perda de material.

Com o produto do presente trabalho pretende-se auxiliar futuras pesquisas desenvolvidas no HCPA ou em outros locais, onde ocasionalmente haja necessidade de se armazenar medicamento imunobiológico termolábil, assim garantindo a conformidade e validade dos medicamentos e contribuindo para a manutenção da qualidade da pesquisa. Assim o coordenador de determinada pesquisa poderá ser acionado caso a temperatura saia dos parâmetros pré-estabelecidos, portanto contribuindo para validação dos resultados advindos da pesquisa assim como para as boas práticas para conservação de tais medicamentos conforme recomendado por Valery (1990) e SBIM (2017).

Assim como levantado por Oliveira et al. (2012) e reforçado por Cunha (2017), atualmente grande parte das UBS utilizam controles precários, para efetuar monitoramento de temperatura, sendo realidade que em muitas UBS a monitorização se dá por meio de anotações feitas em papel e caneta, portanto a solução desenvolvida no presente trabalho pode contribuir para melhora dos processos de monitorização de diversas UBS.

Pretende-se contribuir no sentido de se reduzir os riscos inerentes ao transporte de medicamentos termolábeis, agindo no monitoramento de temperatura, tanto em congeladores quanto no transporte.

O controle pode ser realizado com um termômetro, e o registro irá traduzir a temperatura apenas nos momentos de leitura. Sistemas mais avançados como esse podem ajudar a garantir que a temperatura apropriada é mantida ao longo de todo o dia, acompanhando constantemente perda ou ganho de calor. Por isso, a necessidade premente de investimento para reestruturação, no que tange atualização e manutenção da estrutura disponível, e expansão da capacidade de armazenamento.

E ainda garantir a confiabilidade dos produtos a segurança e a eficácia, diminuir gastos em relação a imunobiológicos e medicamentos termolábeis a necessidade de um trabalho compartilhado e do planejamento para gestão eficiente para conservação de desses produtos tem ainda como função diminuir gastos e ressalta o papel estratégico desempenhado nesse processo; e debate assuntos que vão desde o monitoração adequada até o gerenciamento dos gastos resultantes das atividades desenvolvidas com controle de temperatura.

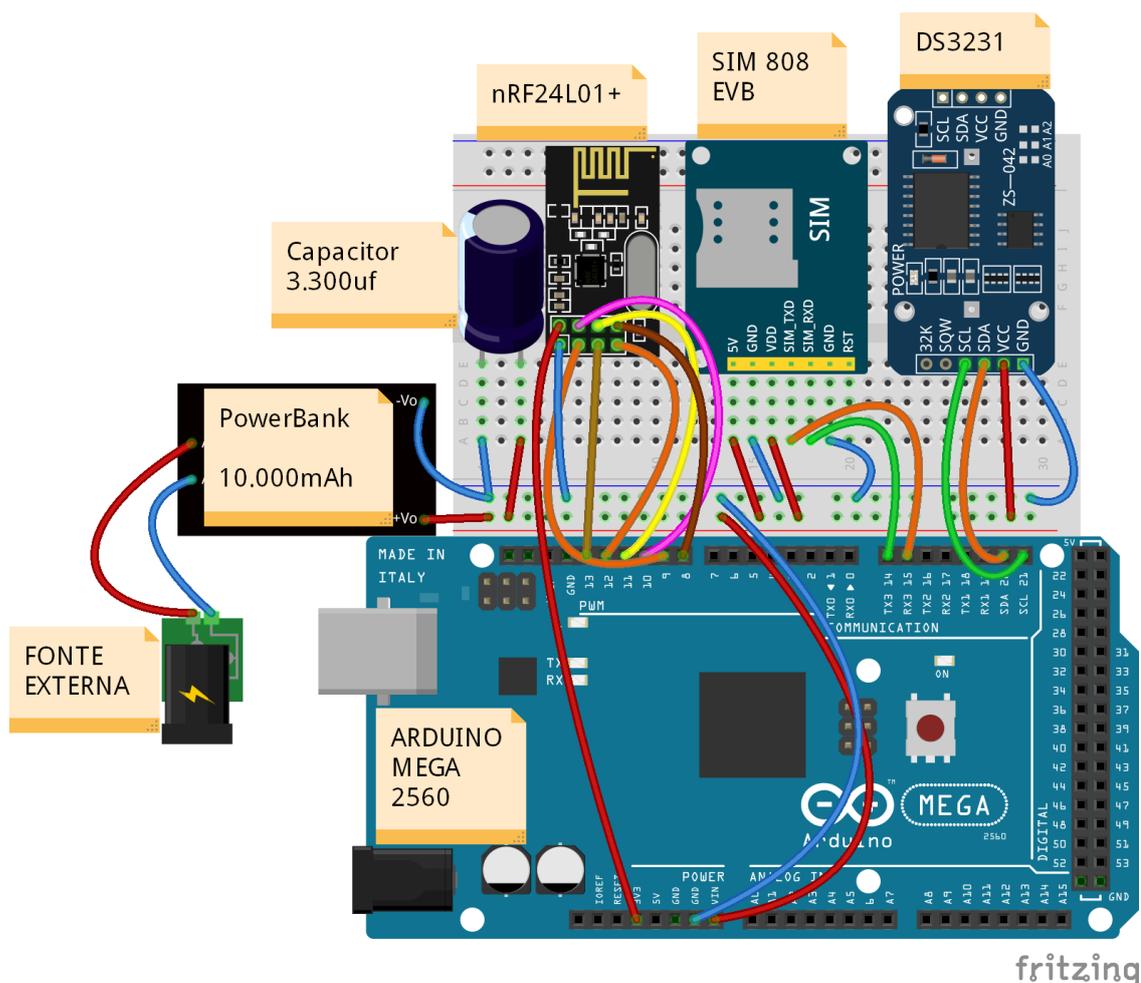
PRODUTO DA DISSERTAÇÃO

1.19 DIAGRAMAS, ESQUEMAS E FOTOS DO PRODUTO

O produto elaborado é composto por duas partes, sendo a base que é responsável por receber os dados de temperatura, verificados no interior do congelador e o transmissor, que realiza o envio da verificação sempre que termina um ciclo de hibernação, que tem duração de 20 segundos.

