

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS - CAMPUS PALMAS**

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO PIVA DE SANTANA

**DESENVOLVIMENTO DE UM ANALISADOR PARA INCUBADORA
NEONATAL**

PALMAS, TO

2023

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TOCANTINS - CAMPUS PALMAS**

BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LEANDRO PIVA DE SANTANA

**DESENVOLVIMENTO DE UM ANALISADOR PARA INCUBADORA
NEONATAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharelado do Curso de Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira.

PALMAS, TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S232d Santana, Leandro Piva de
DESENVOLVIMENTO DE UM ANALISADOR PARA
INCUBADORA NEONATAL / Leandro Piva de Santana. – Palmas,
TO, 2023.
49 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Marcus André Pereira Oliveira

1. Incubadora Neonatal. 2. Analisador. 3. ESP32. I. Pereira
Oliveira, Marcus André. II. Título.

CDD 621

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

LEANDRO PIVA DE SANTANA

DESENVOLVIMENTO DE UM ANALISADOR PARA INCUBADORA NEONATAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e aprovado como cumprimento às exigências legais do currículo do Curso Bacharelado de Engenharia Elétrica pela Coordenação da Área Indústria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas.

Palmas, 22 de junho de 2023

Documento assinado digitalmente
 **MARCUS ANDRE PEREIRA OLIVEIRA**
Data: 07/08/2023 11:16:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcus André Pereira Oliveira

Presidente e Orientador

Documento assinado digitalmente
 **MAXWELL MOURA COSTA**
Data: 03/08/2023 21:38:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Maxwell Moura Costa

Membro da Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **WENDELL EDUARDO MOURA COSTA**
Data: 05/08/2023 11:24:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wendell Eduardo Moura Costa

Membro da Banca Examinadora

RESUMO

Visando a automação de ensaios de avaliação metrológica de uma incubadora neonatal, apresenta-se o desenvolvimento de um analisador, com capacidade de efetuar medições de temperatura, umidade e ruído definidas na norma NBR IEC 60601-2-19 e de se comunicar com um computador ou smartphone, permitindo a transmissão dos dados de medição via wi-fi. O desenvolvimento desse sistema cria uma alternativa nacional, de menor custo.

Este sistema foi implementado com sete sensores de aquisição que são: um sensor de ruído e cinco sensores de temperatura e um de umidade relativa do ar. Foi utilizado Blynk, uma plataforma que utiliza internet das coisas (IoT) para prototipar, implantar e gerenciar remotamente dispositivos eletrônicos conectados em qualquer escala. Com essa plataforma é possível ver os valores das medições de qualquer smartphone ou computador via wi-fi em tempo real ou se preciso buscar histórico de dados.

Os sensores foram aferidos utilizando como padrão de referência analisadores calibrados. Exemplo de ensaio realizado com o sistema desenvolvido é apresentado.

Palavras-chave:

Incubadora Neonatal, Analisador, ESP32, Sensor de Temperatura, Sensor de Umidade e Sensor de Ruído.

ABSTRACT

Aiming at the automation of metrological evaluation tests of a neonatal incubator, the development of an analyzer is presented, with the capacity to perform temperature, humidity and noise measurements defined in the NBR IEC 60601-2-19 standard and to communicate with a computer or smartphone, allowing the transmission of measurement data via Wi-Fi. The development of this system creates a national, lower-cost alternative.

This system was implemented with seven acquisition sensors, which are: a noise sensor, five temperature sensors and one relative humidity sensor. Blynk, a platform that uses the internet of things (IoT) was used to prototype, deploy and remotely manage connected electronic devices at any scale. With this platform, it is possible to see the measurement values from any smartphone or computer via Wi-Fi in real time or if you need to search for historical data.

The sensors were measured using calibrated analyzers as a reference standard. An example of a test carried out with the developed system is presented.

Key words:

Neonatal Incubator, Analyzer, ESP32, Temperature sensor, humidity sensor and noise sensor.

LISTA DE ABREVIATÖES E SIGLAS

ATC - Temperatura do Ar Controlada

EMA - Equipamento Médico Assistencial

IN - Incubadora Neonatal

ITC - Temperatura do Recém-Nascido Controlada

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

RN - Recém-Nascido

SCT - Sistema de Controle de Temperatura

SMT - Sistema de Monitoramento de Temperatura

UTI - Unidade de Terapia Intensiva

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Diagrama do controle ATC de temperatura em INs.
- Figura 2 – Diagrama do controle ITC de temperatura em INs.
- Figura 3 – Sistema de umidificação passivo usado em incubadoras neonatais.
- Figura 4 - Sistema de umidificação ativo usado em INs.
- Figura 5 – Posicionamento dos sensores de temperatura
- Figura 6 – ESP-WROOM-32 e suas portas de entrada e saída.
- Figura 7 – Comparação entre ESP32, ESP8266 e Arduino Uno.
- Figura 8 - DS18B20 com encapsulamento prova d'água.
- Figura 9 - Sensor DHT22 pinos.
- Figura 10 – Sensor KY-38.
- Figura 11 – Diagrama da proposta do analisador.
- Figura 12 – Diagrama esquemático do analisador
- Figura 13 – Protótipo analisador de incubadora montado
- Figura 14 – Sensor DS18B20 com suporte
- Figura 15 – Organização do Blynk: *Blynk App, Server e Libraries*
- Figura 16 – Dashboards de leitura dos sensores em tempo real
- Figura 17 – Gráficos das leituras dos sensores pelo tempo
- Figura 18 – Analisador de temperatura Full Gauge Penta III
- Figura 19 - Termo-higrômetro digital MT-242A
- Figura 20 - Decibelímetro marca Minipa modelo MSL-1355B
- Figura 21 – Posicionamento dos sensores do analisado na IN
- Figura 22 – Comparação das leituras dos DS18B20 com sensor da IN
- Figura 23 – Gráfico de temperatura
- Figura 24 – Comparação entre os analisadores no ponto 2
- Figura 25 – Posicionamento do sensor DHT 22
- Figura 26 – Gráfico de umidade
- Figura 27 – Comparação entre as leituras de Umidade do analisador e da IN
- Figura 28 – Comparação entre leituras do analisador e do Termo-higrômetro
- Figura 29 – Posicionamento do sensor KY-038
- Figura 30 – Gráfico leitura de ruído com KY-038
- Figura 31 – Comparação entre a leitura do decibelímetro e KY-038

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 PROPOSTA	2
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS GERAIS	2
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1RELAÇÃO DO RECÉM-NASCIDO E A HIPOTERMIA	3
2.2 RUÍDO E O RESCÉM-NASCIDO RN	4
2.3 INCUBADORA NEONATAL (IN)	4
2.3.1 Controle De Temperatura	5
2.3.2 Sistema De Umidificação	7
2.4 ENSAIO DE DESEMPENHO DE INS: NBR IEC 601-2-19/1999	8
2.4.1 Principais Exigências Da NBR IEC 601-2-19	9
2.5 ESP32	9
2.6 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20	11
2.7 SENSOR DE UMIDADE DHT22	11
2.8 SENSOR DE RUÍDO KY-038	12
2.9 COMUNICAÇÃO DE DADOS	14
3. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ANALISADOR.....	15
3.1 SENSORES DE TEMPERATURA DS18B20.....	17
3.2 SENSOR DE UMIDADE DHT.....	18
3.3 SENSOR DE RUÍDO KY-038.....	19
3.4 PLATAFORMA IoT.....	19
4. RESULTADOS.....	22
4.1 ANÁLISE DOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	24
4.2 ANÁLISE DO SENSOR DE UMIDADE	27
4.3 ANÁLISE DO SENSOR DE RUÍDO.....	29
5. CONCLUSÃO.....	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
APÊNDICE A - ALGORITMO DE PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	37

1 INTRODUÇÃO

A incubadora neonatal (IN) é fundamental para melhoria na sobrevivência do paciente neonatal, propiciando a conservação da vida dos recém-nascidos com idades gestacionais críticas e que possuam, ou não, baixo peso (DOS SANTOS, 2012). Criadas afim de promover um ambiente termicamente neutro, monitorado pelos elementos umidade, ruído e temperatura, as incubadoras geram um microambiente climatizado semelhante ao útero materno, aproximadamente 38 °C, impedindo que o neonato tenha hipotermia e atenuando risco de complicações à saúde ou a morte (TISA, 2013).

Um exemplo de manter a continuidade do funcionamento desses equipamentos médicos-assistencial (EMAs) é a manutenção dos mesmos. É uma ação fundamental no avanço de procedimentos e técnicas, sendo um instrumento muito importante na aquisição de serviços eficazes e resultados verdadeiros, certificando a funcionalidade e a segurança do equipamento. A expressão “manutenção” não é somente uma ação corretiva. Ela é mais abrangente, abrindo espaço para o conceito de manutenção preventiva, serviço realizado com finalidade de eliminar possíveis falhas das tecnologias (LUCATELLI, 1998).

Durante as manutenções é necessário fazer ensaios para identificar possíveis falhas a serem reparadas e certificar o pleno funcionamento do equipamento, no qual é verificado parâmetros de temperatura, ruído e umidade.

A norma que rege os requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial da incubadora neonatal é a NBR IEC 60601-2-19. A fabricação e as manutenções das INs devem obedecer aos critérios dela. O instrumento que auxilia nas manutenções das INs é chamado de analisador de incubadora neonatal.

Esses analisadores medem vários parâmetros como temperatura, umidade, ruído, fluxo de ar e concentração de O_2 . Eles são comercializados com preço muito elevado, de trinta mil reais ou até acima de cem mil reais, dependendo do acabamento, precisão e tecnologia embarcada. No entanto, são indispensáveis durante as manutenções para maior confiabilidade nas medições.

O dispositivo desenvolvido tem a finalidade de analisar grandezas de temperatura, umidade e ruído de uma IN para ser obedecido as exigências da norma citada e ter um preço mais acessível comparado com os que são comercializados. Ele

faz a leitura das grandezas e mostra os valores em dispositivos celulares ou computadores via *web*. Também gera gráficos de cada grandeza versus tempo, melhorando a análise de desempenho da IN.

1.1 PROPOSTA

Este trabalho tem a proposta de elaborar um analisador de incubadora neonatal que faça medição de temperatura, umidade e ruído, que seja eficiente, de baixo custo e que auxilie na manutenção de uma IN afim de serem cumpridas as exigências da norma NBR IEC 601-2-1-19. Foi realizado um estudo para identificar qual o microcontrolador, sensores e demais componentes mais adequados para a proposição do trabalho para ser desenvolvido o analisador. Por fim foram realizados testes em incubadoras nos ambientes de manutenção em um laboratório de reparo, no qual foram coletados os dados dos testes e posterior análise de eficiência.

1.2 JUSTIFICATIVA

A incubadora neonatal tem que passar por manutenções preventivas e corretivas periodicamente afim de localizar e reparar possíveis falhas. Essas manutenções necessitam de um analisador, que mede várias grandezas em um único instrumento ou senão, em diversos instrumentos de medição de grandezas diferentes tais como, temperatura, umidade e ruído. No primeiro caso, a manutenção fica mais simplificada e o trabalho do técnico fica mais confortável e mais ágil, pois ele consegue analisar todas as grandezas simultaneamente.

Os analisadores comercializados no Brasil possuem alto custo e muitas vezes inviabiliza o uso nas unidades de saúde. Por isso, geralmente é feita aquisição de instrumentos que façam medição para cada grandeza separadamente.

