

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA / ENGENHARIA CONTROLE E AUTOMAÇÃO
Trabalho Final de Curso II

Vitor Souza Evangelista da Rocha
Guilherme Morais da Silva Jaime

DATALOGGER PARA MEDIÇÃO DE TEMPERATURA EM EQUIPAMENTOS
HOSPITALARES

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de bacharel em Engenharia de
Controle e Automação apresentado à Pontifícia
Universidade Católica de Goiás.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcos Lajovic Carneiro – Orientador. PUC Goiás.

Prof. Dr. Wanderson Rainer Araújo – PUC Goiás.

Prof. Dr. Antônio Marcos de Melo Medeiros – PUC Goiás

Goiânia, 01 de dezembro de 2021.

Datalogger para Medição de Temperatura em Equipamentos Hospitalares

Vitor S. E. da Rocha, Guilherme M. da S. Jaime, Marcos L. Carneiro

Resumo— Este artigo apresenta a criação de um *Datalogger* com 12 sensores de temperatura PT100 para qualificação de equipamentos hospitalares. O equipamento deve seguir as normas de qualificação vigentes em território brasileiro, principalmente no que tange a precisão dos valores coletados. Foram feitos testes em uma autoclave e em uma geladeira e o equipamento apresentou uma precisão de 0,04°C. Também foram feitas coletas de temperatura por até 4 horas com o armazenamento dos dados em um SD card. O dispositivo permite a distribuição uniforme dos sensores no interior da câmara a ser medida e criptografa os dados coletados, conforme exigido nas normas brasileiras.

Palavras-Chave—*Datalogger*, PT100, microcontrolador, equipamento hospitalar.

Abstract— *Abstract*— This article presents a creation of a *Datalogger* with 12 PT100 temperature sensors for qualification of hospital equipment. The equipment must follow the qualification rules in force in the Brazilian territory, mainly with regard to the accuracy of the collected values. Tests were carried out in an autoclave and in a refrigerator, and the equipment presented an accuracy of 0.04 °C. Temperature collections were also carried out for up to 4 hours with the data being stored on an SD card. The device allows the uniform distribution of sensors inside the chamber to be measured and encrypts the collected data, as required by Brazilian standards.

I. INTRODUÇÃO

Equipamentos hospitalares são tratados com grande cuidado quando se considera seu funcionamento na parte eletroeletrônica, como em sua integridade física e sua instalação dentro do ambiente hospitalar. Seus sensores, em especial, devem ser observados cuidadosamente, por se tratar de um equipamento que pode ser utilizado diretamente ou indiretamente no cuidado de vidas.

Os equipamentos *Dataloggers* para a realização de qualificação térmica consistem em sistemas microcontrolados que utilizam tecnologia embarcada e conhecimentos de profissionais com formação especializada, e portanto, possuem um grande valor agregado. No Brasil esses equipamentos são fabricados por 3 empresas (Elitech Brasil, Novus e ABS Telemetria), todas localizadas no Rio Grande do Sul. Dentre elas, apenas duas são nacionais e uma é americana com filial no Brasil. Além da baixa quantidade de fornecedores nacionais, as empresas de prestação de serviços, que apenas utilizam o equipamento, cobram elevados valores pois adicionam em seus custos o

equipamento, o profissional especializado e o traslado. Portanto, o detalhamento e o domínio dessa tecnologia podem contribuir para o estabelecimento de novos fabricantes nacionais, facilitando a prestação deste serviço em diversos estabelecimentos da área de saúde e também de alimentos.

Um dos equipamentos muito utilizados dentro dos hospitais é a autoclave, este equipamento é responsável por realizar a esterilização de instrumentos médicos e odontológicos, além de vidrarias entre outros. A esterilização garante que os instrumentos estão limpos de qualquer tipo de micro-organismo, com isso, aptos a serem usados em procedimentos que tem contato direto com o paciente. Assim, reduzindo o risco que o paciente sofra contaminação durante o procedimento médico.

Para se validar o processo de esterilização de uma autoclave, deve-se efetuar uma série de análises com o intuito de saber como está o funcionamento do equipamento. As análises vão desde qualificação de instalação (IQ), Qualificação de operação (OQ) e qualificação de desempenho (DQ). Em que essas análises garantem que o funcionamento do equipamento está em bom funcionamento.

A qualificação de desempenho é muito importante para o processo de esterilização, pois visa garantir que o equipamento esteja em seu pleno funcionamento e seguindo as normas vigentes. Para esta análise o desempenho que o equipamento tem e levado em consideração a repetibilidade e homogeneidade de temperatura no interior da câmara do equipamento.

Para a validação, é necessário um equipamento de validação para medir ou comparar se os parâmetros de funcionamentos estão dentro do permitido de acordo com as normas vigentes. Também é preciso avaliar a capacitação dos funcionários que são responsáveis pelo procedimento. As normas são documentos feitos para se padronizar os mais diversos procedimentos ou equipamentos. Assim a validação segue uma série de normas, para que assegure o pleno funcionamento do equipamento ou que o processo seja executado da melhor forma possível.