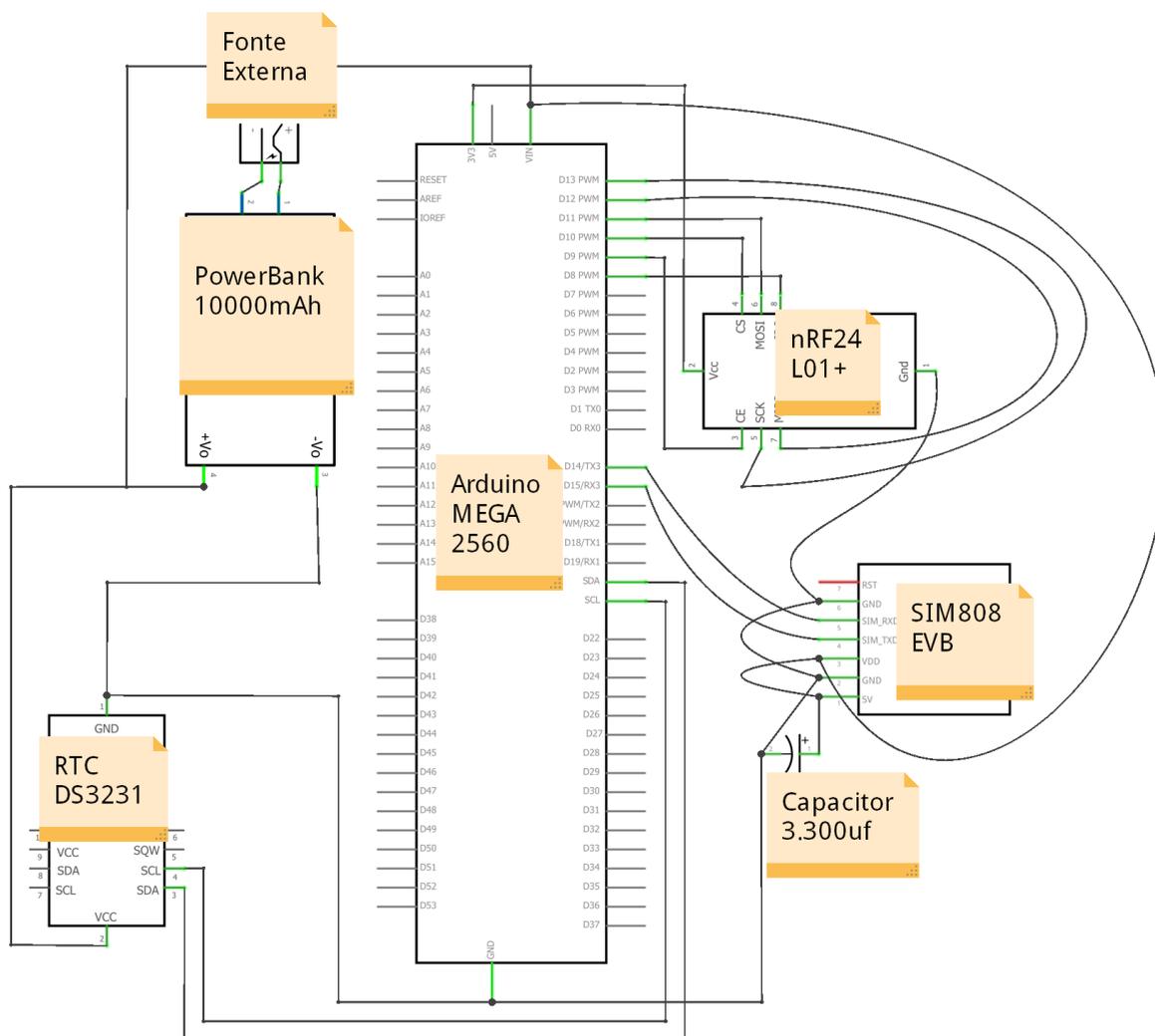
Por meio do software Fritzing v. 0.9.3, foi possível esquematizar as ligações e componentes que atuam no produto, na figura abaixo pode-se observar os componentes da Base, seguido de sua representação esquemática:

Figura 25: Diagrama visual da base/receptor



Fonte: O autor (2019)

Figura 26: Diagrama esquemático da base/receptor



fritzing

Fonte: O autor (2019)

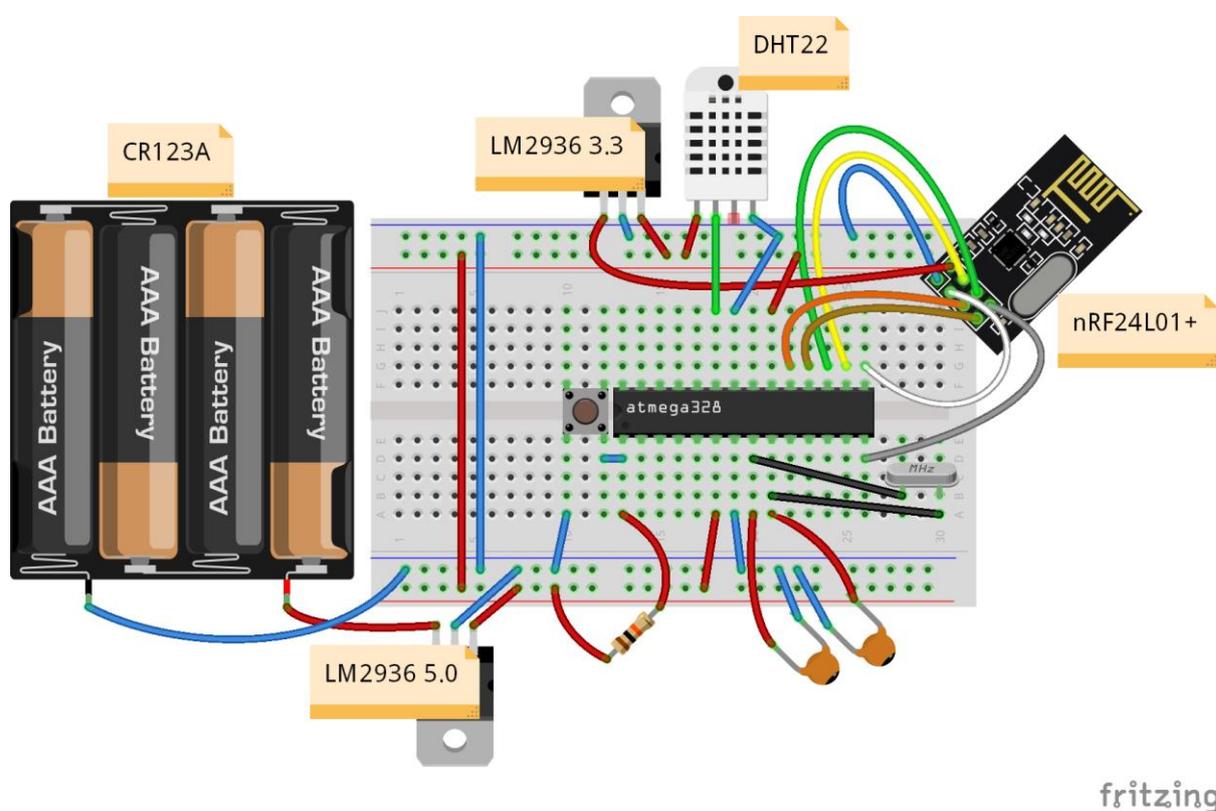
Por uma questão de redução de custos, inicialmente buscou-se utilizar somente o microcontrolador ATmega328, na confecção da Base, entretanto não foi possível, devido ao elevado número de ligações, em especial para comunicação entre as portas serial. Portanto, foi necessário a adoção do Arduino Mega 2560, que apresenta um elevado número de portas, sendo conveniente, para projetos complexos que necessitem de um maior número de portas digitais.