1.3 OBJETIVOS GERAIS

Elaborar um sistema, integrando o *software* com o *hardware*, fazer medições de grandezas para que as incubadoras neonatais obedeçam a exigência de segurança regida pela NBR IEC 601-2-19, onde possam serem visualizadas as

leituras dos sensores pelo *smartphone* e que tenha menor custo comparado com os comercializados.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- Desenvolver um instrumento eletrônico para medição de sinais de ruído, umidade e temperatura em uma IN.
- Realizar comunicação entre o analisador desenvolvido e o Smartphone ou computador via *wi-fi*;
- Elaborar um banco de dados para guardar os resultados das medições.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Relação do Recém-Nascido e a Hipotermia

Para um recém-nascido conservar sua temperatura corpórea apropriada, demanda-se maior energia por quilograma massa em comparação com um adulto (BRASIL, 2002).

Um neonato prematuro possui um consumo de energia muito maior que um neonato normal para conservar sua temperatura adequada. Isso é evidente porque o prematuro possui uma quantidade inferior de energia acumulada, e um alto nível de consumo, em consequência das circunstâncias impostas de adaptação em conformidade com o estado do paciente neonato (exaustão, estresse, fadiga) (BRASIL, 2002).

O neonato prematuro e os demais, que por algum motivo tenham uma elevação de metabolismo, necessitam diminuir seu gasto de energia para gerar calor, ou ele terá problemas, tais como (BRASIL, 2002):

- Piora do quadro que conduziu à elevação do metabolismo;
- Avanço de uma instabilidade ácido-base sanguíneo;
- Redução do estoque energético e metabólico;
- Perda do movimento do sistema nervoso central;

- Coma;
- Morte.

Por isso, as incubadoras neonatais se designam essencialmente aos pacientes neonatais prematuros e, ou doentes (BRASIL, 2002).

Considera-se normal temperaturas de 35,50 °C a 37,50 °C para recém-nascidos. O ambiente termicamente neutro é o qual existe um composto de situações térmicas que determina para o neonato, uma condição metabólica mínima e preserva a temperatura do seu corpo em níveis normais (BRASIL, 2002).

2.2 Ruído e o Recém-nascido (RN)

O RN passa a maior parte do tempo dormindo dentro do útero materno onde raramente ocorre interrupção do seu sono. Diferentemente ocorre na unidade de terapia intensiva (UTI) neonatal, no qual o paciente acorda cerca de 132 vezes por dia (Levy, et al., 2003).

No interior da UTI neonatal, o RN está sujeito a diversos ruídos provenientes de alarmes, IN, ventiladores, monitores, aspiradores de secreção, telefones, ar comprimido, saídas de O_2 , conversa entre profissionais dentre outros, que prejudicam o bem-estar do RN e compromete seu desenvolvimento. Ruído é o som de frequência desagradável ao ouvido humano, que pode gerar lesões ao aparelho auditivo ou até distúrbios psíquicos e comportamentais (KAKEHASHI et al., 2007).

A Associação Americana de Pediatria em 1997 recomendou que o ruído nas UTIs Neonatais deve ter no máximo 55 dB durante o dia e 35 dB no período noturno (MANOEL, 2000).

2.3 Incubadora Neonatal (IN)

Atualmente, as INs contêm vários sensores de controle, como o de temperatura, concentração de O_2 e umidade (Costa, 1993).

Elas também possuem sistema de alarme audiovisual para chamar atenção da equipe médica quando o neonato estiver passando por situação prejudicial, por exemplo falta de rede elétrica, alta temperatura, falha no fluxo de ar ou ainda baixa umidade. As INs possuem as seguintes vantagens (Schimitz, 1998):

- Produz um ambiente semelhante ao útero materno;
- É uma barreira de prevenção contra infecção;
- Inibe excessivas perdas hídricas por evaporação.

A IN é constituída de uma cúpula de parede de acrílico, contendo uma ou duas camadas para garantir o isolamento térmico do interior da mesma. A transparência da cúpula permite melhor visualização do paciente neonato à distância. Na cúpula também contém portinholas, no qual permite o acesso do recém-nascido e reduz o desequilíbrio ambiental, pois sem elas teria que ser aberto a cúpula por completo (BRASIL, 2002).

Para manter um ambiente termicamente neutro no interior da incubadora e preservar a expectativa de vida dos neonatos, deve ser controlado algumas grandezas que são: temperatura, umidade e ruído (BRASIL, 2002).

2.3.1 Controle de Temperatura

O controle proporcional de temperatura é a técnica mais usada para preservar a temperatura no interior das INs (Webster, 1995).

Se dentro da cúpula estiver com a temperatura abaixo da programada, o sistema de aquecimento é ativado afim de manter o ambiente desejado. No sistema de aquecimento é utilizado uma resistência elétrica como fonte de calor. Geralmente esse sistema possui uma potência de aproximadamente 500 W (Dräger Medical, 2007). No controle proporcional, a potência utilizada na resistência é diretamente proporcional com a diferença da temperatura do ar medida e a pretendida. Ou seja, a potência utilizada diminui conforme a temperatura vai chegando no valor pretendido, um aspecto ímpar para obter precisão e atenuação dos riscos de excesso de aquecimento (Webster, 1995).

A IN possui dois tipos de sistemas de controle de temperatura (SCT), sistema de temperatura do recém-nascido (RN) controlada e o de temperatura do ar controlada (NBR IEC 601-2-19, 1999). Em INs com temperatura do ar controlada (ATC), é configurada uma determinada temperatura do ar dentro da incubadora. O SCT usa sensores de monitoramento de temperatura (SMT) e um aquecedor para deixar a temperatura do ar conforme a configuração (figura 1) (BRASIL, 2002).

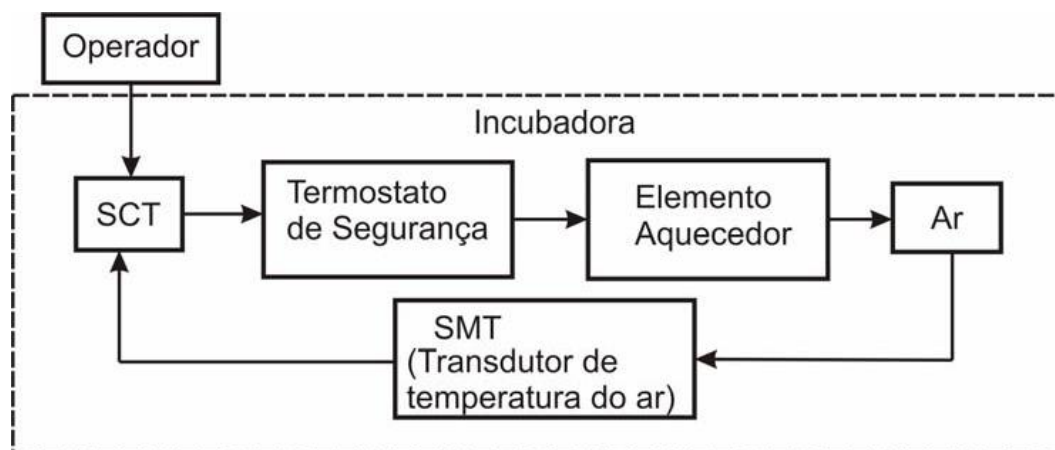


Figura 1 –Diagrama do controle ATC de temperatura em INs.

Fonte: Oliveira, 2007.

Em INs com temperatura do recém-nascido controlada (ITC), a temperatura da pele é a referência do sistema. O SCT usa o SMT e o aquecedor afim de controlar a temperatura da pele do RN estável (figura 2) (BRASIL, 2002).

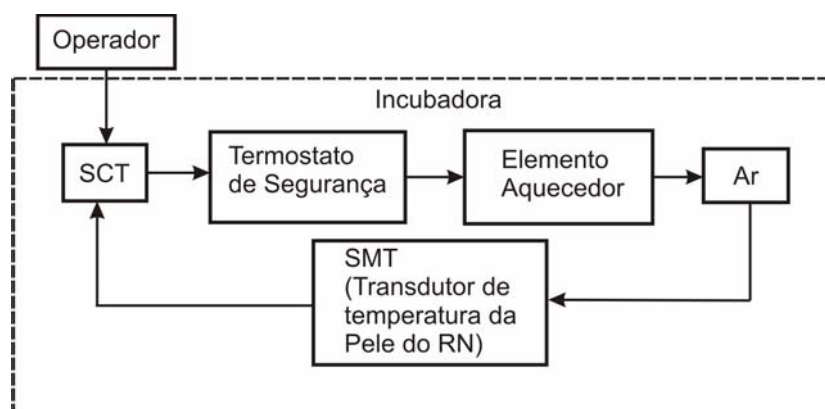


Figura 2 – Diagrama do controle ITC de temperatura em INs.

Fonte: Oliveira, 2007.

As INs também possuem outro dispositivo de segurança, o termostato de segurança, que após atingir temperatura de 38 °C é acionado alarmes de segurança e desliga o sistema de aquecimento automaticamente (BRASIL, 2002).

2.3.2 Sistema de Umidificação

Nas incubadoras neonatais atuais, o sistema de controle de umidade é ativo. Em modelos ultrapassados utilizam umidificação passiva. O passivo é formado apenas de um reservatório aberto com água, no qual uma ventoinha gera um fluxo de ar que passa pela superfície do reservatório (figura 3).

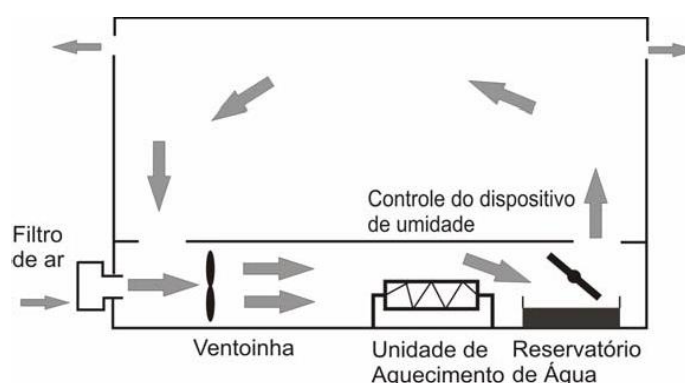


Figura 3 – Sistema de umidificação passivo usado em incubadoras neonatais.

Fonte: Oliveira, 2007.

Devido ao fluxo de ar que passa sobre o reservatório com água, a umidade é fornecida (Bouattoura, 1998). Esse sistema está entrando em desuso nas incubadoras porque em níveis de temperatura entre 28 e 39 °C, dificilmente consegue escala de umidade acima de 40% (Bouattoura, 1998).

O controle de umidificação ativo é um sistema que fornece umidade com ajuda de um nebulizador ultrassônico (Figura 4). A água é vaporizada devido a uma energia acústica de um piezoelétrico que vibra em uma frequência de aproximadamente 2 MHz (Bouattoura, 1998). Com isso a água é agitada de forma intensa e é gerado uma névoa. Cada gota das partículas de água dessa névoa tem aproximadamente de 2 a 5 μm (Bouattoura, 1998). O fluxo de ar da IN faz com que as partículas de água sejam evaporadas.

Existe uma chave eletrônica de quatro posições no nebulizador para controlar a umidade no interior da IN. Posições, ponto zero, baixo, meio e elevado (Bouattoura, 1998). Um sensor no interior da cúpula é responsável por medir a umidade. Com isso, o sistema compara o valor programado através da leitura do sensor e por meio da chave de quatro posições do nebulizador é regulado para deixar a umidade no valor ajustado.