Para garantir o desempenho e a repetibilidade do equipamento, é utilizado um equipamento que possui sua calibração feita por uma empresa acreditada. Essas empresas possuem o selo da rede brasileira de calibração (RBC), dessa forma o equipamento passa a ter um certificado reconhecido pelo instituto nacional de metrologia (INMETRO). Com o equipamento certificado é possível fazer a calibração rastreável, em que o equipamento utilizado possui o certificado RBC para qualificar ou calibrar outros equipamentos. Esse procedimento valida que o equipamento está com seu funcionamento conforme as normas regulamentadoras [1].

O objetivo do artigo consiste em apresentar a construção de um *Datalogger* que atenda às necessidades do mercado e algo que seja o mais próximo possível exigido pelas normas.

Para atender as normas [2] [3] o equipamento precisa fazer a medição de dois pontos de temperatura específicos, 121°C e 0°C, com um erro máximo de 0,20 °C. Também é necessária uma leitura homogênea de todo o objeto qualificado e ainda a captação dos valores obtidos juntamente com informações de data e hora, além disso, o processo deve suportar longos períodos de funcionamento, que podem chegar até a 4 horas em determinados processos.

Como resultados principais, obteve-se um equipamento de relativo baixo custo capaz de fazer a medição homogênea através de 12 pontos, com temperaturas na faixa de 0°C a 121°C e salvar estes dados juntamente com informações de data e hora em um cartão micro SD. Ele apresentou erro máximo de 0,1°C graus nas medições devido às limitações relacionadas ao conversor AD HX711 e a classe dos sensores de temperatura PT100.

Este artigo conta com uma introdução em sua seção I, uma segunda seção com revisão bibliográfica onde são explicados os conceitos de qualificação térmica, normas da área e os componentes principais do equipamento. A seção III apresenta a metodologia da pesquisa, indicando o processo de desenvolvimento do equipamento. A seção IV apresenta os resultados e discussões a respeito dos dados coletados durante a pesquisa. Finalmente, na seção V são apresentadas as conclusões do trabalho.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O processo de qualificação é a união de dados e operações necessárias para a execução de atividades. Trata-se de um conjunto de atributos que tornam alguém ou algo adequado para o exercício de uma determinada função. A validação é a certificação de todo um processo, tendo como exemplo uma autoclave, qualifica-se a mesma e valida-se seu processo de esterilização.

A qualificação térmica de uma autoclave é realizada com a distribuição de sensores de temperatura devidamente calibrados, no interior do equipamento. A aferição dos valores de temperatura pode ser feita tanto em câmara vazia, quanto em câmara com carga, pode-se usar como um dos parâmetros de qualificação os tempos de ciclos de esterilização que são usados diariamente, simulando assim o funcionamento do equipamento e seguindo as normas de validação.

Os sensores devem ser posicionados no interior do meio esterilizante com posições pré-definidas a fim de identificar quais pontos estão dentro dos padrões permitidos por norma, assim confirmando se a temperatura dentro da câmara está homogênea ou não. Outro parâmetro que deve ser avaliado é a pressão interna, tendo que seguir os padrões que a norma indica para essa variável.

Uma das normas que é cobrada para o procedimento de qualificação e validação é a ABNT NBR 16328 [2], que visa o procedimento para a medição da temperatura e pressão em equipamentos de esterilização, despirogenização (esterilização por calor seco), desinfecção, termo desinfecção, e também a limpeza e conservação dos equipamentos [4].

O equipamento utilizado para se coletar e registrar os valores de sensores ao longo do tempo, juntamente com

outras variáveis é denominado *datalogger*. Ele é usado na área industrial e médica para monitorar os mais diversos parâmetros podendo usar sensores como os de temperatura, pressão, corrente, tensão, entre vários outros. Os dados obtidos pelo *datalogger* são aplicados para análise dos parâmetros de funcionamento de equipamento ou processos. Tendo esses dados, é possível analisar e tomar as decisões adequadas diante dos resultados [5] [6] [7] [8] [9].

Os sensores RTD (*Resistance Temperature Detector*) ou termoresistências são dispositivos usados na medição de temperatura, um dos modelos comerciais é o PT100 que tem sua resistência típica a 0°C próxima a 100 Ω. Seu funcionamento surge da variação da resistência elétrica devido a mudança da temperatura. Dentro de sua construção existem várias classes, cada uma com um comportamento e precisão próprias [10] [11].

Outro componente usado é o conversor analógico-digital, quem tem como função transformar sinais elétricos dentro de uma faixa de tensão em um sinal amostrado, quantizado em um número inteiro e finito. Uma característica é a resolução em que ele converte os sinais analógicos para digitais, existindo diversos modelos com resoluções que variam normalmente de 8 a 24 Bits. [12]

Um modelo de conversor AD é o HX711 que possui uma resolução de 24 Bits e 2 canais de entrada, além de possuir ganho programado em cada um dos seus canais, podendo ser de 32, 64 ou 128. Tem sua de alimentação na faixa de 2,6V ~ 5,5V e sua temperatura de trabalho entre -40°C ~ +85°C [13].

O componente que atua comandando todo o processo é o microcontrolador, onde se tem um *firmware* configurado com todo o passo a passo que deve ser executado. Um modelo muito usado é o Atmel ATmega328P com sua arquitetura AVR RISC aprimorada. Ele possui 28 pinos, possui um conversor AD de 10 bits de resolução e necessita de um *clock* externo para seu funcionamento dependendo da velocidade de processamento desejada [14] [7] [15].