No esquema, observa-se que o recebimento dos dados é realizado pelo módulo nRF24L01+, o RTC DS3231 tem a função de registrar a hora de recebimento do dado de temperatura, o módulo SIM 808 EVB realiza a comunicação via SMS, chamada telefônica e armazenagem dos dados via GPRS, por fim o sistema possui

um capacitor de $3.300\mu\text{f}$, que protege o sistema contra eventuais picos de tensão, mantendo os componentes em condições ideais de alimentação, já o Power Bank, fornece energia ao sistema, com autonomia de aproximadamente 28 horas, sempre que o aparelho não estiver conectado a tomada. Assim, sendo capaz de manter o monitoramento, mesmo em situações onde não se disponha de energia elétrica.

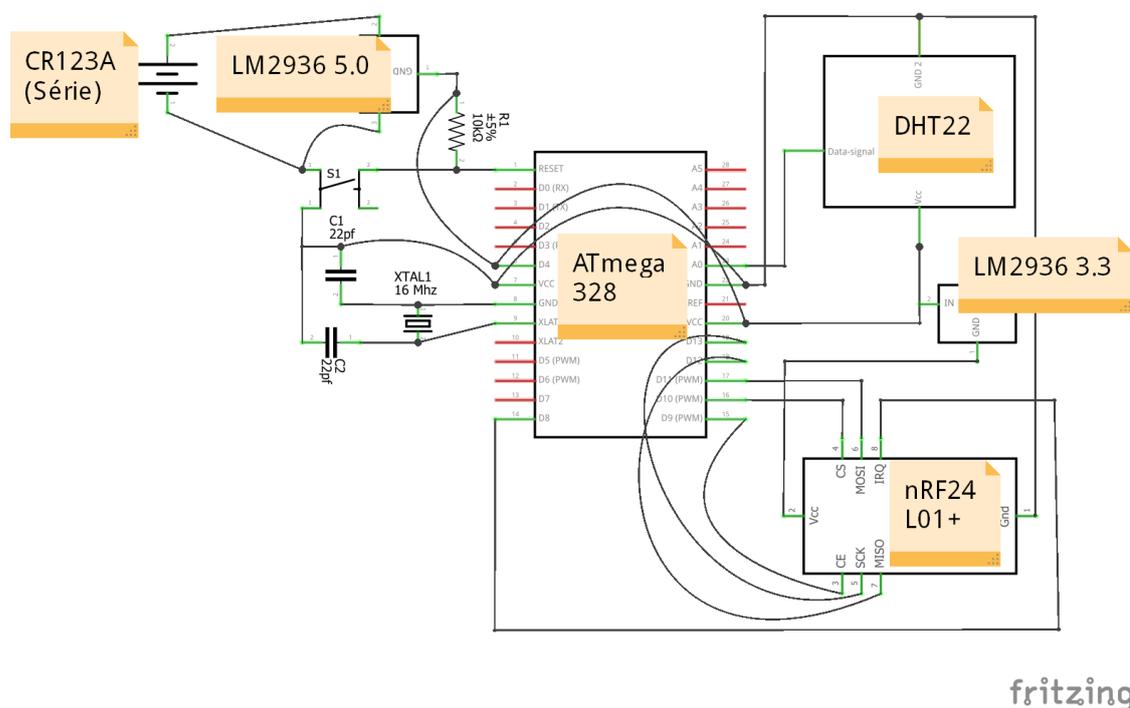
Já os diagramas referentes ao termômetro, podem ser observados na figura que segue:

Figura 27: Diagrama visual do termômetro/transmissor



Fonte: O autor (2019)

Figura 28: Diagrama esquemático do termômetro/transmissor



fritzing

Fonte: O autor (2019)

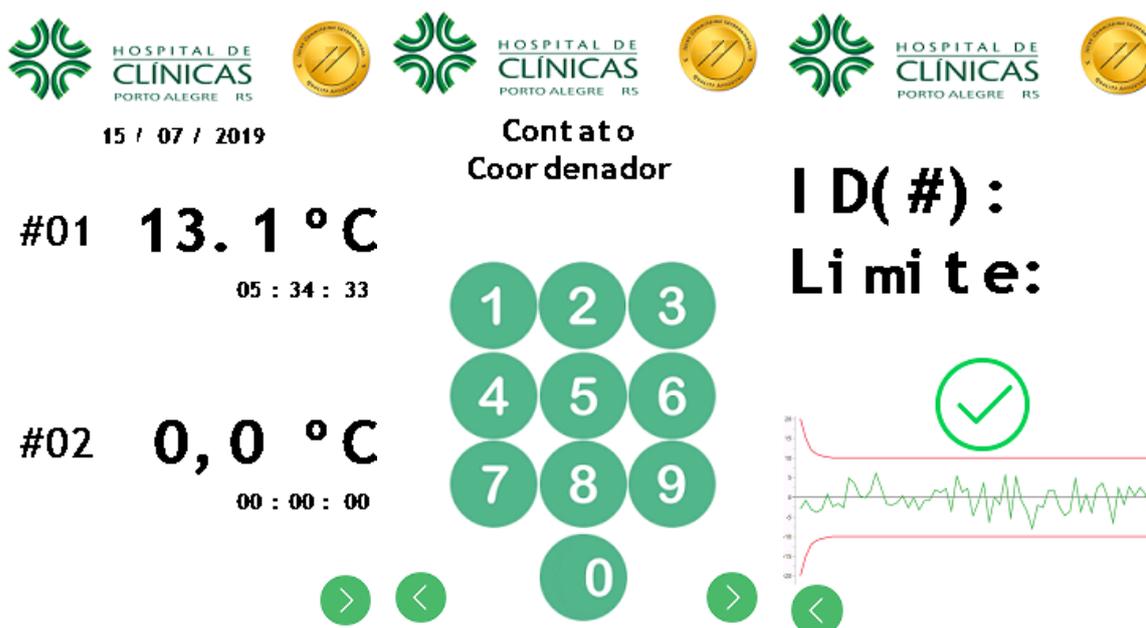
O componente do termômetro, apresenta uma maior complexidade na montagem, já que se optou por trabalhar somente com o microcontrolador ATmega328 e não com a plataforma Arduino completa, objetivando redução no consumo de energia.