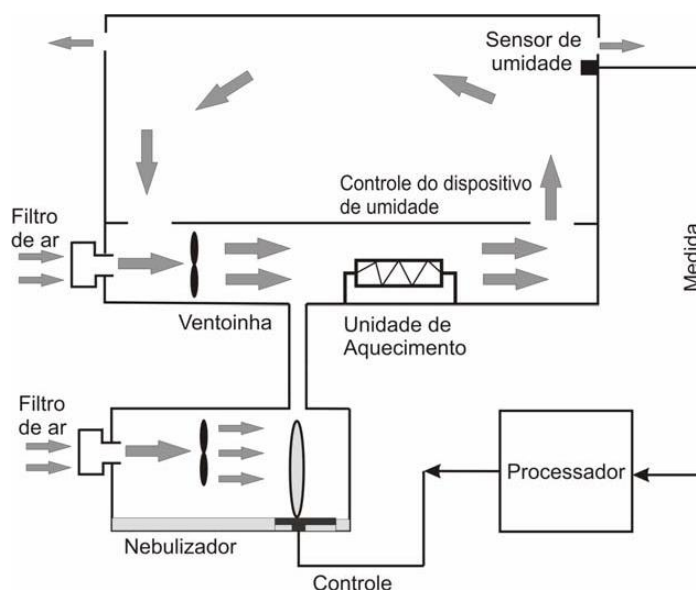


Figura 4 - Sistema de umidificação ativo usado em INS.

Fonte: Oliveira, 2007.

2.4 ENSAIO DE DESEMPENHO DE INS: NBR IEC 601-2-19/1999

Para analisar o perfeito funcionamento das incubadoras conforme as exigências da NBR IEC 601-2-19, os parâmetros devem ser medidos em condições diversas. O sensor de umidade deve ficar no ponto central (A) e a temperatura do ar deve ser distribuída em cinco pontos (A, B, C, D e E) (figura 5). A norma diz que todos os sensores devem estar a 10 cm sobre o colchão.

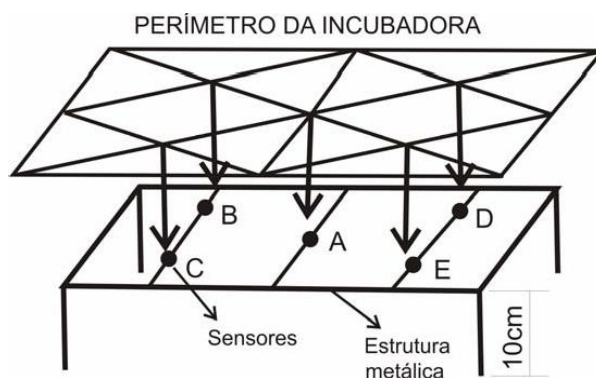


Figura 5 – Posicionamento dos sensores de temperatura

Fonte: ABNT, 2000.

2.4.1 Principais Exigências da NBR IEC 601-2-19 em INs

Abaixo encontram-se algumas terminologias regidas pela norma NBR IEC 601-2-19:

- A temperatura do ar deve ser medida em cinco pontos diferente a 10 cm sobre o colchão dentro da cúpula da IN (Figura 5).
- A temperatura de controle é aquela que o operador programa na IN.
- Após 1h de aquecimento, a temperatura não pode variar mais de 1 °C, pois após esse tempo a temperatura deve estar constante.
- No interior do compartimento do recém-nascido (RN) não deve ultrapassar níveis sonoros de 60 dB, com exceção onde os alarmes são acionados.
- É admitido nível sonoro no máximo de 80 dB quando os alarmes são acionados.
- Quando os alarmes da IN estiverem soando, o nível sonoro deve ser no mínimo 65 dB, medido a 3 m de distância.
- O valor de umidade medido deve possuir mais ou menos 10% de exatidão.

2.5 ESP32

É um microprocessador criado pela *Espressif System* em 2017, consome pouca energia e é de baixo custo, possui módulos, placas e vários chips. É uma plataforma de prototipagem de código aberto, inspirado nos conceitos da internet das coisas, sobressai também por ser um microprocessador onde qualquer pessoa pode avaliar, consultar ou aprimorar o produto (SYSTEMS, 2018).

O ESP32 tem um processador robusto *single* ou *dual-core* de 32 bit com frequência de clock de até 240Mhz. Também possui uma capacidade de armazenamento muito superior a outros microprocessadores (IBRAHIM, 2017).

Especificações técnicas do ESP32 (MARTINS e CATULÉ, 2018):

- Módulo controlador ESP-WROOM-32, baseado no SoC (*System on Chip*) ESP32- D0WDQ6;
- Microprocessador dual core Xtensa LX6 de 32 bits, com *Clock* ajustável de 80 MHz a 240 MHz;

- Suporte à rede *Wi-Fi* padrão 802.11 b / g / n, com segurança WPA/ WPA2/ WPA2- Enterprise/ WPS;
- *Bluetooth* v4.2 BR / EDR e BLE;
- Possui 38 GPIOs (Entradas/Saídas), com função PWM, I2C, SPI (figura 6). Também 18 ADC (*conversor analógico digital*) com resolução de 12 bits e 2 DAC (*conversor digital analógico*) com resolução de 8 bits.

A figura 7 mostra a comparação de desempenho entre o ESP32 e o ESP8266 e Arduino. Isso foi um fator importante para a escolha desse microprocessador.

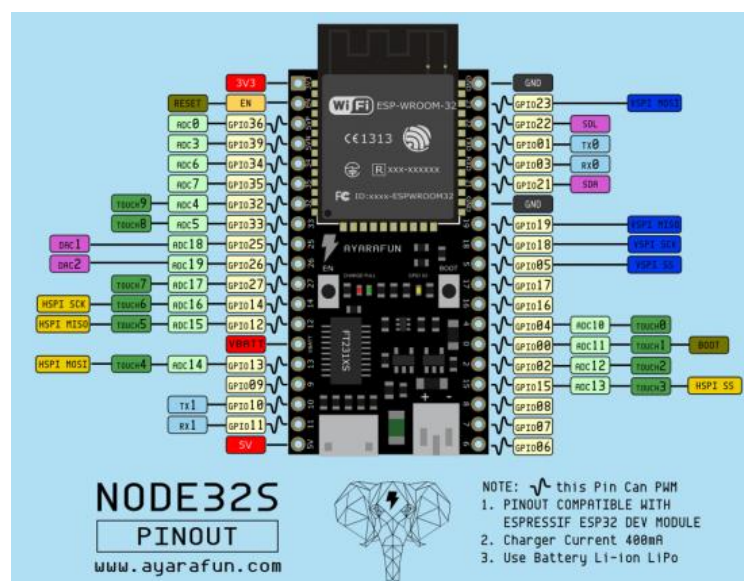


Figura 6 – ESP-WROOM-32 e suas portas de entrada e saída

Fonte: Ayarafun, 2017.

SPECS/BOARD	ESP32	ESP8266	ARDUINO UNO
Number of Cores	2	1	1
Architecture	32 Bit	32 Bit	8 Bit
CPU Frequency	160 MHz	80 MHz	16 MHz
WiFi	YES	YES	NO
BLUETOOTH	YES	NO	NO
RAM	512 KB	160 KB	2 KB
FLASH	16 MB	16 MB	32 KB
GPIO PINS	36	17	14
Busses	SPI, I2C, UART, I2S, CAN	SPI, I2C, UART, I2S	SPI, I2C, UART
ADC Pins	18	1	6
DAC Pins	2	0	0

Figura 7 – Comparação entre ESP32, ESP8266 e Arduino Uno

Fonte: Ghosh, 2019.

2.6 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

O sensor de temperatura digital DS18B20 tem uma precisão adequada para o trabalho pretendido podendo variar $\pm 0,5$ °C. Seu encapsulamento blindado evita falha de medição em ambiente úmido como no interior da incubadora e pode ser enviado as informações para o microcontrolador utilizando apenas 1 fio. Outras características do DS18B20:

- CI : DS18B20
- Tensão de operação: 3 a 5,5V
- Faixa de medição de temperatura: -55 °C a +125 °C
- Precisão: +/- 0,5 °C entre -10 °C e +85 °C
- Ponta de aço inoxidável (6 x 50mm), com cabo de 108 cm de comprimento (figura 8)

Cada sensor possui um endereço físico de 64 bits, assim você pode colocar vários sensores como esse em um mesmo barramento, utilizando uma única porta do microcontrolador, e efetuar a leitura individualmente (FILIPEFLOP, 2022).



Figura 8 - DS18B20 com encapsulamento prova d'água

Fonte: Filipeflop, 2022.

2.7 SENSOR DE UMIDADE DHT22

O DHT22 é um sensor de umidade relativa do ar e de temperatura. Utiliza-se um sensor de umidade capacitivo e um termistor para medir o ar circundante, e emite um sinal digital no pino de dados (sem necessidade de conversores analógicos). Relativamente simples de usar, e permite obter novos dados de leitura a cada 2

segundos. Ele contém 4 terminais, mas são utilizados apenas 3. Os terminais são (figura 9):

- 1 Vcc
- 2 DATA
- 3 NC
- 4 GND

Alguns fabricantes recomendam o uso de um resistor de pelo menos 10 k Ω , no pino do sinal ao fazer a conexão do sensor ao microcontrolador, para que se tenha um melhor efeito de manutenção da calibração (MULTILOGICASHOP, 2018).

As especificações do sensor DHT22:

- Faixa de umidade relativa = de 0 a 100 %
- Precisão na umidade = $\pm 2\%$ RH
- Faixa de temperatura = -40 a 80 °C
- Precisão na temperatura = $\pm 1\%$ °C
- Tempo de resposta = < 5 segundos
- Alimentação = de 3,3V a 5 V
- Consumo máximo de corrente = 0,5 mA

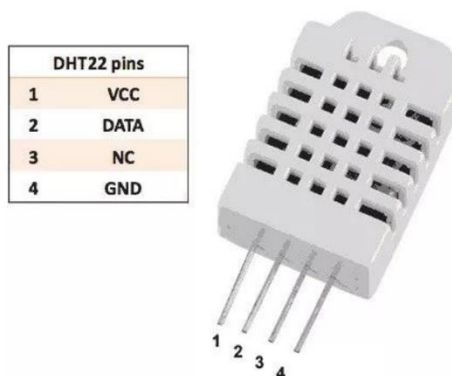


Figura 9 - Sensor DHT22 pinos.

Fonte: Mercado Livre, 2022.

2.8 SENSOR DE RUÍDO KY-038

O objetivo do Sensor de Som KY-038 (figura 10) é medir a intensidade sonora do ambiente ao seu redor, variando o estado de sua saída digital caso detectado um

sinal sonoro. Possui um microfone de condensador elétrico e pode ser usado em sistemas de alarme, por exemplo. O limite de detecção pode ser ajustado pelo potenciômetro presente no sensor que regulará a saída digital (D0). Contudo, para ter uma resolução melhor, é possível utilizar a saída analógica (A0) e conectar a um conversor AD (FILIPEFLOP, 2022).

Especificações:

- Tensão de Operação: 4-6v DC
- Faixa de frequência: 50Hz a 20kHz
- Sensibilidade ajustável via potenciômetro
- Saída Digital e Analógica
- Fácil instalação
- Led indicador para tensão
- Led indicador para saída digital

Pinagem:

- AO: Saída Analógica
- GND: Terra
- VCC: Tensão de Entrada 3-24v
- DO: Saída Digital

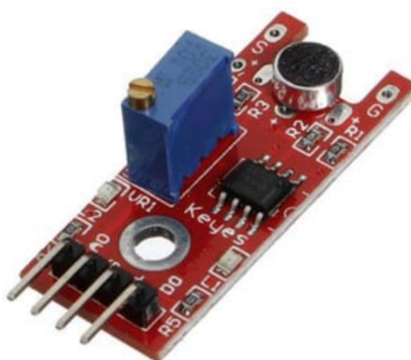


Figura 10 – Sensor KY-38

Fonte: Filipeflop, 2022.