Quanto a parte de salvamento dos dados obtidos, um *SD card* é utilizado para armazená-los. Segundo a norma ABNT NBR 16328:2014 [2] é de extrema importância que estes dados coletados sejam protegidos de eventuais ajustes que invalidariam os resultados dos ensaios. Devem ser estabelecidos e implementados procedimentos de proteção de dados que devem incluir, mas não se limitar a, integridade e confidencialidade da entrada ou da coleta, armazenamento, transmissão ou processamento de dados.

III. METODOLOGIA

O processo de desenvolvimento do equipamento eletrônico foi dividido no projeto do circuito, implementação, calibração e validação. Na seção de projeto do circuito são apresentados os componentes que compõem o equipamento e o esquemático. Na seção de implementação é a apresentado o *layout* e o equipamento completo. Em seguida, a metodologia apresenta os aspectos principais da programação e a calibração do equipamento. Finalmente, são realizados testes de validação em uma autoclave profissional, sendo que estes dados são apresentados e discutidos na seção seguinte de resultados.

A. Projeto do circuito

O processo de desenvolvimento do *hardware* eletrônico, de forma genérica, se inicia com a definição de suas funções básicas com um diagrama de blocos. Em seguida, são

escolhidos os componentes principais de maior complexidade, como circuitos integrados (CIs) que executam essas funções (microcontrolador, *display* de Cristal Líquido, RTC, sensor de temperatura, conversor analógico-digital) [16]. Cada um destes componentes costuma necessitar de outros componentes mais básicos para seu funcionamento (resistores, capacitores, indutores). Os CIs também costumam apresentar diferentes modos de funcionamento que podem ser selecionados através da ligação de outros componentes mais simples em seus terminais.

Em seguida, esses conjuntos funcionais são conectados nos terminais do microcontrolador que representa o núcleo central do equipamento. Neste momento o circuito deixa de ser um diagrama de blocos e passa a ser um esquemático completo (Figura 1) onde todos os componentes estão definidos, juntamente com suas conexões e valores. Os principais componentes utilizados no *datalogger* estão listados na Tabela 1.

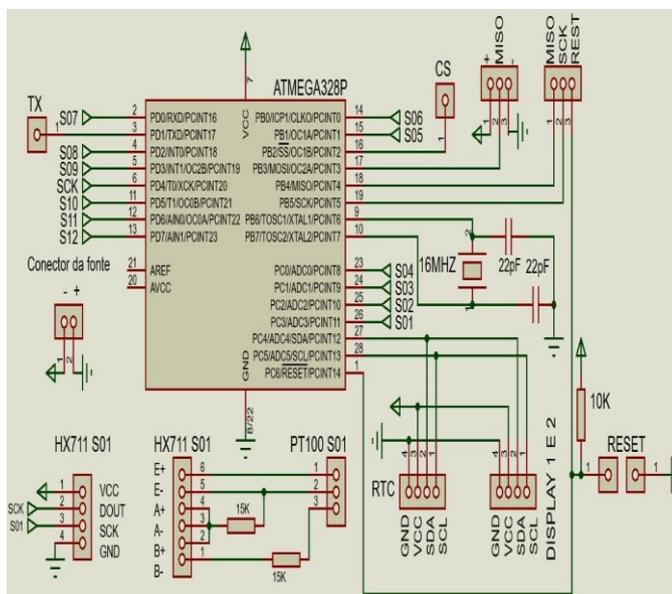


Figura 2. Esquemático do circuito de medição de temperatura e conversão do valor medido para digital. A temperatura é lida pelo PT100, convertida em valores digitais no HX711 e interpretada no microcontrolador ATMEGA328p.

TABELA 1 - COMPONENTES DO CIRCUITO

Nome	Qtd	Descrição
ATMEGA 328p	1	Microcontrolador
Leitor Micro SD	1	Leitor de cartão Micro SD
Displays LCD	2	Displays LCD, 16x2, i2C
hx711	12	Conversor Analógico Digital
DS3231	1	Clock externo
Sensores PT100 Classe B	12	Medição de temperatura
Resistor de 10k	1	Utilizado no reset
Resistores de 15k	24	Utilizados na ponte de <i>wheatstone</i>

B. Implementação

Depois que o esquemático está pronto, o circuito é simulado via *software* ou testado diretamente utilizando um protoboard. Depois de verificado o funcionamento correto, desenvolve-se então o layout da placa do circuito impresso (PCB) para a implementação definitiva do circuito (Figura 3).

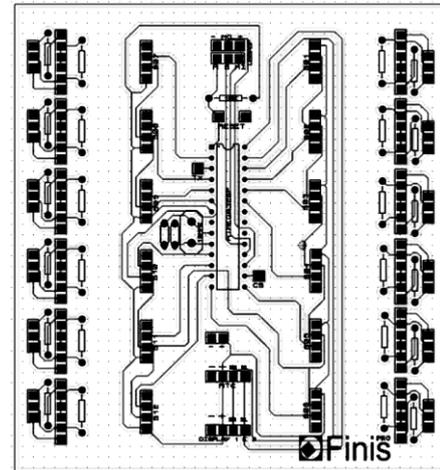


Figura 3. Layout da placa do *Datalogger*.