No sistema, os reguladores LM2936, realizam o controle do nível de tensão que chega da bateria, reduzindo para os patamares de 5v (para alimentar o sistema) e 3,3v (para alimentar o nRF24L01+), o sensor DHT22 realiza as verificações de temperatura, e o microcontrolador carrega o script, em C++, que faz com aconteçam os ciclos de hibernação de 120s e então imediatamente após terminado um ciclo, seja enviado a informação de temperatura para a base. Quanto aos demais componentes são necessários para fazer com que o microcontrolador ATmega328 seja operante.

Conforme mencionado ao longo do texto, o acompanhamento da temperatura instantânea e histórica, se dá por meio de consulta ao aplicativo ou de através da visualização proporcionada pelo display presente na base (não representado no diagrama da base, por questões técnicas do software Fritzing).

Nas figuras abaixo, são descritas as informações presentes no display que compõe a base:

Figura 29: Informações presentes no display da base



Fonte: O autor (2019)

No exemplo demonstrado, observa-se que o display é constituído de três páginas principais, sendo apresentado:

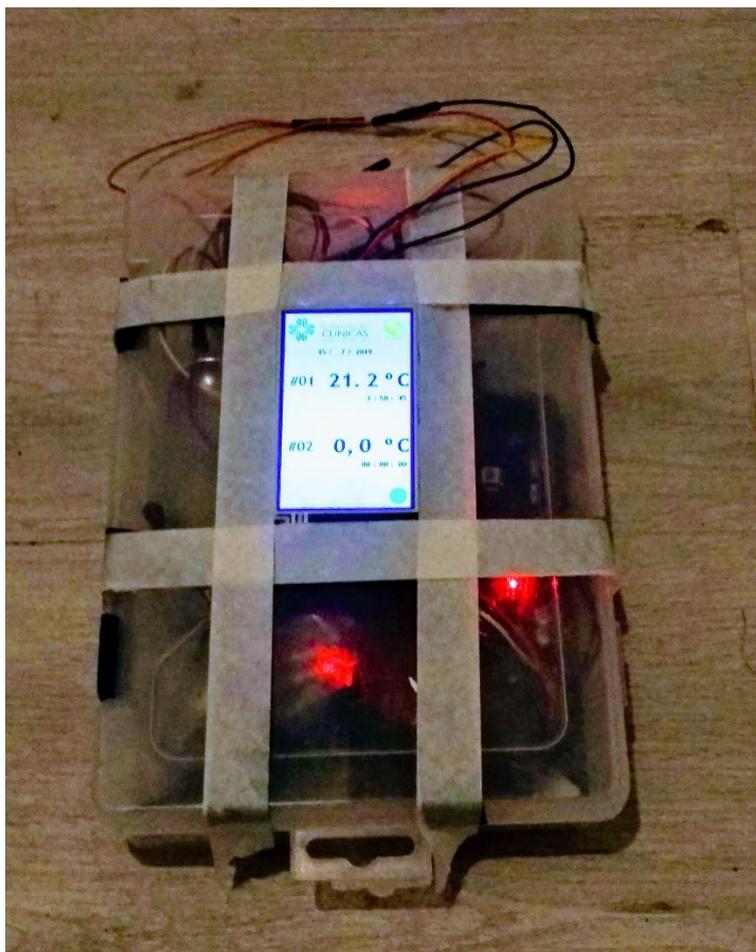
- Na primeira página: A leitura da temperatura instantânea, juntamente com o registro da hora na qual ela foi coletada
- Na segunda página: Torna possível a inserção do contato telefônico do coordenador da pesquisa, ou do responsável pelo acompanhamento da monitorização do congelador. Então após a inserção do contato telefônico, será enviado um SMS ou realizada uma chamada, sempre que a temperatura registrada não estiver dentro dos limites estabelecidos, ou caso o coordenador/responsável envie a palavra "temp" para o número do chip que está alocado na base.
- Na terceira página: é possibilitado definir os limites inferiores ou superiores, que acionarão o SMS ou chamada, para o número do responsável, também

ressalta-se que pode-se definir diferentes limites, para diferentes termômetros, que são identificados pelo ID.

Portanto, a tela oferece uma interface que é capaz de coletar dados e programar o sistema, sem a necessidade de se manipular o Arduino para isso, posteriormente essas alterações poderão ser realizadas por meio online, entretanto atualmente, na versão apresentada dia 23 e 25 de julho de 2019 somente é possível a edição dos dados via inserção através do display ou por meio de programação direta no código.

Nas imagens abaixo, pode-se observar a base operando por meio da carga advinda de sua bateria interna, registrando uma temperatura de um termômetro localizado a aproximadamente dez metros de distância.

Figura 30: Fotografia da base, operando remotamente por meio da bateria interna



Fonte: O autor (2019)

Figura 31: Fotografia da carenagem do Termômetro, registrado no setor de climatização do HCPA



Fonte: O autor (2019)

Portanto, atualmente o produto já é operante em uma versão inicial e é capaz de realizar verificação de temperatura em ambientes hospitalares, tal qual verificou-se nos testes realizados no setor de climatização do HCPA.

Entretanto, certamente há muitos detalhes e pontos onde se pode otimizar produto, de modo a torna-lo mais eficiente energeticamente, reduzir os custos de fabricação, melhorar o raio de comunicação dos dados mensurados e registradas. De modo geral há muitos pontos para agir a fim de melhorar a relação custo/benefício, conforme abordado na seção de custos de fabricação do protótipo.

1.20 CUSTOS DE FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

A maioria das peças utilizadas para confecção do protótipo, foi adquirida em lojas oficiais da região de Curitiba/PR, com recebimento de nota fiscal. Entretanto, para conclusão do projeto, foi necessário a aquisição do regulador de tensão LM2936-5.0 (*Ultra-low Quiescent Current 5V Regulator*) e LM2936-3.3 (*Ultra-low Quiescent Current 3.3V Regulator*), Texas Instruments (2014), que realiza o controle da tensão recebida da fonte, para o patamar de 5v (necessário para o microcontrolador ATmega328 e sensor DHT22) e posteriormente reduz para 3,3v (necessário para o módulo transmissor nRF24L01+). Atualmente, na época de elaboração do protótipo, não é possível a aquisição desse componente no mercado nacional, então optou-se pela importação.