2.9 COMUNICAÇÃO DE DADOS

A comunicação de dados é a ciência que estuda os meios e características de transmissão das informações, para isso são necessárias as redes, elementos responsáveis por criarem conexões entre diversos dispositivos, como por exemplo computadores, podendo serem expressas através de dois grandes grupos: redes que tem como características as interconexões de curto alcance, como por exemplo as residências (LANs) e por sua vez as que possibilitam as conexões remotas, podendo englobar países, denominadas WANs, porém ainda entre essas pode se acunhar uma rede de médio alcance, conhecida por abranger regiões metropolitanas conhecida por MAN (FOROUZAN, 2007).

As redes possuem diferentes modelos com características específicas, porém fundamentados em regulamentações que possibilitam o vínculo entre as mesmas, os dois principais modelos existentes atualmente são: O modelo OSI e a Internet.

Para se obter uma conexão confiável e eficiente são necessários os protocolos, conjuntos de regras padrões onde estarão concentradas as informações e dados.

Segundo (FOROUZAN, 2007) a junção de um emissor, uma mensagem que será transmitida por um meio (constituente físico que fará a conexão entre os pontos), um destinatário que receberá essa mensagem e o protocolo da conexão formaram a estrutura básica para que ocorra a comunicação de dados.

O funcionamento dos equipamentos de transmissão sem fio parte do princípio da propagação de dados através das ondas de rádio, esse conceito é conhecido como Wireless. Este método de transmissão teve início e padronização no final da década de 90, através do padrão IEEE 802.11, o qual proporcionou a sua expansão, tornando se o mais utilizado para conectar os dispositivos móveis a rede de Internet nas residências da atualidade (LABIOD; AFIFI; SANTIS, 2007).

O *web server* ou servidor web em português, é um termo que engloba a parte física conhecida como *hardware* e o sistema operacional ou *software*, são as partes integrantes de um conjunto de armazenamento, transmissão e gerenciamento de dados. A parte física é compreendida por um provedor que irá armazenar arquivos, como é o caso de um computador que guarda informações e arquivos de uma determinada página da internet, já o *software* é a parte que comporta os componentes de controle virtual, composta pelos endereços (URLs), servidores Hiper Text Transfer

Protocol (HTTP) entre outros protocolos e ferramentas necessárias para executar essa função (TEIXEIRA, 2004).

3. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO ANALISADOR

O método de estudo é de natureza exploratória, pois além de ter pesquisa bibliográfica, foi implementado um protótipo de baixo custo em relação ao mercado, extraído resultados e exposto proposta de melhorias futuras.

O trabalho tem como base conceitos de eletrônica e programação de *software* para o desenvolvimento do analisador. Esse dispositivo é utilizado durante manutenção em uma incubadora neonatal e foi aferido junto com outros instrumentos de medição para certificar o pleno funcionamento do mesmo e para que obedeça às exigências da norma NBR IEC 60601-2-19. O analisador tem cinco sensores de temperatura que possui comunicação de dados digitais e com mais ou menos meio grau celsius de precisão (DS18B20), um sensor de ruído com saída analógica que possui uma faixa de frequência que vai de 50Hz a 20KHz (KY-38) e um sensor de umidade com 2% precisão e envio de dados digitais (DHT22). Apesar do DHT22 fazer leitura de temperatura, foi utilizado apenas a umidade, pois a precisão de temperatura dele é um grau celsius, menos eficiente que o DS18B20. O microprocessador escolhido foi o ESP32 devido as suas características de desempenho de memória e processamento e possuir comunicação *wireless*. Os dados das medições serão processados, enviados via *wi-fi* a um servidor *web* por meio de uma plataforma de gerenciamento remoto de dispositivos eletrônicos em Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*). No computador ou *smartphone*, estes dados são mostrados através de interface gráfica e armazenados na base de dados, podendo ser consultados posteriormente. Os resultados dos ensaios são disponibilizados em forma de relatórios gráficos. Foi utilizado a plataforma do Arduino IDE para desenvolver o *software* pois possui todas as bibliotecas necessárias para o desenvolvimento do protótipo. No apêndice A mostra toda a programação do *software*. A Figura 11 ilustra o esboço do analisador.

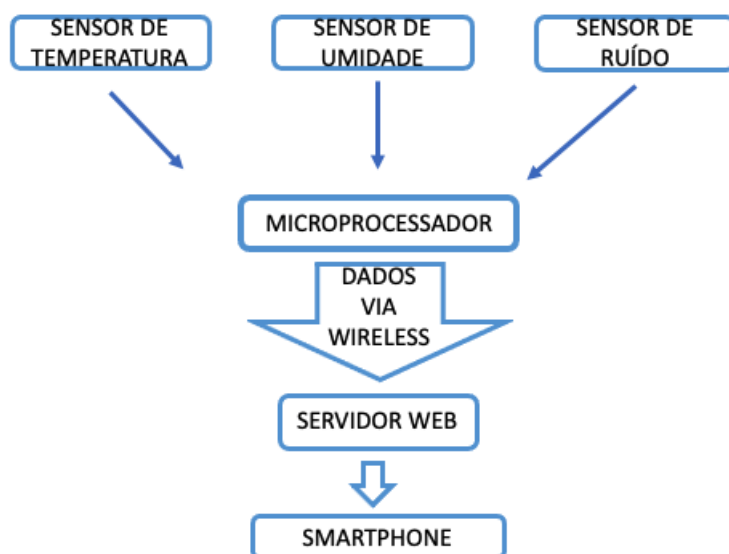


Figura 11 – Diagrama da proposta do analisador

Fonte: Autor, 2022.

A figura 12 mostra o diagrama esquemático do analisador de incubadora neonatal.

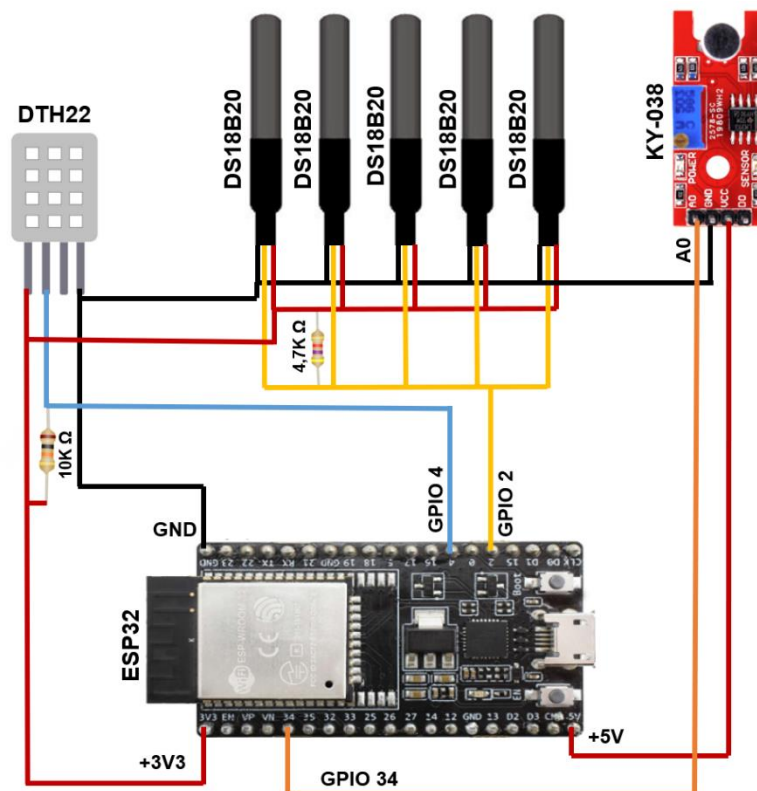


Figura 12 – Diagrama esquemático do analisador

Fonte: Autor, 2023.

O protótipo foi montado numa placa de fenolite perfurada e feito as ligações com fios soldados. Abaixo segue a imagem do protótipo montado.

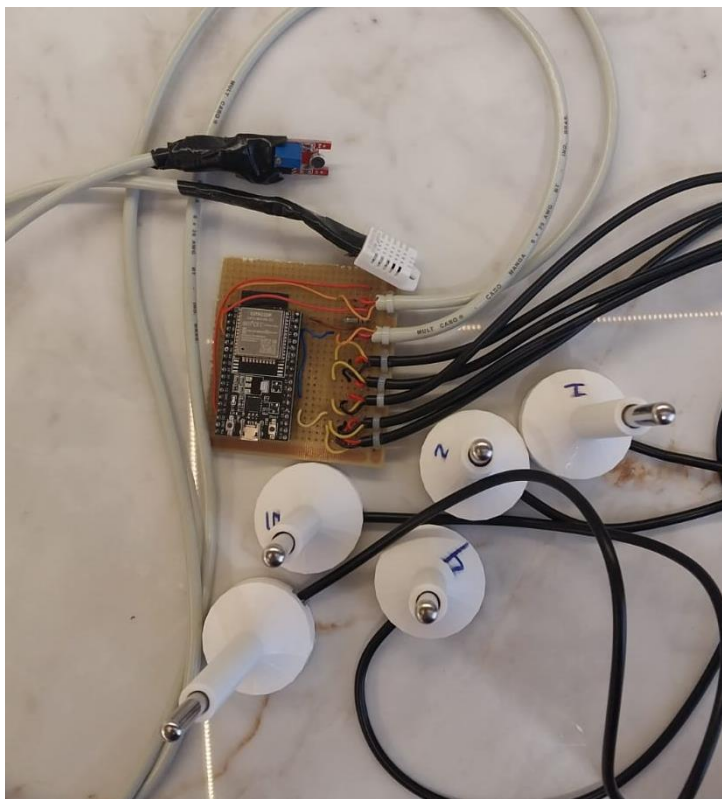


Figura 13 – Protótipo analisador de incubadora montado

Fonte: Autor, 2023.

3.1 SENSORES DE TEMPERATURA DS18B20

Primeiramente foi utilizado a saída 3,3 V do ESP32 para alimentar os sensores de temperatura, as saídas de comunicação dos mesmos foram ligadas num barramento conectado na GPIO 2 do ESP32 e de acordo com o datasheet do DS18B20 (DALLAS, 2023) foi utilizado um resistor de 4,7K Ω entre o barramento de dados dos sensores e o 3,3 V (figura 12).

No desenvolvimento do *software* foram instaladas algumas bibliotecas do Arduino IDE como:

- DallasTemperature de Miles Burton
- OneWire de Paul Stoffregen.

No início da programação foi incluso as bibliotecas instaladas, criado as instâncias necessárias para o sensor de temperatura e informado que sensor de temperatura está conectado na GPIO 2.

Como cada sensor tem um endereço físico de 64 bits, foi realizado uma nova identificação como “i” igual a 0, 1, 2, 3 e 4. Sendo $i = 0$, o sensor de temperatura 1, $i = 1$ sensor de temperatura 2, assim por diante até o $i = 4$, sensor de temperatura 5. As leituras dos sensores são feitas a cada 500 ms.