Com o circuito simulado e funcionando, tem-se a criação de um *firmware* base com as funções principais, que são a leitura de temperatura e salvamento das informações no cartão SD. Assim que esse *firmware* está funcionando junto ao esquemático que foi projetado, inicia-se a inclusão das funções secundárias (registro de data e hora, frases de alerta, dentre outros) para o funcionamento do equipamento. O *firmware* foi desenvolvido usando a linguagem de programação da plataforma Arduino, junto com as bibliotecas de alguns componentes, sendo elas listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Bibliotecas no Firmware

Nome	Descrição
HX711-master	Biblioteca de comandos do HX711.
LiquidCrystal_I2C	Biblioteca de comandos dos LCD.
RTCLib-master	Biblioteca de comandos do Clock externo.
SD	Biblioteca de comandos do gravador micro SD.
DS3231	Biblioteca de comandos do clock externo.

C. Programação e Calibração

O código desenvolvido foi dividido em 3 partes principais. A primeira contém o SETUP onde todos os componentes têm suas configurações básicas indicadas, os LCDs são endereçados e são indicados os valores das faixas de medição, tanto máxima quanto mínima. A segunda parte é a de CAPTAÇÃO em que os valores são adquiridos e convertidos por conversores AD e apresentados em dois *displays*. A terceira parte, que é a de GRAVAÇÃO, os valores são todos direcionados para salvamento em um cartão micro SD para que depois possam ser analisados.

Na parte de conversão dos valores de analógicos para digitais existem duas fórmulas de conversão que fazem com que o valor obtido em volts seja transformado em um valor de temperatura. Primeiramente, os sensores PT100 captam valores de temperatura através de sua resistência variável. Os sensores PT100 foram escolhidos para este projeto, pois eram os sensores que a empresa Preciso Tecnologia tinha um maior conhecimento sobre suas vantagens e desvantagens e ainda possuía fornecedores que facilitaríamos o processo de aquisição.

O conversor AD é responsável por converter esse sinal contínuo em um sinal discreto com precisão de 95% e ganho de no valor de 32 [13]. Esse sinal discreto é repassado em bits para o Arduino através de uma comunicação serial por um protocolo SPI e por meio deste o valor Hexadecimal é recebido. O dado recebido é convertido em um determinado número de degraus e inserido na variável U_{mess} . Esse valor é convertido através da fórmula (1) em um valor de resistência para que a tabela de valores do PT100 possa ser utilizada.

$$R_x = \frac{R_0 - R_u}{U_o - U_u} (U_{mess} + U_u) + R_u \quad (1)$$

A primeira equação de conversão transforma o valor Hexadecimal (U_{mess}) em um valor de resistência. Ela se baseia nos valores máximo (R_u) e mínimo (R_o) da faixa de medição que representam respectivamente 146.44Ω e 100Ω , estes valores são definidos conforme a faixa de temperatura que se deseja ser trabalhada, no caso, correspondem às temperaturas de 121°C e 0°C , limite mínimo e máximo de leitura do *datalogger*, ou seja, a equação em questão converte o valor do sinal armazenado na variável U_{mess} para um valor de resistência que esteja dentro da faixa de medição escolhida em R_u e R_o .

A segunda equação (2) transforma o valor de resistência obtido anteriormente em um valor de temperatura. Essa função de aproximação surge da relação entre um valor real de temperatura e o seu valor equivalente em resistência e é fornecida pelo fabricante dos sensores de temperatura NOVUS já com valores definidos, que na equação à seguir estão simplificados.

$$T = \frac{-4\sqrt{-57750000 * R_x + 43956550801} + 781604}{231} \quad (2)$$

O processo de calibração é a etapa final antes da utilização do *datalogger* e consiste em obter o valor hexadecimal fornecido pelo conversor AD (U_{mess}) de cada um dos sensores nas temperaturas máxima e mínima da faixa de medição do equipamento. Após a obtenção destes dois valores para cada um dos sensores, eles são armazenados em variáveis, sendo o máximo na variável U_o e o valor mínimo na variável U_u . Como já foi mostrado anteriormente, estas variáveis fazem parte da primeira equação de conversão (1) e são responsáveis por minimizar a diferença da curva de medição de temperatura do equipamento da curva real.

D. Procedimento em autoclave

O procedimento em autoclave leva em consideração as instruções dadas pela norma ABNT 16328:2014. O primeiro procedimento a ser feito no processo é a disposição correta dos sensores no aparelho autoclave de forma que toda a sua área seja monitorada garantindo o teste de homogeneidade da temperatura conforme a Figura 4, a segunda consideração a ser feita é a definição da faixa de temperatura a ser trabalhada no processo para que se possa detectar algum erro de medição [17].

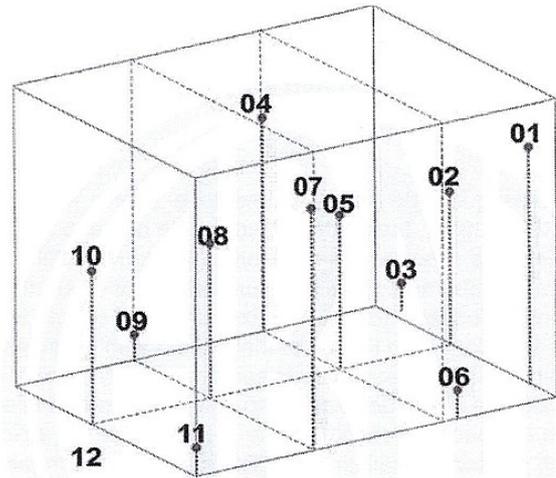


Figura 4. Representação da disposição, segundo a norma ABNT 16328:2014, dos sensores para o teste de medição de temperatura.