O quadro abaixo descreve o custo em reais e percentual, por peça e por componente (transmissor e receptor):

Quadro 4: Custos para fabricação do Termômetro/Transmissor

	Descrição	n	Custo	
			Preço (BRL)	Cost Share
TERMÔMETRO/TRANSMISSOR	Baterias CR123a 2 unidades (3v ; 1.550 mAh)	1	R\$ 37,80	25,30%
	Sensor de temperatura DHT22	1	R\$ 21,70	14,50%
	Custos com cabos, soldas, montagem, eletricidade, outros.	1	R\$ 20,00	13,40%
	Custo com Impressão da carenagem (PLA, custos de energia e outros)	1	R\$ 20,00	13,40%
	Microcontrolador Atmega328 + Componentes Standalone	1	R\$ 17,91	12,00%
	Módulo Transceptor Wireless 2.4GHz - nRF24L01+	1	R\$ 12,51	8,40%
	Placa Fenolite Perfurada	1	R\$ 9,90	6,60%
	Regulador de Tensão LM2935 5.0 (Lm2935 p/ 3,3v, Somente Importado)	1	R\$ 4,84	3,20%
	Regulador de Tensão LM2935 3.3 (Lm2935 p/ 5v, Somente Importado)	1	R\$ 4,72	3,20%
	TOTAL DO COMPONENTE (TERMÔMETRO/TRANSMISSOR)		R\$ 149,37	Termômetro: 100% TOTAL: 20,5%
CUSTO TOTAL (TERMÔMETRO + BASE)		R\$ 728,47		

Fonte: O autor (2019).

Quadro 5: Custos para fabricação da Base/Receptor

	Descrição	n	Custo	
			Preço (BRL)	Cost Share
BASE/RECEPTOR	Módulo GSM SIM808	1	R\$ 199,90	34,50%
	Display TFT LCD IHM Touch Nextion 2,8" 320x240	1	R\$ 166,51	28,80%
	Arduino Mega Atmega2560	1	R\$ 70,00	12,10%
	Power Bank 10.000 mAh	1	R\$ 42,49	7,30%
	Custos com cabos, soldas, montagem, eletricidade, outros.	1	R\$ 20,00	3,50%
	Custo com Impressão da carenagem (PLA, custos com energia e outros)	1	R\$ 20,00	3,50%
	Fonte Externa 5v/2a	1	R\$ 15,99	2,80%
	Módulo Transceptor Wireless 2.4GHz - nRF24L01+	1	R\$ 12,51	2,20%
	Chip para envio de dados M2M (Custo recorrente mensal)	1	R\$ 11,90	2,10%
	Capacitor de 3.300 uf	1	R\$ 9,90	1,70%
	Placa Fenolite Perfurada	1	R\$ 9,90	1,70%
	TOTAL DO COMPONENTE (BASE/RECEPTOR)			R\$ 579,10

Fonte: O autor (2019).

Observa-se que o segundo maior custo, no componente (Base/Receptor), pertence ao display de 2,8", que tem a função de coletar dados de contato telefônico para disparo do alarme e informar sobre a temperatura instantânea. Entretanto ressalta-se que o produto pode operar utilizando somente a interface oferecida pelo aplicativo em Android e os sinais recebidos pela rede GPRS. Portanto, caso seja necessário, pode-se operar sem esse componente.

Os custos de impressão da carenagem, foram estimados tendo-se em vista o preço atual do quilo do plástico PLA (atualmente em R\$ 99,90, na região de Curitiba/PR), peso da carenagem em aproximadamente 100g, custos de consumo elétrico da impressora 3d (Marca: Ender3), necessários para elaboração realização da impressão. Já outros custos, descritos no quadro acima como: com cabos, soldas, montagem, consumo de energia, outros custos, foram estimados empiricamente, baseado no conhecimento adquirido a partir da montagem do primeiro protótipo.

Portanto o custo total para elaboração do protótipo funcional apresentado foi de R\$ 728,47, sendo observado que a quantidade de transmissores pode ser aumentada, dentro do raio de atuação e do limite de recepção, sendo incrementado R\$149,37 por unidade de transmissão adicional.

Foram desconsiderados demais impostos e custos inerentes a fabricação de produtos industrializados no Brasil. Portanto os valores descritos acima constituem somente um demonstrativo financeiro, onde pode-se ter conhecimento aproximado dos principais custos de fabricação.

1.21 FUTURAS OTIMIZAÇÕES ADVINDAS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO EM REDE LORA

Atualmente a comunicação para IOT, vem aderindo à tecnologia *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), que segundo Raza et al. (2017) foi elaborada buscando para viabilizar a comunicação que atenda aos quesitos de: baixo consumo de energia, longo alcance de transmissão e baixa frequência de envio.

A comunicação LPWAN atua em faixas “*Industrial Scientific and Medical*” ISM, que são homologadas em diferentes frequências, a depender de cada país.

Atuando na rede LPWAN, surgiu a LoRaWan™ que é um protocolo aberto de comunicação, desenvolvido e atualizado por uma associação global de empresas, LoRa Alliance™, sem fins lucrativos.

O quadro abaixo relaciona as faixas de operação onde se é permitido a utilização da comunicação por meio do protocolo LoRaWan™:

Quadro 6: Faixas de operação LoRaWan™, por país

País	Faixa de Operação LPWAN
Estados Unidos da América	902 – 928 Mhz
Alemanha	433,05 – 434,79 Mhz 863 – 870 Mhz
China	920,5 -924,5 MHz 779 -787 MHz 470 -510 MHz 433,05 -434,79 MHz 314-316 MHz 430 -432 MHz 840 -845 MHz
Portugal	433,05 – 434,79 Mhz 863 – 870 Mhz
Brasil	902 – 907,5 Mhz 915 – 928 Mhz 433 – 435 Mhz

Fonte: Adaptado de LoRa (2017)

Atualmente, no Brasil, o tráfego de dados via LoRaWan™ é parcialmente regulamentado pela resolução da Anatel nº 680, de 27 de junho de 2017, Anatel (2017), que fornece diretrizes e regulamenta equipamentos de radiocomunicação de radiação restrita, além de estabelecer as faixas disponíveis para operação.

Por meio da utilização do protocolo LoRaWan™, segundo Semtech (2019), é possível conectar dispositivos em até 48 Km, com elevada segurança dos dados e baixo consumo de energia. Portanto se tornando uma solução interessante e de baixo custo, para monitoramento remoto, que atendam as características para atuar em uma rede LPWAN. Devido as características peculiares do protocolo LoRaWan™, denomina-se rede LoRa, o conjunto de dispositivos conectados e comunicantes por meio desse protocolo.