Para que a manutenção da IN atenda a norma NBR IEC 601-2-19, foi implementado suportes para que os sensores fiquem a 10 cm sobre o colchão e distribuídos em cinco pontos (A, B, C, D e E) no interior da IN conforme a figura 5 da fundamentação teórica. A figura 14 mostra os sensores com os suportes no interior da IN.

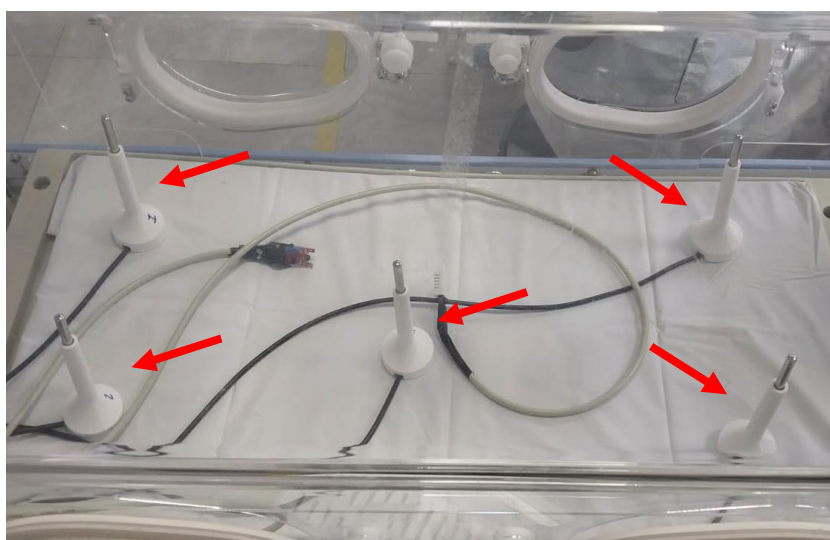


Figura 14 – Sensor DS18B20 com suporte

Fonte: Autor, 2023.

3.2 SENSOR DE UMIDADE DHT 22

O DHT 22 contém um chip que faz a conversão de analógico para digital e emite um sinal digital com a temperatura e a umidade. Isso os torna muito fáceis de usar com qualquer microcontrolador. A aplicação do sensor na montagem do protótipo e o *software* foi baseado no artigo da Ladyada do site randomnerdtutorials.com (LADYADA, 2023).

Na montagem do sensor DHT 22 no protótipo foi utilizado um resistor de 10 k Ω entre o pino 2 do sensor e 3,3 V do ESP32. Apesar desse sensor fazer leitura de temperatura, foi utilizado apenas leitura de umidade, pois a precisão de temperatura o DS18B20 é melhor. A figura 12 ilustra a ligação do DHT 22 na GPIO 4 do ESP32.

No desenvolvimento do *software* foram instaladas algumas bibliotecas do Arduino IDE como:

- DHT da Adafruit
- Adafruit Unified Sensor da Adafruit.

No início da programação foi incluso as bibliotecas instaladas, criado as instâncias necessárias para o sensor de umidade e informado a conexão na GPIO 4. A cada 2000 ms é realizado a leitura de umidade pois é tempo mínimo limitado pelo sensor.

3.3 SENSOR DE RUÍDO KY-038

Na montagem do protótipo foi utilizado a saída 5 V do ESP32 para alimentar o sensor de ruído e saída analógica A0 do KY-038 conectado na GPIO 34 (figura 12). Ele possui um microfone tipo condensador para detectar ondas sonoras que nos dão um equilíbrio perfeito entre estabilidade e confiabilidade, e um *trimpot* para fazer calibração.

O desenvolvimento do *software* foi baseado no artigo Medidor de Ruído dos alunos de engenharia química da Universidade de Federal de Lavras (SANTOS, 2017). Com base dos estudos desse artigo foi obtido uma programação da entrada analógica do ESP32 que interpreta os sinais do sensor e transforma em decibéis. A cada 500 ms é solicitado a leitura de ruído.

3.4 PLATAFORMA *IoT*

A plataforma IoT escolhida foi o Blynk, pois é uma plataforma completa desenvolvida para prototipação, implantação e gerenciamento remoto de dispositivos eletrônicos em Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*), permitindo que o usuário crie interfaces para controlar e monitorar projetos de *hardware* (VIANA, 2023).

Com o Blynk é possível controlar microcontroladores de qualquer lugar do mundo, coletar dados de sensores em tempo real, criar painéis visuais personalizados e salvar dados automaticamente na nuvem e receber notificações importantes (VIANA, 2023).

Basicamente, o Blynk é composto de três partes: o Blynk App, o Blynk Server e a Blynk Library, conforme esquema da figura 15 (VIANA, 2023).

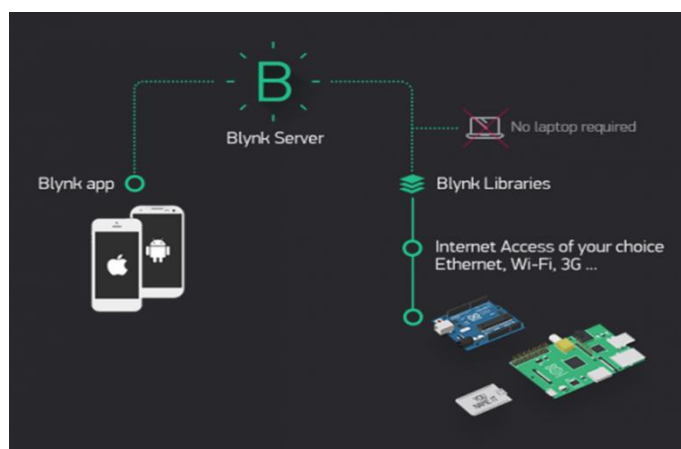


Figura 15 – Organização do Blynk: Blynk App, Server e Libraries

Fonte: Viana, 2023.

Blynk app é um aplicativo disponível para Android e iOS que permite ao usuário criar aplicações que interagem com o *hardware*. Através de um espaço próprio para cada projeto, o usuário pode inserir *Widgets* que implementam funções de controle (como botões, *sliders* e chaves), notificação e leitura de dados do *hardware* (exibindo em displays, gráficos e mapas) (VIANA, 2023).

Blynk Server é toda comunicação entre o aplicativo e o *web* do usuário se dá através da *cloud Blynk*. O servidor é responsável por transmitir os dados ao *hardware*, armazenar estados do aplicativo e do *hardware* e também armazenar dados de sensores lidos pelo *hardware* mesmo se o aplicativo estiver fechado. Vale ressaltar que os dados armazenados no *server Blynk* podem ser acessados externamente através de uma API HTTP, o que abre a possibilidade de utilizar o Blynk para armazenar dados gerados periodicamente como dados de sensores de temperatura, por exemplo (VIANA, 2023).

Blynk Libraries são as bibliotecas Blynk para diversas plataformas de desenvolvimento. Essa biblioteca é responsável por gerir toda a conexão do *hardware* com o servidor Blynk e gerir as requisições de entrada e saída de dados e comandos (VIANA, 2023).

Nas figuras 16 e 17 mostram como foi implementado o analisador de IN no Blynk pelo *Smartphone*. A primeira são os dashboards onde são visualizadas as leituras dos sensores em tempo real e a segunda são os gráficos onde mostram as

leituras dos sensores pelo tempo. Esses gráficos podem ser filtrados e localizam as leituras do dia e hora que desejar.

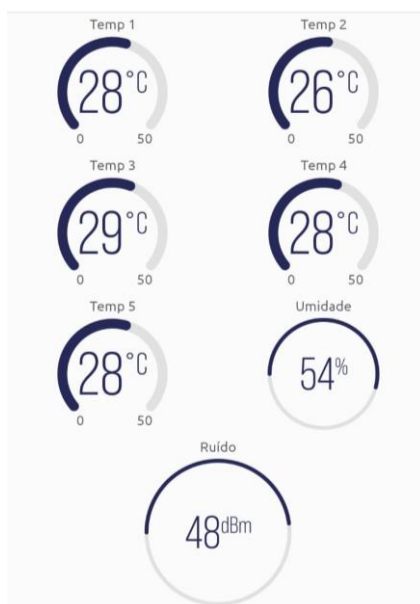


Figura 16 – Dashboards de leitura dos sensores em tempo real

Fonte: Autor, 2023.

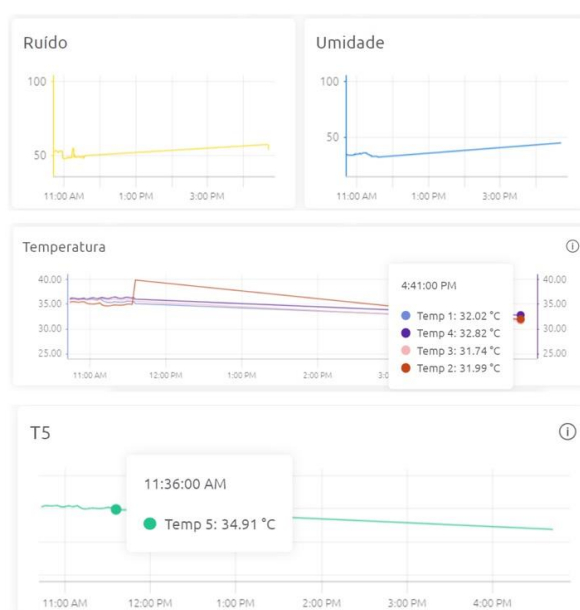


Figura 17 – Gráficos das leituras dos sensores pelo tempo

Fonte: Autor, 2023.

No desenvolvimento do *software* foi instalado a biblioteca do Arduino IDE Blynk de Volodymyr. Foram programados as configurações de rede wi-fi e as configurações do servidor Blynk. Para cada sensor do protótipo foi atribuído uma variável para ser

armazenado no servidor IoT e serem visualizados nos dashboards e gráficos da plataforma.

4. RESULTADOS

Este capítulo contém os resultados das leituras dos sensores utilizados, e também os relatórios de ensaio de IN gerado pelo sistema desenvolvido.

O analisador foi testado numa IN marca Fanem, modelo 2286 em manutenção na empresa Hospitech Equipamentos Médico Hospitalares durante duas horas, das 09h00 às 11h00. Foram realizados comparativos dos sensores com instrumentos de medições da empresa. Os instrumentos são: um analisador de temperatura marca Full Gauge, modelo Penta III, um termo-higrômetro digital marca Minipa modelo MT-242A e um decibelímetro marca Minipa modelo MSL-1355B.

O analisador de temperatura Penta III ilustrado na figura 18 possuem as seguintes características (FULL, 2023):

- Faixa de medição: -50.0 a 105.0 °C -58.0 a 221°F
- Temperatura de operação: 0 a 50°C / 32 a 122°F
- Resolução: 0.1°C de -50.0 a 105.0°C
- Precisão: $\pm 0.3\%$ f.e.
- Número de sensores: 5



Figura 18 – Analisador de temperatura Full Gauge Penta III

Fonte: Autor, 2023

O termo-higrômetro digital MT-242A ilustrado na figura 19 possui precisão de 5% UR (MINIPA, 2023a).



Figura 19 - Termo-higrômetro digital MT-242A

Fonte: MINIPA, 2023a.