E. Criptografia de dados

A criptografia dos dados pode ser realizada de diferentes formas e existe toda uma área de estudo relacionada apenas com essas técnicas. No equipamento implementado, realizou-se um procedimento simples de criptografia dos dados (apresentado na Figura 5) com o objetivo de atender minimamente as exigências da norma e não deixar os dados totalmente sem proteção.

A parte de criptografia consiste em diferentes etapas. Após a captação do valor de temperatura, a primeira etapa é a transformação do valor da temperatura de *float* para *string* utilizando a função *sprintf* representada em (1).

```
sprintf(convertido, "%.3f", valor); (1)
```

Logo após, realiza-se a etapa de leitura do vetor e transformação destas *strings* em seus respectivos correspondentes em *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII).

O vetor “convertido” é escaneado e os dígitos de 0 a 9 são convertidos em valores inteiros correspondentes em ASCII que são salvos no “vetorcripto”. Este vetor passa por um processo de alteração dos valores, que são multiplicados por 2, para que se tenha mais uma etapa que dificulte a leitura dos dados.

Os valores do “vetorcripto” são convertidos de inteiros para *char* utilizando a função abaixo representada para o “varresp” (2).

```
sprintf(varresp[k], "%i", vetorcripto[k]); (2);
```

Por fim o “vetorcripto” é transformado em um vetor *string* de nome “varresp” (3) e este é despejado em uma variável específica que será salva no cartão SD.

```
for (k=0; k<6; k++) //chave de criptografia
{
    char criptoval12=varresp[k]; (3)
}
```

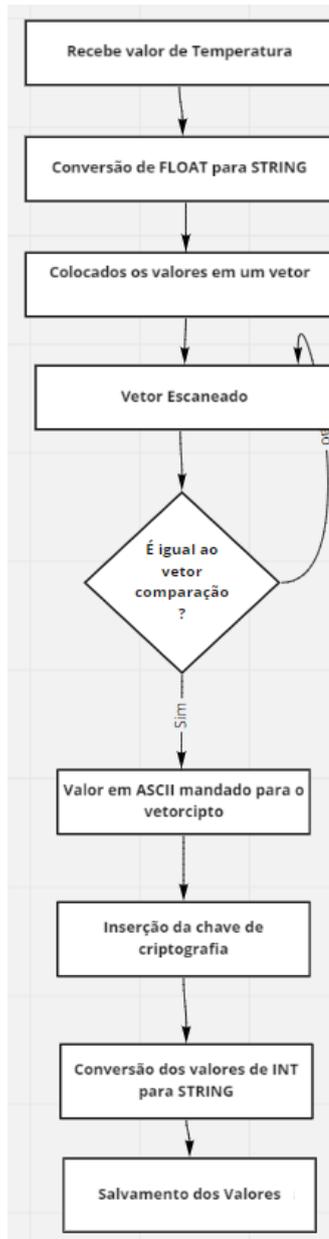


Figura 5. Fluxograma do algoritmo de criptografia e gravação no SD card.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados foram coletados durante a medição em um ambiente de laboratório em diferentes equipamentos. O primeiro teste foi feito em um banho de calibração térmica (Figura 6) onde a temperatura permanece constante durante todo o tempo para todos os sensores. Os dados coletados estão apresentados na Figura 7. Já o segundo teste (Figura 9) foi feito em uma autoclave sem a utilização de uma flange de proteção (Figura 10), um ambiente menos controlado, onde os sensores ficaram espalhados por todo o equipamento que trabalhava em potência máxima. Os dados coletados no segundo teste são apresentados na Figura 9 e a disposição dos sensores na Figura 8.

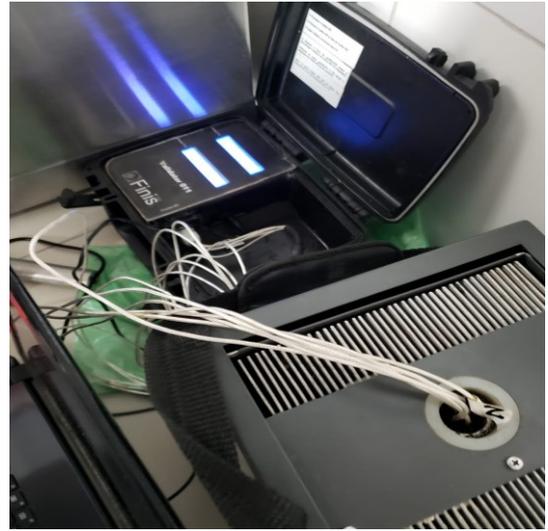


Figura 6. Teste em banho de calibração.