Por meio de uma associação de dispositivos é possível trabalhar com microcontrolador ATmega328p e transmitir dados por meio do protocolo LoRaWan™. Entretanto, atualmente já existem plataformas, tais como o Arduino MKR WAN 1300, que possuem conectividade nativa com o protocolo LoRaWan™:

Figura 32: Arduino MRK WAN 1300



Fonte: Arduino (2019)

Portanto, pode-se implementar os protocolos de comunicação LoRaWan™, no sistema atualmente desenvolvido e assim reduzir custos do produto. O quadro abaixo descreve os principais pontos onde o produto pode ser otimizado, por meio da utilização de uma rede LoRa:

Quadro 7: Faixas de operação LoRaWan™, por país

Otimização	Meio de Otimização	Descrição
Redução de custos	<p>Aumento do raio de captação</p> <p>Redução do número de bases fabricadas</p>	<p>Pois ao utilizar a rede LoRa, pode-se aumentar a distância entre o Transmissor e Receptor, de modo a concentrar todos os sinais recebidos em uma única base, captando em um raio de um ou dois quilômetros (a depender da localidade e dos possíveis fatores de interferência).</p>
Aumento de Segurança	<p>Encriptação oferecida pelo protocolo LoRaWan™</p>	<p>O protocolo LoRaWan™ possui um razoável nível de segurança ao trabalhar com duas chaves de criptografia, assim garantindo que a mensagem transmitida seja lida somente no servidor de destino.</p>
Redução de consumo	<p>Baixo consumo para transmissão dos dados por meio da rede LoRa</p>	<p>A rede LoRa, tem como característica, oferecer uma transmissão com um baixo consumo de bateria, se comparado aos outros meios de transmissão do segmento de IOT. Então, como o produto desenvolvido</p>

		realiza medições remotas, a economia de bateria é um ponto fundamental.
Redução de custos	Não necessidade de aquisição da placa SIM808 EVB e consequente custo mensal para operação do chip GSM/GPRS M2M	Devido ao aumento de raio de captação, possibilitado pela rede LoRa, pode-se manter a base fixa em um ponto com acesso à internet e assim eliminar os custos para comunicação GSM/GPRS. Ainda se ressalta que se pode manter o sistema de notificação por SMS e Ligação, por meio da contratação de serviços virtuais.

Fonte: O autor (2019).

Portanto, o produto desenvolvido no presente trabalho, poderá se beneficiar através da adoção da comunicação por meio da rede LoRa. Sendo observadas redução de custos e consumo, assim como aumento da segurança dos dados. Dentre as possíveis futuras melhorias, a adoção da rede LoRa se mostra uma opção de ótimo custo benefício, além de que sua implementação não demandará grandes mudanças no trabalho que já foi realizado.

APLICABILIDADE DO PRODUTO

O produto desenvolvido nesse trabalho, poderá ser aplicado em diversos processos que necessitem de operar sobre parâmetros pré-estabelecidos de temperatura, desde que contemplem a faixa de -40°C até 60°C .

Assim, inicialmente idealizado para atuar na verificação da temperatura de vacinas, soros e materiais biológicos que necessitam de permanecer em temperaturas entre 2°C e 8°C . O produto poderá atender a unidades de refrigeração em diversas UBS, principalmente naquelas onde sejam utilizadas geladeiras domésticas e não possuam termômetros dedicados ou que não disponham de nenhum sistema de alerta.

Além da possibilidade de se implementar a verificação digital, periódica e constante em geladeiras adaptadas, o produto também pode ser aplicado em congeladores que já possuam sistema de monitorização implementado. Pois trata-se de mais uma ferramenta a contribuir para a verificação da temperatura, de modo independente do sistema atual, logo colaborando para melhora da confiabilidade do sistema.

Assim como observado em FUNASA (2017), o controle e verificação de temperatura é parte fundamental no manejo e armazenamento de vacinas, soros e materiais biológicos em geral. Portanto a aplicabilidade do produto nos hospitais da rede EBSEH, especificamente nos serviços de manipulação de material biológico, poderá colaborar de modo significativo principalmente em hospitais que ainda não possuam algum sistema automatizado de monitoramento de temperatura.

Também se ressalta que além do produto cobrir a faixa de temperatura na qual são conservados os materiais biológicos, também se pode utiliza-lo para verificação de temperaturas em estufas, cultivos de bactérias ou fungos, desde que a temperatura sob a qual o cultivo se desenvolva varie dentro da faixa de operação do produto. Assim se conclui que o produto desenvolvido tem uma grande abrangência, podendo ser utilizado em diversos segmentos dentro de um hospital, fazendo com que venha a contribuir e auxiliar em variados processos.

INSERÇÃO SOCIAL

O produto poderá ser aplicado em diversas pesquisas realizadas no HCPA ou em centros de pesquisa clínica, onde haja necessidade de acompanhamento periódico e constante de temperatura. Devido ao fato de ter sido desenvolvido e construído, através da plataforma Arduino e não contar com software proprietário, o custo de fabricação e implementação passa a ser reduzido e assim fazendo com que a solução seja atrativa, em custo/benefício, e venha a ser adotada em futuras pesquisas.

Além das aplicações relacionadas a pesquisa clínica, também se espera que o produto contribua para melhora dos controles internos de UBS e demais serviços hospitalares, onde haja necessidade de verificação periódica e constante de freezers e geladeiras, ou culturas de fungos ou bactérias. Sendo a adoção do produto, ainda mais atraente nos casos em que ainda não haja implementada nenhuma forma de controle automatizado.

CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentou um produto construído com base na plataforma Arduino, caracterizada por ser uma plataforma Open Source e estar presente em diversas prototipagens abrangendo diversos setores, assim consequentemente subsidiando a produção de novos produtos.

Devido à simplicidade de utilização do produto, assim como seu baixo custo de implementação, em função da ausência de ferramentas proprietárias e utilização módulos para Arduino, pôde-se reduzir os custos e apresentar uma solução visa contribuir para melhora da qualidade na verificação de temperatura, principalmente em congeladores dedicados a armazenagem de termolábeis.

Além de colaborar através do oferecimento de mais um meio da verificação de temperatura, em congeladores dedicados, também pode-se somar esforços para melhora da qualidade de estocagem de termolábeis em UBS, pois como abordado por Oliveira et al. (2012) e Cunha (2017), a geladeira doméstica gera grande deficiência na verificação da temperatura, entretanto é notadamente utilizada para armazenamento de vacinas e outros materiais em diversas UBS. Então, somente no contexto das UBS, observa-se que o produto pode contribuir de maneira contundente para a melhora da qualidade de estocagem de vacinas e soros.