O decibelímetro MSL-1355B ilustrado na figura 20 possuem as seguintes características (MINIPA, 2023b):

- Faixa de Medida: 30~130dB
- Resolução: 0,1dB
- Resposta de Frequência: 31,5Hz~8,5kHz
- Precisão (94dB/1kHz): $\pm 1,5$ dB



Figura 20 - Decibelímetro marca Minipa modelo MSL-1355B

Fonte: MINIPA, 2023b

4.1 ANÁLISE DOS SENSORES DE TEMPERATURA

Foram realizados cálculos de desvio padrão e incerteza padrão das medições dos sensores DS18B20. A metodologia utilizada para calcular o desvio padrão e incerteza padrão seguiram os procedimentos sugeridos por Gonçalves (2004), descrito a seguir:

- Primeiramente, calculou-se a média ($\bar{x}$) para a variável x a partir dos n valores obtidos independentemente por meio da Equação 4.1.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, i = 1, 2, \dots, n \quad 4.1$$

- Em seguida, encontrou-se o valor do desvio padrão $s(x)$ associado à variável x por meio da Equação 4.2.

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, i = 1, 2, \dots, n \quad 4.2$$

- De posse do desvio padrão, determinou-se a incerteza padrão $u(x)$ de cada fonte de incerteza, considerada no processo de medição, utilizando a Equação 4.3.

$$u(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{m}} \quad 4.3$$

Os sensores foram colocados num recipiente com água em temperatura ambiente sem interferências de raios solares e de qualquer tipo de refrigeração. Foram realizadas setenta medições e calculados a média, desvio padrão e incerteza padrão ilustrados na tabela a seguir.

	Temp 1 (°C)	Temp 2 (°C)	Temp 3 (°C)	Temp 4 (°C)	Temp 5 (°C)
Média das medições	29,25	29,19	29,19	29,38	29,38
Desvio Padrão	0,0271320	0,0301054	0,0289570	0,0318511	0,0340672
Incerteza Padrão	0,0032429	0,0035982	0,0034610	0,0038069	0,0040718

Tabela 1 – Resultados da média, desvio padrão e incerteza padrão dos sensores DS18B20

Fonte: Autor, 2023

Para testar o analisador na incubadora neonatal, foram posicionados os sensores conforme a NBR IEC 601-2-19 (figura 21), configurado a IN no modo de operação ar, aguardado a estabilização da temperatura após uma hora e depois comparado a medição do analisador com a leitura do sensor de temperatura de ar da IN de acordo com a figura 22.

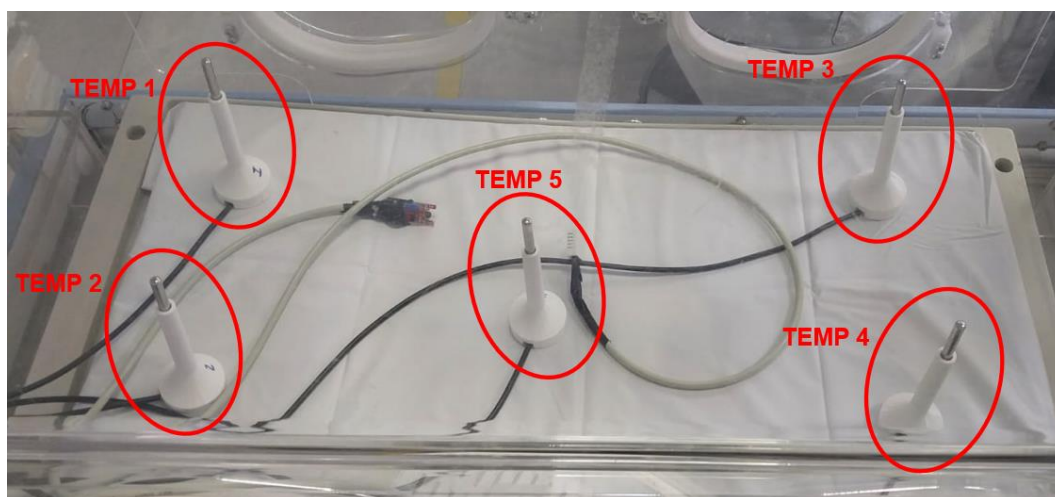


Figura 21 – Posicionamento dos sensores do analisador na IN

Fonte: Autor, 2023.

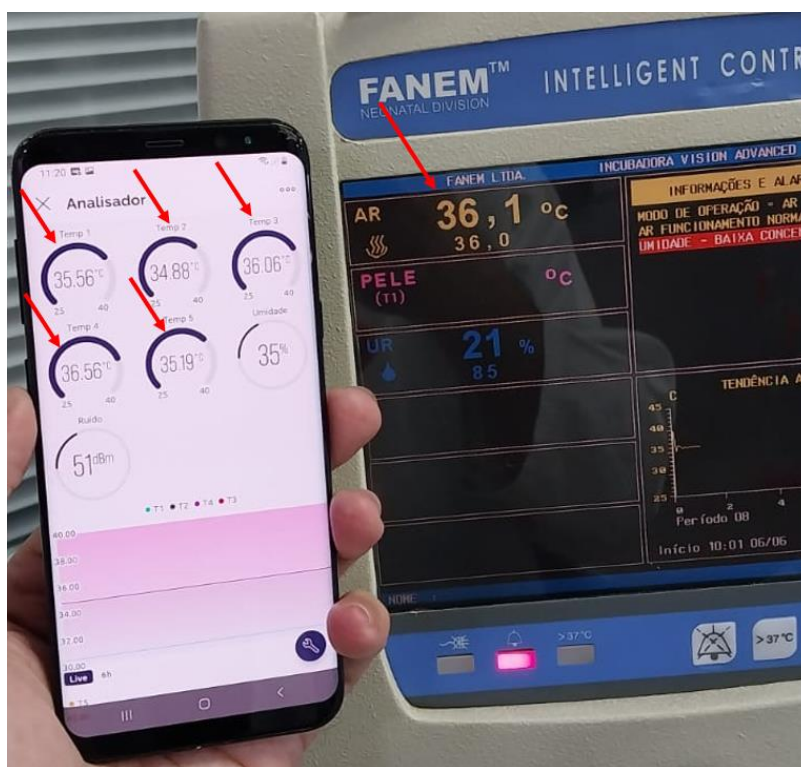


Figura 22 – Comparação das leituras dos DS18B20 com sensor da IN

Fonte: Autor, 2023.

Nota-se na figura 22, conforme as medições do analisador que as temperaturas no interior da incubadora não estão homogêneas, e as leituras dos sensores 3 e 4 do analisador são as únicas que se aproximam com da IN. Portanto, pode-se afirmar que essa IN deve ser revisada de modo que em todos os pontos tenham temperaturas iguais. A seguir, na figura 23 mostra o gráfico de temperatura gerado. Deu-se o início da leitura na IN às 9h00 e após às 10h00 a temperatura do ar estabilizou. Às 11h00 foi retirado o analisador da incubadora.

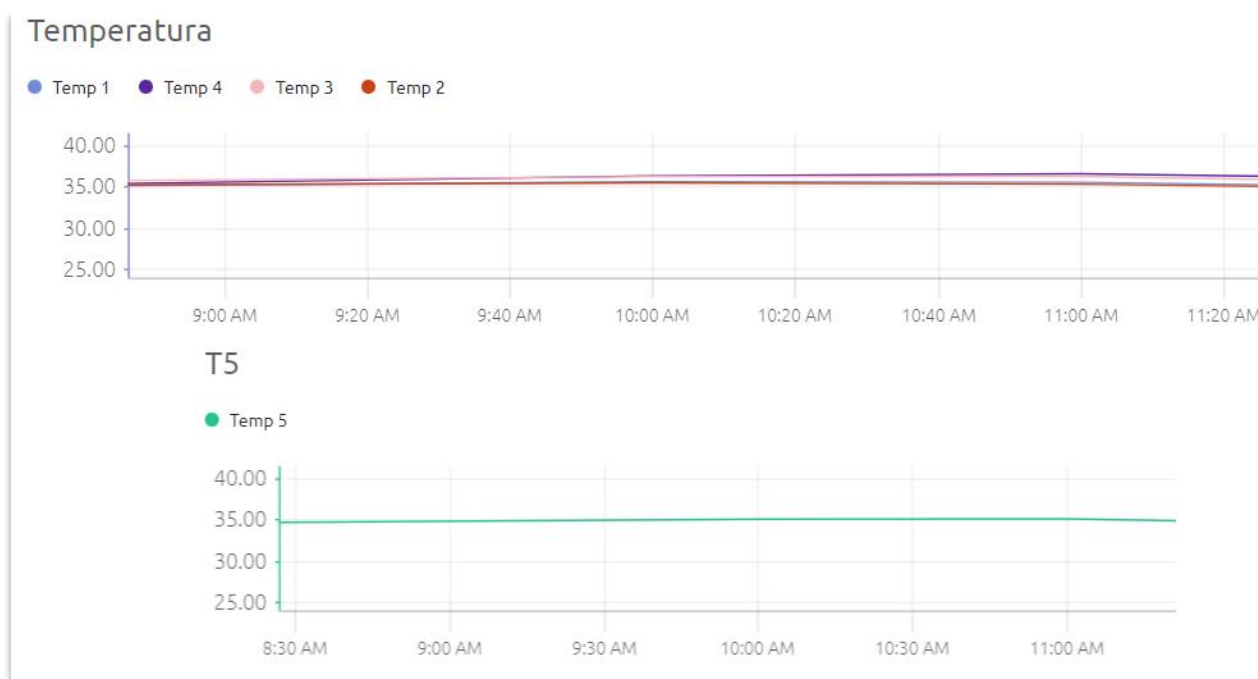


Figura 23 – Gráfico de temperatura

Fonte: Autor, 2023.

Foram colocados os sensores do Penta III lado a lado dos DS18B20 do protótipo para fazer um comparativo. Foram verificados que em todos os pontos teve diferença de 0,2 °C entre os analisadores. Na figura 24 mostra a leitura no ponto 2. No Penta III, foi lido 34,8 °C e no Analisador de IN 35,06 °C.

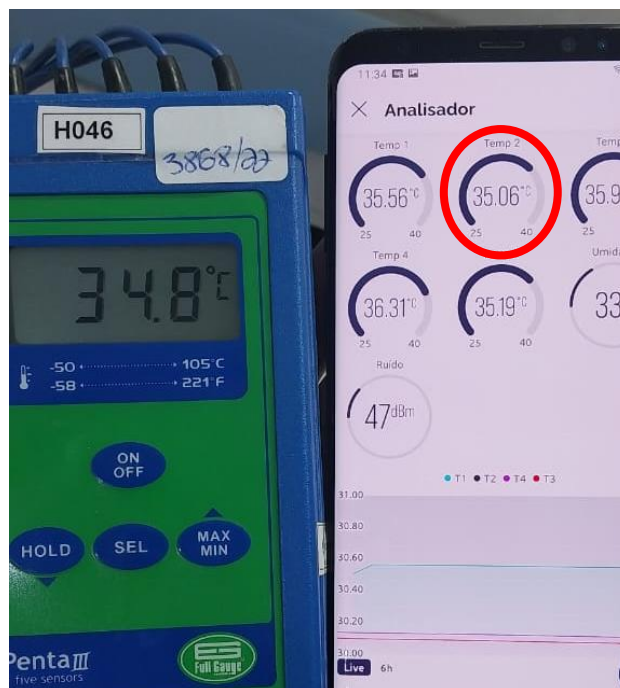


Figura 24 – Comparação entre os analisadores no ponto 2

Fonte: Autor, 2023.

4.2 ANÁLISE DO SENSOR DE UMIDADE

Primeiramente foi ativado o sistema de umidade e setado para 85% UR pelo monitor da IN, adicionado água no reservatório e colocado o sensor de umidade DHT 22 no centro do colchão (figura 25).