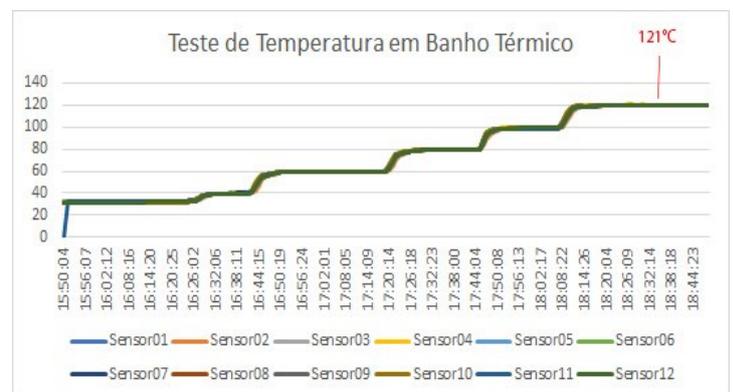


Figura 7. Teste feito em laboratório no banho de calibração térmica na temperatura de 40°C inicialmente e variando de 20°C em 20°C até a temperatura máxima de 121°C durante um período de aproximadamente 3 horas.

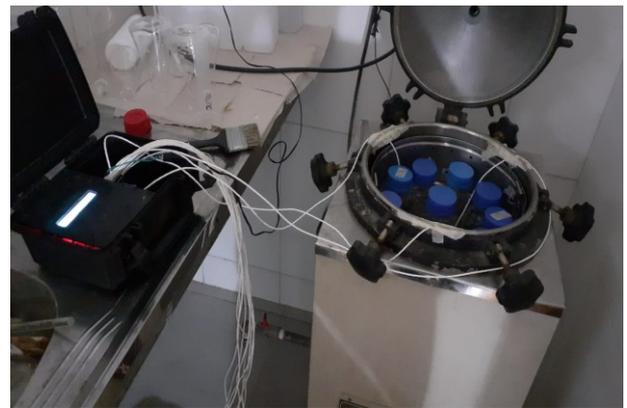


Figura 8. Disposição do equipamento em teste feito em uma autoclave.

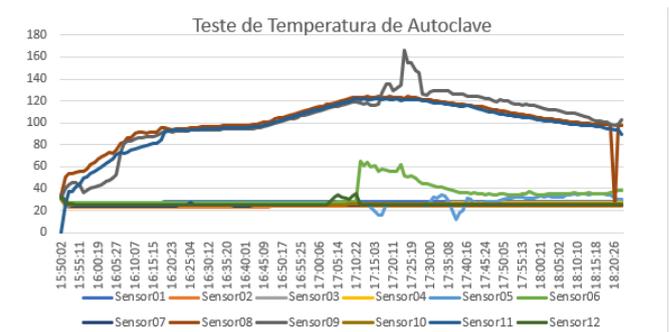


Figura 9. Teste feito em autoclave durante um período de aproximadamente 2h e 10 minutos entre as temperaturas de 22°C a 127°C.



Figura 10. Flange de proteção dos sensores

Na Figura 7 nota-se que todos os sensores mediram a temperatura estabelecida pelo banho de forma satisfatória. A diferença de medição entre as próprias termoresistências foi de até 0,1°C, portanto desprezível. A diferença de medição dos mesmos com o valor real também foi de 0,1°C e dentro dos padrões esperados. O tempo de aquisição dos dados nessa etapa foi de 3h com taxa de salvamento de dados de minuto em minuto.

Já na

Figura 9 o teste foi feito em uma temperatura inicial de 22°C até a máxima de 121°C na autoclave da fabricante FANEM com 3 sensores (Sensor08, Sensor09 e Sensor11), neste procedimento não foi feito o uso dos 12 sensores do *datalogger* pela falta de um equipamento denominado flange, representado na Figura 10. Sem este componente os sensores são colocados nas laterais da autoclave (Figura 8) e por conta disso o fechamento da tampa da mesma fica comprometido, proporcionando alguns vazamentos de pressão e temperatura. Se os sensores do *datalogger* fossem utilizados, a tampa ficaria ainda menos selada e com isso os vazamentos seriam maiores e prejudicariam o teste. A flange permite que todos os sensores sejam colocados dentro da autoclave e a tampa possa ser selada por completo [2].

Analisando o gráfico da Figura 9, nota-se que durante os primeiros 30 minutos os sensores 8, 9 e 11 ainda não se estabilizaram. Isso ocorre porque neste momento é realizada uma fase de pré-aquecimento da autoclave com a tampa aberta e isso faz com que a temperatura não seja homogênea. Na marcação de 16:20 h a tampa do equipamento é fechada e os sensores começam a se estabilizar. O processo de aquecimento até a temperatura máxima leva 1h e 5 minutos e no horário de 17:25h a temperatura começa a ser diminuída aos poucos. Por fim a tampa é aberta fazendo com que ocorra uma queda maior na temperatura medida. O período de captação de dados teve aproximadamente 2h com taxa de salvamento de dados em minutos.

Como pode ser notado no gráfico da Figura 9, o sensor 9 sofreu com um pico de medição anormal no período em que a autoclave se encontrava ainda em temperatura máxima (17:25h). A principal suspeita de como este pico de medição veio a acontecer é pelo fato da maleta do *datalogger* ter se enchedo de água, como demonstrado na Figura 11. Isso ocorreu devido a condensação do vapor que retornou pelo fio dos sensores e isso pode ter ocasionado o erro de leitura. Os sensores 5 e 6 também sofreram com picos aproximadamente no mesmo período possivelmente devido à mesma causa. Outra possível explicação seria a fragilidade que o conversor

AD HX711 possui em manter sua escala de medição sendo que quanto maior o seu tempo de uso maiores as chances de “Drifts” acontecerem, que seriam flutuações em sua escala de conversão por conta de instabilidade na sua alimentação ou aquecimento do componente.