Tendo em vista Crosewski (2016), o desperdício de material imunobiológico devido ao mal acondicionamento térmico, assim como a perda por prazo de validade, tratam-se de perdas evitáveis. Portanto pode-se contribuir ativamente para redução de perdas evitáveis e atuar na redução de custos, uma vez é possível realizar verificações de modo automático e periódico, além de haver a possibilidade de notificação do profissional responsável, caso ocorra alguma leitura ultrapasse os limites de temperatura pré-estabelecidos.

Dentre as limitações do produto desenvolvido, destaca-se a possibilidade de ruídos de comunicação, haja em vista que opera na mesma faixa das redes de internet Wi-Fi, então pode-se haver interferências de modo a reduzir o raio de comunicação entre o Transmissor e Receptor, entretanto ressalta-se que há como minimizar os efeitos da interferência, ao programar o aparelho para trabalhar em um

dos 126 canais disponíveis (variando entre 2.400 mHz até 2.525), então estabelecendo a operação no canal de maior ociosidade.

Também destaca-se a limitação referente a autonomia da bateria, que conforme descrito ao longo do texto, há um elevado custo relacionado a aquisição de um abateria que opere em cenários de baixas temperaturas (próximas a -40°C), entretanto tal problema pode ser contornado ao utilizar um meio que realize a condução da energia vinda de um ambiente externo ao congelador. Para contornar essa situação, sugere-se a utilização de Eletro fitas, que podem cumprir com o papel de fornecer energia ao termômetro, de modo a manter a bateria em local externo e sobre condições ideais, fazendo com que seja possível realizar a verificação com baterias de baixo custo.

Quanto ao custo total da implementação do protótipo, nota-se que apesar de o produto tem um custo inicial relativamente elevado, de aproximadamente R\$ 728,47, entretanto destaca-se que os custos de manutenção são minimizados, reduzindo-se a compra de baterias, mensalidade do chip M2M e consumo elétrico da Base, que não são tão expressivos, de modo a fazer com que o produto tenha uma boa relação custo/benefício.

No processo de elaboração de um produto, o acúmulo de conhecimento sobre as tecnologias implementadas ou novas tecnologias concorrentes fazem com que sempre se tenha algo a agregar, tal como a adoção da comunicação por meio da rede LoRa ou reformulação do sistema utilizando diferentes materiais (de menor custo) ou com outra linguagem tal como Phyton ao invés de C++(linguagem utilizada nos scripts para ATmega328), assim facilitando a conectividade com outras plataformas disponíveis no mercado. Entretanto, dentre todas as futuras mudanças, destaca-se como sendo de maior importância e de menor custo, a adoção da comunicação por rede LoRa.

REFERÊNCIAS

ACOPTEX. Basics: Project 053d SIM808 GSM GPRS GPS Bluetooth evolution board (EVB-V3.2) at Acoptex.com / ACOPTEX.COM. **Product Datasheet**, p. 1, 2019. Disponível em: <<http://acoptex.com/project/264/basics-project-053d-sim808-gsm-gprs-gps-bluetooth-evolution-board-evb-v32-at-acoptexcom/>>. Acesso em: 12/7/2019.

ANATEL. Portaria nº 50632, de 17 de dezembro de 2015 - Portal de Legislação da Anatel (Resoluções, Leis, Decretos e Normas). Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/procedimentos-de-fiscalizacao/892-portaria-50632>>. Acesso em: 13/7/2019.

ANATEL. Resolução nº 680, de 27 de junho de 2017. **2017**, p. 1, 27. jun. 2017. Brasília. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>>. .

ANATEL. Telefonia Móvel - Municípios atendidos. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/setorregulado/telefoniamovel-universalizacao>>. Acesso em: 1/7/2019.

ANVISA. Relatório de Atividades 2016 - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Relatório de atividades 2016**, p. 204, 2016.

ARDUINO. Arduino. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 12/7/2019.

ATMEGA328. ATmega48P/V* ATmega88P/V* ATmega168P/V ATmega328P**. **Product Datasheet**, p. 1–23, 2009.

BATTERYSPACE. Specification Powerizer Primary Lithium Battery: CR123A (3.0v 1300mAh). **Product Datasheet**, p. 3–6, 2007. Disponível em: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/911844/AAPortablePower/CR123A/1>>. .

BOCCHI, N.; FERRACIN, L. C.; BIAGGIO, S. R. Nomenclatura e classificação dos sistemas eletroquímicos. **Química Nova na Escola**, v. 11, n. 3, p. 3–9, 2000.

BUTLEGROUP. Weiss Climate Test Chamber WK 111 | Butler Group. **Product Datasheet**, p. 1, 2019. Disponível em: <<http://www.butlergroup.ie/products-page/test-and-measurement/environmental-and-process-test/weiss-climate-test-chamber-wk-111/>>. Acesso em: 12/7/2019.

CARNEIRO, R. L.; MOLINA, J. H. A.; ANTONIASSI, B.; MAGDALENA, A. G.; PINTO, E. M. Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 889–911, 2017.

CAVALCANTI, A. B. R. M. **Uma avaliação da interferência entre redes**

802.11g. 2009.

CROSEWSKI, F. Controle de Perdas Evitáveis de Imunobiológicos na Rede de Frio da Instância Local: Uma Reflexão Acerca do Processo de Trabalho da Enfermagem. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENFERMAGEM - PPGENF**, 2016.

CUNHA, C. X. Sala de Vacina: Organização dos Imunobiológicos e Práticas Profissionais. , 2017.

CURTO, F. P. F.; NAAS, I. DE A.; PEREIRA, D. F.; SALGADO, D. D. Estimativa do padrão de preferência térmica de matrizes pesadas (frango de corte). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 211–216, 2007.

DHT22. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module. **Product Datasheet**, v. 22, p. 1–10, 2015.

DS3231. Extremely Accurate I2C-IntegratedRTC/TCXO/Crystal. **Product Datasheet**, p. 20, 2015. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>>. .

ELETRODEX. Módulo de Transmissão Wireless 2.4Ghz NRF24L01. Disponível em: <<https://www.eletrorodex.com.br/modulo-de-transmiss-o-wireless-2-4ghz-nrf24l01.html>>. Acesso em: 12/7/2019.

ELETRONICACASTRO. MODULO RELOGIO TEMPO REAL RTC DS3231. Disponível em: <<https://www.eletronicacastro.com.br/componentes-eletronicos/16338-modulo-relogio-tempo-real-rtc-ds3231-0000000163385.html>>. Acesso em: 12/7/2019.