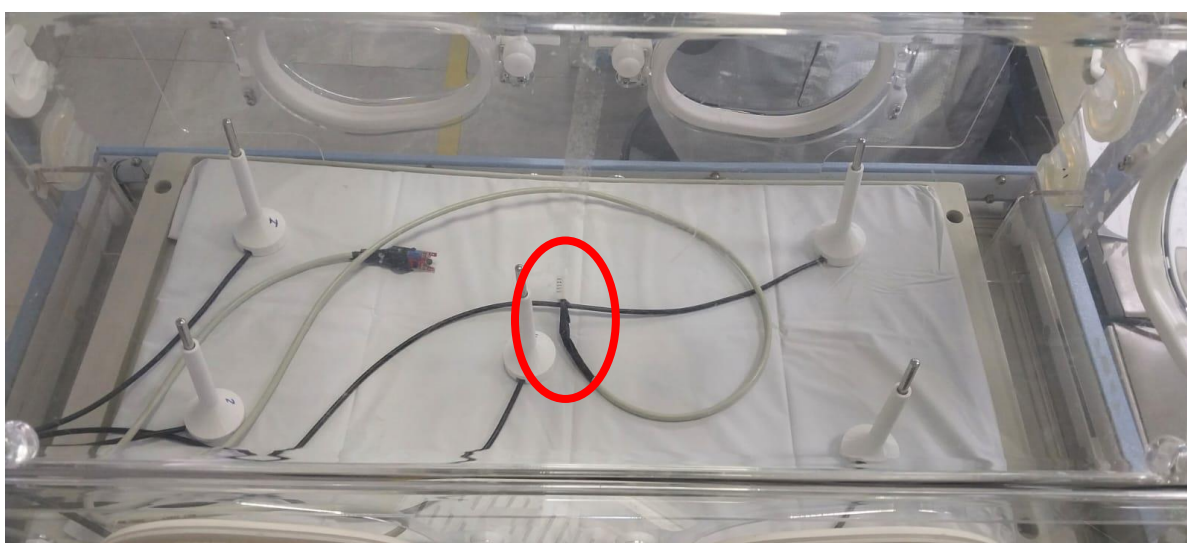


Figura 25 – Posicionamento do sensor DHT 22

Fonte: Autor, 2023.

Foi aguardado 15 minutos para que a IN fosse umidificada, mas não houve variação significativa na leitura realizada na IN nem no analisador. O gráfico gerado pelo analisador (figura 26) mostra que das 09h30 até 11h a umidade estava por volta de 30 a 40 %. Portanto, foi detectado que o sistema de umidificação da IN não está funcionando corretamente.

Umidade



Figura 26 – Gráfico de umidade

Fonte: Autor, 2023

Foi observado também que existe uma grande diferença entre a umidade lida pela IN e o analisador. Enquanto a incubadora estava lendo 21% de umidade relativa do ar, lia-se 35% no analisador (figura 27). Com isso, notou-se falha na leitura de umidade da IN.



Figura 27 – Comparação entre as leituras de Umidade do analisador e da IN

Fonte: Autor, 2023.

Logo após, foi aferido o sensor DHT 22 utilizando um termo-higrômetro digital MT-242A, colocando-os na mesma posição na IN. A leitura realizada pelo analisador

foi de 34% e pelo termohigrômetro 35% (figura 28). Com isso, observa-se que o analisador de IN está fazendo leitura de umidade corretamente.

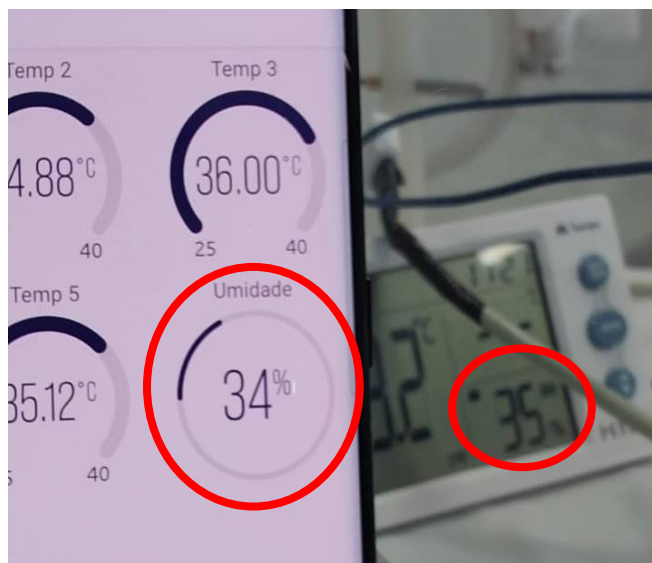


Figura 28 – Comparação entre as leituras de Umidade do analisador e do Termo-higrômetro

Fonte: Autor, 2023.

4.3 ANÁLISE DO SENSOR DE RUÍDO

Como mencionado, a IN analisada estava em um laboratório de assistência técnica. A rotina do laboratório permaneceu a mesma durante o ensaio de ruído na IN, onde eram gerados ruídos de aspiradores cirúrgicos, alarmes da própria IN e de outros equipamentos, batida de ferramentas e conversas entre funcionários. A figura 29 mostra onde ficou posicionado o KY-038 no interior da IN.

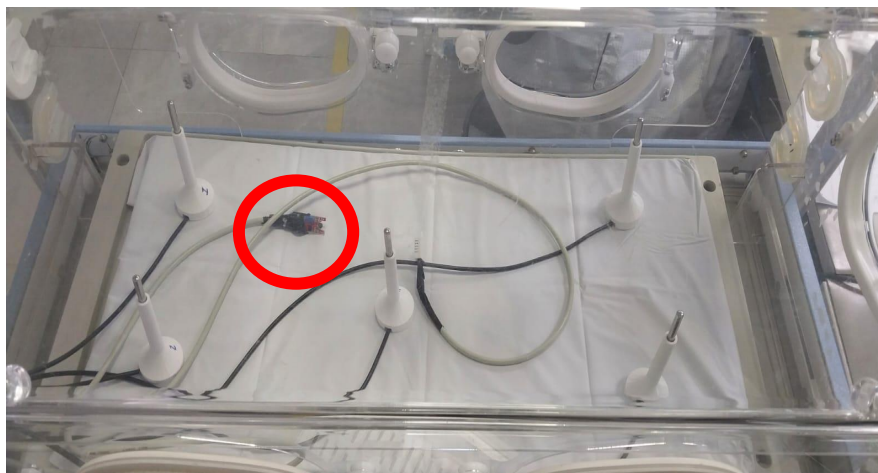


Figura 29 – Posicionamento do sensor KY-038

Fonte: Autor, 2023.

Foi realizada leitura de ruído durante o funcionamento da IN com todas as tampas e portinholas fechadas. Ao longo do ensaio não houve variações acima de 60 dB. Isso é um excelente resultado, sinal que a IN está com isolamento acústico satisfatório, pois a NBR IEC 601-2-19 orienta que o ruído no interior da IN não deve ultrapassar 60 dB. O gráfico da figura 30 mostra a leitura realizada pelo KY-038 das 09h30 às 11 horas.

Ruído

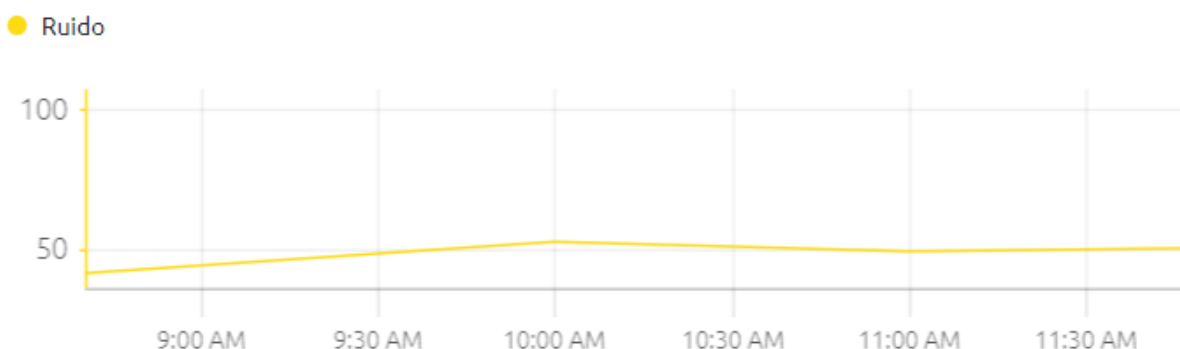


Figura 30 – Gráfico leitura de ruído com KY-038

Fonte: Autor, 2023.

Foi aferido o sensor de ruído do analisador utilizando o decibelímetro MSL-1355B. O instrumento da assistência técnica foi colocado lado a lado do KY-038 no interior da IN. Enquanto o analisador de IN lia 49 dB, o decibelímetro marcava 49,8 dB (figura 31).

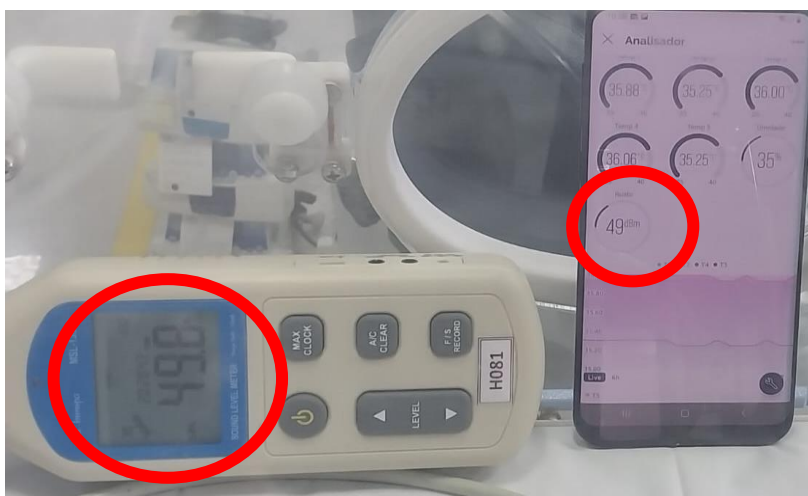


Figura 31 – Comparação entre a leitura do decibelímetro e KY-038

Fonte: Autor, 2023.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo trata das considerações finais a respeito dos testes e resultados obtidos com o experimento do protótipo montado, também propõe algumas ideias para futuros projetos.

5.1 CONCLUSÃO

O protótipo desenvolvido atendeu as expectativas da proposta e objetivos desse trabalho. O sistema, através de um *smartphone* ou computador e uma rede *wi-fi*, consegue fazer leituras de temperaturas, umidade e ruído no interior de uma IN e gerar um banco de dados em forma de gráfico. Ele foi desenvolvido no intuito de auxiliar o técnico durante a manutenção em uma IN de forma que obedeça às exigências da NBR IEC 601-2-19 sem ter que utilizar vários instrumentos de medições e que fosse mais barato que os analisadores de IN comercializados.

Não foi realizado estudo de viabilidade econômica, mas comparando o custo de aquisição do *hardwar* com os valores dos analisadores que são comercializados, é nítido que o protótipo fica muito mais barato, pois somando o custo da aquisição de todos os componentes do *hardware*, ficou em 200 reais. Obviamente que foi construído apenas um protótipo. Para que ele fosse comercializado, deveria acrescentar mais tecnologia, como sensor de fluxo de ar e sensor O_2 , melhorar a aparência do dispositivo e passar por certificação, pois se trata de um dispositivo que analisa um equipamento médico que interage com vidas. Para se ter uma ideia de valores dos dispositivos comercializados, na feira hospitalar de maio de 2023 estava sendo expostos vários analisadores de IN, entre eles o TIN-100 da Néos sendo vendido por 30 mil reais e o analisador da Fluke modelo INCU II por 65 mil reais.