Outro problema gerado pela má selagem da maleta é a sujeira trazida pelo vapor da autoclave. Ele provoca uma deposição de detritos nas trilhas, interferindo na comunicação entre os componentes, além de danificarem a placa, como pode ser visto na Figura 12 e Figura 13. Quanto à capacidade de gravação, o equipamento foi submetido a testes de até 8 horas de duração, acima do tempo usual de utilização em um serviço, que é de 4h, e ainda assim continuou gravando as informações de temperatura e horário. Os dados são salvos em um cartão micro SD com um intervalo de pouco mais de 1 minuto no formato TXT e de maneira criptografada.

O processo de construção do equipamento se baseou no circuito de um Arduino, com adaptações para receber 12 conversores AD e 12 sensores de medição de temperatura. A entrada de carregamento do código é ICSP e permite também a ligação dos dois monitores LCD I2C. Para a marcação do tempo foi adicionado um *RTC DS3231*. As dimensões da placa são de 110.6 mm x 100.1 mm e o fio dos sensores chegam a até 2 metros de comprimento. A alimentação do equipamento utiliza uma corrente de 500mA e tensão de 5V.

Possíveis melhorias foram observadas na construção final do equipamento. Percebe-se a possibilidade de se adicionar conectores para os sensores, podendo facilitar a troca dos mesmos quando necessário e ainda evitando os rompimentos dos fios com o tempo.

Percebeu-se também a necessidade de se aperfeiçoar o isolamento da maleta do *datalogger*. Desta forma, evita-se o acúmulo de água na parte interna do equipamento de qualificação devido a umidade gerada no processo.

Outra possível melhoria está na adição de filtros no circuito de alimentação dos conversores AD. Isso pode evitar possíveis instabilidades e consequentemente a aparição de picos de medição.

É importante considerar também uma melhora no sistema de criptografia para que seja ainda mais seguro e deixe o equipamento à prova de adulteração de dados.

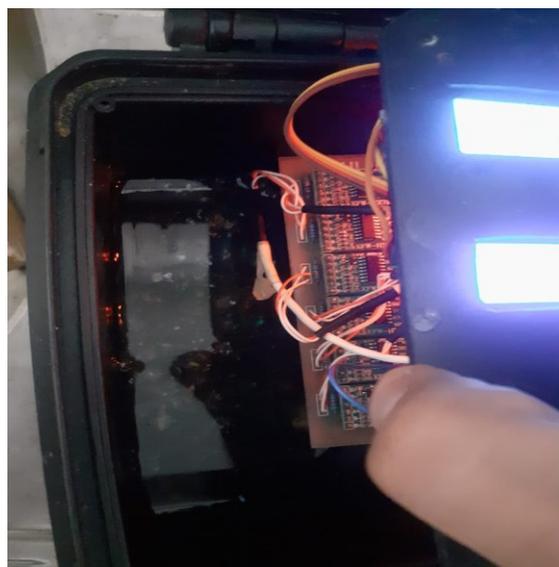


Figura 11. Vapor de água condensado na maleta proporcionou acúmulo de líquido na placa.



Figura 12. Sujeira advinda do equipamento autoclave.

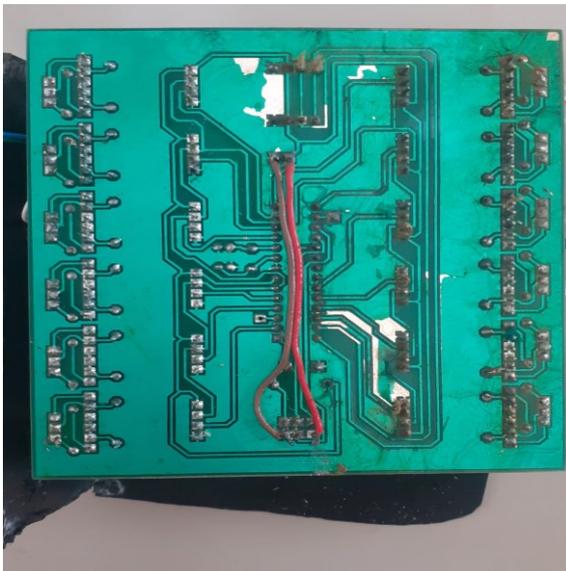


Figura 13. Placa do Datalogger após limpeza da sujeira advinda do teste com autoclave.

V. CONCLUSÃO

O objetivo de construção de um *datalogger* que coleta informações de 12 sensores de temperatura e as armazena em um cartão micro SD foi concluído. O equipamento armazena os dados necessários dentro do período requisitado pelo serviço.

Quanto à precisão dos componentes, os erros obtidos durante os testes foram todos aceitáveis, pois ficaram abaixo do valor máximo de $0,20^{\circ}\text{C}$. Quanto aos picos de medição identificados no teste em autoclave concluiu-se que os mesmos foram decorrentes do contato dos componentes com a água que se acumulou dentro da maleta.

É necessária uma melhor vedação da maleta, de forma que o vapor produzido pela autoclave ou qualquer outro equipamento não alcance a parte elétrica do *datalogger*. Uma possível solução seria a instalação de um *plug* para os sensores de temperatura que fique externo à maleta evitando que a tampa da mesma tenha que ficar aberta durante os testes.