ENERGIZER. Datasheet - NH15-230 (HR6). **Product Datasheet**, v. 1, p. 1–4, 2000.

ENERGIZER. Datasheet - E91. **Product Datasheet**, p. 1–2, 2014.

FELIPEFLOP. Sensor de Umidade e Temperatura AM2302 / DHT22 DHT22 - FilipeFlop. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-umidade-e-temperatura-am2302-dht22/?gclid=CjwKCAjw36DpBRAYEiwAmVVDMHWMtvw-aSUzQI4Oph4r4LaI8nqNqfmMDJ0sEWhPqarLiYDB4bByRoCrDcQAvD_BwE>. Acesso em: 12/7/2019.

FUNASA. Manual de Procedimentos para Vacinação. **Série A. Normas e Manuais Técnicos**, p. 573, 2017.

HERON VITOR MONTEIRO. Protótipo de Sistema de Rastreamento de Temperaturas e Localização em Transporte. , 2016.

HIGASHIMOTO, K.; HOMMA, H.; UEMURA, Y.; et al. Automotive lithium-

ion batteries. **Hitachi Review**, v. 60, n. 1, p. 17–21, 2011.

IBGE. IBGE - CIDADES. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1/7/2019.

LIMENTANI, G. B.; RINGO, M. C.; BERGQUIST, M. L. Beyond the t -Test: Statistical Equivalence Testing. **ANALYTICAL CHEMISTRY**, p. 1–6, 2005.

LORA. LoRaWAN 1.1 Regional Parameters. **LoRaWAN™ 1.1 Specif.**, v. 1, p. 72, 2017.

MENDES, A. C.; CALDEIRA, J. M. L. P.; MOUTINHO, J. A. F.; RODRIGUES, J. J. P. C. **Sensor Sem Fios para Monitorização da Temperatura Intra-Corporal**. 2009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Rede de Frio do Programa Nacional de Imunizações - 2013**. 4ª Edição ed. 2013, 2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual dos Centros de Referência para Imunobiológicos Especiais**. 2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Rede de Frio. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/saude-de-a-z/vacinacao/rede-de-frio>>. Acesso em: 3/6/2019a.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de rede de frio do Programa Nacional de Imunizações - 2017**. 5ª Edição ed. 2017, 2017b.

MONK, S. **Programação Com Arduino II - Passos Avançados Com Sketches**. 1º ed. Bookman, 2014.

NRF24L01+, D. nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver Product Specification v1.0. **Nordic Semiconductor**, v. 21, n. 1, p. 21–22, 2008.

NUTTYENGINEER. ATmega328 Microcontroller | | NUTTY ENGINEER. Disponível em: <<https://www.nuttyengineer.com/product/atmega328-mcu/>>. Acesso em: 12/7/2019.

OLIVEIRA, C. DE; GUIMARÃES, A. D. A.; SILVA, S. Conservação de Vacinas em Unidades Básicas de Saúde: Análise Diagnóstica em Municípios Mineiros. , 2012.

PALMIERI, A. M.; SILVEIRA, L. R. D. A.; MIRANDA, J. H.; MIRANDA, K. O. D. A. S. Sistema automatizado para monitorar temperatura e umidade relativa do ar. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.34, n.4, p.636-648, jul./ago. 2014, , n. 19, p. 636–648, 2014.

PANASONIC. Datasheet - CR123A. **Product Datasheet**, 2000. Disponível em: <https://br.mouser.com/datasheet/2/315/panasonic_lithium_cr2_cr123a-947444.pdf>. .

PRESYS.COM.BR. Banhos Térmicos tipo Bloco Seco - T-350P / T-650P | Presys. Disponível em: <<https://www.presys.com.br/pt/produtos/calibradores/temperatura/bloco-seco/insert-solido/t-350p-t-650p>>. Acesso em: 12/7/2019.

RAZA, U.; KULKARNI, P.; SOORIYABANDARA, M. Low Power Wide Area Networks: An Overview. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 19, n. 2, p. 855–873, 2017.

RICARDO DI LUCIA SANTOS, U. REDES GSM, GPRS, EDGE E UMTS. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/ricardo/4.html>. Acesso em: 1/7/2019.

SBIM. Imunização em Áreas Remotas de Difícil Acesso 2017. , 2017.

SEMTECH. What is LoRa? | Semtech LoRa Technology | Semtech. Disponível em: <<https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>>. Acesso em: 11/7/2019.

SIM808EVB. SIM808 _ EVBKIT _ User Guide Document Title : Version : Date : Status : **Product Datasheet**, p. 1–24, 2013.

SMARTINTEC. Sabe como funciona o sistema GSM e GPRS? Disponível em: <<https://www.smartintec.com.br/sabe-como-funciona-o-sistema-gsm-e-gprs>>. Acesso em: 1/7/2019.

SOUZA, A. DE; MAGLIONI, J. A. R.; SÁ, W. C.; PERLATO, M. T.; SILVA. Sistema Térmico Para o Monitoramento de Vacinas. , 2012. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85038845234&doi=10.1590%2F1981-6723.6916&partnerID=40&md5=940fce021d67e443fe6a25f1a518efd0>>. .

SPAGNOL, W. A.; SILVEIRA V., J.; PEREIRA, E.; FILHO, N. G. Monitoring the cold chain: New technologies and recent advances [Monitoramento da cadeia do frio: Novas tecnologias e recentes avanços]. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 2–8, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85038845234&doi=10.1590%2F1981-6723.6916&partnerID=40&md5=940fce021d67e443fe6a25f1a518efd0>>. .

TEXAS INSTRUMENTS. LM2936 Ultra-Low Quiescent Current LDO Voltage Regulator. **Product Datasheet**, 2014. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2936.pdf>>. .

VALERY, P. P. T. Boas Práticas para Estocagem de Medicamentos. **Ministerio Da Saude**, p. 1–25, 1990.

VARTA. Datasheet CR123A. **Product Datasheet**, p. 0–1, 2014.

VOLPE. ELETROFITAS - Volpe Eletropostes. Disponível em:

<<https://volpeeletropostes.com.br/produto/eletrofitas/>>. Acesso em: 12/7/2019.

ANEXOS

CÓDIGO DO RECEPTOR (RX)

https://github.com/franciscodnlneto/MPPC_PROJETO_2_TURMA_FDNLN/blob/master/CODIGO_RX_RECEPTOR

CÓDIGO DO TRANSMISSOR (TX)

https://github.com/franciscodnlneto/MPPC_PROJETO_2_TURMA_FDNLN/blob/master/CODIGO_TX_TRANSMISSOR