Não foi realizado um estudo metrológico, mas comparando os resultados das leituras dos sensores do analisador desenvolvido com os instrumentos de medições, pode-se afirmar que foram satisfatórios pois estão bem próximos. As medições das temperaturas deram diferença de 0,2 °C em todos os pontos, a umidade de 1 % e o ruído de 0,8 dB.

5.2. PROPOSTA PARA FUTUROS PROJETOS

Esse trabalho possui muito campo para ser explorado em projetos futuros. Segue algumas ideias de futuras propostas:

- Estudo metrológico do analisador de IN desenvolvido
- Estudo de viabilidade econômica
- Trabalho de melhoramento tecnológico, incluindo outras medições de grandezas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDICHE, M. Humidity control tool for neonatal incubator. *Medical and Biological Engineering and Computing*, v. 36, n. 2, p. 241-245, 1998.

AMORIM, A. S. O desafio da gestão de equipamentos médico-hospitalares no Sistema Único de Saúde. *Saúde em Debate*, v. 39, p. 350-362, 2015.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60601-2-19: Equipamento Eletromédico, Parte 2-19: Prescrições particulares para segurança de incubadoras para recém-nascidos (RN)**. Rio de Janeiro, 2000.

AYARAFUN. Node32s: *Pinout Ayarafun make, creative and let's fun*. [2017]. Disponível em: Acesso em: 14 de nov. de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretária de Gestão de Investimentos em Saúde. Projeto REFORSUS. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção**. Brasília, 2002.

BOUATTOURA, D., VILLON, P., FARGES, P. *Dynamic Programming Approach for Newborn's Incubator Humidity Control*, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 45, n. 1, p. 48-55, Jan. 1998.

DALLAS, SEMICONDUTOR. **Datasheet sensor de temperatura DS18B20**. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>. Acesso em: 18/01/2023.

VIANA, CAROL CORREIA. **Conhecendo o Novo Blynk 2.0 – A nova plataforma do Blynk IoT**, Disponível em: <https://www.blogdarobotica.com/2022/01/04/conhecendo-o-blynk-2-0-a-nova-plataforma-do-blynk/>. Acesso em: 10/05/2023.

COSTA, E. J. L. et al. **Uso Adequado de Incubadora Neonatal na Assistência em Saúde**. VIII Semestre. João Pessoa, 2009.

COSTA, E. J. L., SILVA, J. F., NETO, A. C. **Sistema de Teste e Calibração de Incubadoras Neonatais, Metrologia para a Vida**: Sociedade Brasileira de Metrologia (SBM) Recife; 2003.

DRÄGUER MEDICAL. **Manual do Usuário de Incubadora Neonatal**, São Paulo, 2007.

DOS SANTOS, L. M. **Identificação e tratamento da dor no recém-nascido prematuro na Unidade de Terapia Intensiva**. Revista Brasileira de Enfermagem, v. 65, n. 2, p. 269-275, 2012.

FILIPEFLOP. **DS18B20**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino/>. Acesso em: 24/11/2022a.

FILIPEFLOP. **KY-38**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-som-ky-038-microfone/>. Acesso em: 24/11/2022b.

FOROUZAN, Behrouz A. **Comunicação de Dados e Redes de Computadores**. [S.l.]: Amgh Editora, 2007.

FULL GAUGE. **Manual do usuário Full Gauge Penta III**. Disponível em: <https://www.fullgauge.com.br/manual-de-produto-45>. Acesso em: 03/07/2023.

GHOSH, A. **What Are the Advantages of EPP32 Over Arduino UNO?**. Techa Peek. [2019]. Disponível em: Acesso em: 6 de nov. de 2022.

GONÇALVES, Armando A. **Apostila de Metrologia**. Florianópolis: LABMETRO – UFSC, 2004.

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

LABIOD, Houda; AFIFI, Hossam; SANTIS, Costantino de. **Wi-Fi™, Bluetooth™, Zigbee™ and WiMax™**. [S.l.]: Springer Netherlands, 2007.

LADYADA. **ESP32 com sensor de temperatura e umidade DHT11/DHT22 usando Arduino IDE**. Disponível em: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-dht11-dht22-temperature-humidity-sensor-arduino-ide/>. Acesso em 02/02/2023

LUCATELLI, M. V. **Estudo de procedimentos de manutenção preventiva de equipamentos eletromédicos**. 1998. 155 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

MARTINS I.M.F e CATULÉ P.A.L. **Sistema de Irrigação Automatizada e Localizada Usando Hardware Livre ESP32 Em Pequenas Plantações**. 2018. 15 f. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) - Fundação Presidente Antônio Carlos, 2018.

MERCADOLIVRE. **DHT22**. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-718282053-dht22-sensor-de-temperatura-umidade-am2302-p-arduino-_JM. Acesso em: 20/11/2022.

MINIPA. **Especificações técnicas do MT242A**. Disponível em: https://www.minipa.com.br/temperatura-e-ambiente/termo-higrometros/395-mt-242a-1#especificacoes_tecnicas. Acesso em 04/07/2023a

MINIPA. **Especificações técnicas do MSL-1355B**. Disponível em: <https://www.minipa.com.br/temperatura-e-ambiente/decibelímetros/149-msl-1355b>. Acesso em 04/07/2023b

NUNES, E. L. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): análise da implantação em uma sistemática de manutenção preventiva consolidada**. 2001.146 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

PINHEIRO, E. M. **Ruído na Unidade de Terapia Intensiva Neonatal e no interior da incubadora**. Revista Latino-Americana de Enfermagem, v. 19, n. 5, 2011.

RODRIGUES, R. G. **Os primórdios da assistência aos recém-nascidos no exterior e no Brasil: Perspectivas para o saber de enfermagem na neonatologia (1870- 1903)**. Revista Eletrônica de Enfermagem, v. 6, n. 2, 2004.

SANTOS, A., MOREIRA, G., OLIVEIRA, N. **Medidor de Nível Sonoro**. Artigo – Universidade Federal de Lavras, 2017.

SMITH, A. M. **Reliability – Centered Maintenance. USA: McGraw – Hill, Inc.**,1993.

SPARKFUN. **Humidity and Temperature Sensor**. Disponível em: <https://www.sparkfun.com/products/18364>. Acesso em: 20/11/2022.

SYSTEMS, Espressif. **ESP32 TECHNICAL REFERENCE MANUAL. Copyright, Versão 3.9, 2018a.** Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf>. Acesso em: 01/11/ 2022.

OLIVEIRA, M. A. **Sistema de Ensaio de Desempenho de Incubadora Neonatal**. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

TEIXEIRA, Mário Antonio Meireles. **Suporte a serviços diferenciados em servidores: modelos e algoritmos**. maio 2004. Tese (Doutorado) — Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, maio 2004.

TISA, T. A. **Design Of An Enhanced Temperature Control System For Neonatal Incubator**. Bangladesh Journal of Medical Physics, v. 5, n. 1, 2013.

WEBSTER, J. C. **Medical Instrumentation Design**. 2. Ed. New York: Houghton Mifflin Company, 1995.

APÊNDICE A - ALGORITMO DE PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO

```
#define BLYNK_PRINT Serial
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include "DHT.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

char auth[ ] = "tqVIL_-t71HX_SbH5PXOLd2kfHecnEQ8";

// Suas credenciais WiFi.
// Defina a senha como "" para redes abertas.
char ssid[ ] = "Digital nome da Rede WI-FI";
char pass[ ] = "Digitar senha";

#define DHTPIN 4 // Porta entrada para o DHT22
#define DHTTYPE DHT22
// O DS18B20 está conectado ao GPIO 2
#define ONE_WIRE_BUS 2

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Passa a referência oneWire para Dallas Temperature.
DallasTemperature sensors(&oneWire);
// Número de dispositivos de temperatura encontrados
int numberOfDevices;

// Usar esta variável para armazenar um endereço de dispositivo encontrado
DeviceAddress tempDeviceAddress;

const uint8_t pin_btn = 12;
// define o estado do botão
```

```
byte menu = 0;

const int PinoSensor = 34; //pino Anlógico de Entrada 34
const int PinoDigital = 0;
//int Estado = 0;
int ValorSensor = 0;
int valorMaior = 0;
float tensao = 0;
int dB = 0;
int cont = 0;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

BlynkTimer timer;

void setup(){

  Serial.begin(115200);

  dht.begin();
  // Inicia a biblioteca
  sensors.begin();

  // Pega uma contagem de dispositivos no barramento
  numberOfDevices = sensors.getDeviceCount();

  // localiza dispositivos no barramento
  Serial.print("Locating devices...");
  Serial.print("Found ");
  Serial.print(numberOfDevices, DEC);
  Serial.println(" devices.");

  // Percorre cada dispositivo, imprime o endereço
  for(int i=0;i<numberOfDevices; i++){
```

```

// Procura no fio o endereço
if(sensors.getAddress(tempDeviceAddress, i)){
  Serial.print("Found device ");
  Serial.print(i, DEC);
  Serial.print(" with address: ");
  printAddress(tempDeviceAddress);
  Serial.println();
} else {
  Serial.print("Found ghost device at ");
  Serial.print(i, DEC);
  Serial.print(" but could not detect address. Check power and cabling");
}
}
timer.setInterval(100L, Analisador);
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
}
void Analisador()
{
  sensors.requestTemperatures(); //Envie o comando para obter as temperaturas

  // Percorra cada dispositivo, imprima os dados de temperatura
  for(int i=0;i<numberOfDevices; i++){
    // Pesquisar o fio para o endereço
    if(sensors.getAddress(tempDeviceAddress, i)){
      // Saída do ID do dispositivo
      Serial.print("Temperature for device: ");
      Serial.println(i,DEC);
      // Imprima os dados
      float tempC = sensors.getTempC(tempDeviceAddress);

      Serial.print("Temp C: ");
      Serial.println(tempC);

      if (i == 0){

```

```

    Blynk.virtualWrite(V1, tempC);
  }
  else if (i == 1){
    Blynk.virtualWrite(V2, tempC);
  }
  else if (i == 2){
    Blynk.virtualWrite(V3, tempC);
  }
  else if (i == 3){
    Blynk.virtualWrite(V4, tempC);
  }
  else if (i == 4){
    Blynk.virtualWrite(V5, tempC);
  }
}

float h = dht.readHumidity();
Blynk.virtualWrite(V6, h);

while(cont < 10000)
{
  ValorSensor = analogRead(PinoSensor);
  if(ValorSensor > valorMaior)
  {
    valorMaior = ValorSensor;
  }
  cont++;
}
cont = 0;
tensao = valorMaior/1023.0*4.53;
//dB = 103.1*tensao - 115,4;
dB = 87.1*tensao - 75,4;

```

```

if(dB < 0)
{
dB = 0;
}
Blynk.virtualWrite(V7, dB);

```

```

/* Serial.print("Tensao: ");
Serial.print(tensao);
Serial.println(" V");
Serial.print("Intensidade: ");
Serial.print(dB);
Serial.println(" dB");*/

```

```

valorMaior = 0;

```

```

delay(500);

```

```

}

```

```

void loop(){

```

```

Blynk.run();
timer.run();
Analizador();

```

```

}

```

```

//função para imprimir um endereço de dispositivo

```

```

void printAddress(DeviceAddress deviceAddress) {
  for (uint8_t i = 0; i < 8; i++){
    if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
    Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
  }
}

```