Sugere-se o teste com demais conversores AD como o HX718 ou ADS1115 pelo fato de serem fabricados também para trabalhar com sensores de temperatura, visto que o HX711 é mais utilizado em sistemas de pesagem.

Outra sugestão é a introdução de um sensor que meça também a pressão interna na autoclave já que essa pode ser uma informação relevante no processo de qualificação.

Quanto aos sensores de temperatura recomenda-se o teste com a classe 1/10 que contém um erro menor do que os utilizados. Os sensores PT100 podem ser utilizados no processo de qualificação térmica segundo a norma [2] mas os mais recomendados para a utilização de medição deste tipo de equipamento hospitalar são os termopares por apresentarem uma melhor assertividade dos valores medidos.

AGRADECIMENTOS

A equipe de pesquisa agradece à Empresa Preciso que financiou a pesquisa e os insumos do equipamento construído.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT, “NBR ISO/IEC 17025:2017 - Orientações gerais sobre requisitos da abnt,” Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- [2] ABNT, “ABNT NBR 16328:2014 - Esterilização de produtos para saúde — Procedimento de ensaios para medição de temperatura, pressão e umidade em equipamentos,” Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.
- [3] ABNT, “ABNT NBR ISO 17665-1:201 - Esterilização de produtos para saúde,” Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.
- [4] D. J. W. Willian A. Rutala, “Desinfection, Sterilization and Control of Hospital Waste,” Elsevier Ltda., 2014.
- [5] Qing Wang, GangLu Wang, XinXiu Xie e LiLi Zhou, “Design and simulation for temperature measurement and control system based on PT100,” IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC 2019), Chengdu, China, 2019.
- [6] L. R. J. Rafael Jacinto dos Santos, “Desenvolvimento e Construção de um Datalogger Aplicado ao Monitoramento de Temperatura e Umidade Relativa do Ar de uma Granja Cunicula,” Revista de Engenharia e Tecnologia, 2020.
- [7] H. R. F. B. S. H. Khresna Bayu, “DATA LOGGER AUTOCLAVE BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 328,” Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonésia.
- [8] A. N. A. A. S. H. S. Mokh. Sholihul Hadi, “Stand-Alone Data Logger for Solar Panel Energy System with RTC and SD Card,” Department of Electrical Engineering, Universitas Negeri Malang, Indonesia, 2018.
- [9] S. M., “Design and Implementation of Digital Temperature and Humidity Data Logger and its Comparative Analysis with the Conventional-one,” College of Science and Technology, Department of Science Laboratory Technology, Sokoto, 2020.
- [10] NOVUS, “Termoressistências PT100,” Novus Produtos Eletrônicos LTDA, São Paulo.

- [11] T. Junsing, "Interface Circuit for Three-Wire Resistance Temperature Detector with Lead Wire Resistance Compensation," 2019.
- [12] V. J. K. N. Madhu Mohan, "Direct digital converter for a single active element resistive sensor," 2009.
- [13] AVIA, "HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales," Avia Semiconductor, Xiamen.
- [14] ATMEL, "Datasheet ATmega328P," ATMEL Corporation, San Jose, 2015.
- [15] Z. A.-l. H. J. ZHANG-Hai-feng, "Design of Fumigation Temperature Control System Based on Single-Chip Microcontroller," Elsevier Ltd., China, 2011.
- [16] Mxim Integrated Products, Inc, "DS3231 Extremely Accurate I2C-Integrated," Maxim integrated Products, Inc, San Jose, 2015.
- [17] QUALITEC, "Qualificação Térmica de Autoclave," São Paulo.
- [18] V. F. de Mello, "Projeto e implementação de sistema de controle de temperatura para esterilização de autoclave," Dissertação de mestrado, Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia De São Paulo, São Paulo, 2016.
- [19] M. P. M. Radojle Radetic, "The Analog Linearization of Pt100 Working Characteristic," Serbia, 2015.
- [20] Y. L. a. H. Z. J. Liu, "A Temperature Measurement System Based on PT100," International Conference on Electrical and Control Engineering, Wuhan, 2010.
- [21] A. B. d. N. Técnicas, "NBR ISO 11134: Esterilização de Produtos Hospitalares - Requisitos para Validação e Controle de Rotina - Esterilização por Calor Úmido," ABNT, 2010.

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Vitor Souza Evangelista da Rocha/ Guilherme Moraes da Silva Jaime
do Curso de Engenharia de Controle e Automação, matrícula 20171011800768/20171011800598
telefone: _____ e-mail _____, na qualidade de titular dos
direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor),
autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o
Trabalho de Conclusão de Curso intitulado
Datalogger para medição de temperatura em equipamentos hospitalares
_____, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5
(cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial
de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som
(WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da
área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da
produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 09 de Dezembro de 2021.

Assinatura do(s) autor(es): Vitor Souza Evangelista da Rocha

Guilherme Moraes da Silva Jaime

Nome completo do autor: Vitor Souza Evangelista da Rocha

Guilherme Moraes da Silva Jaime

Assinatura do professor-orientador: Marcos Lajovic Carneiro

Nome completo do professor-orientador: Marcos Lajovic Carneiro