



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**



ANDRÉ FELIPE DOS SANTOS

**PROJETO DE UMA CENTRAL DE MONITORAMENTO IoT PARA O
STDAH DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE UBERLÂNDIA**

Uberlândia
2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**



ANDRÉ FELIPE DOS SANTOS

**PROJETO DE UMA CENTRAL DE MONITORAMENTO IoT PARA O
STDAH DO HOSPITAL DE CLÍNICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL
DE UBERLÂNDIA**

Trabalho apresentado como requisito parcial de avaliação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Sérgio Ricardo de Jesus Oliveira

Assinatura do Orientador

Uberlândia
2022

Dedico este trabalho ao meu avô, José Barbosa (in memoriam), que durante anos aguardou a conclusão do meu curso para que eu voltasse para casa, mas que, infelizmente, não estará lá quando eu voltar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e avós, que sempre acreditaram em mim, os quais sem o apoio eu não teria chegado aonde estou hoje.

Agradeço aos meus amigos, que mesmo à distância sempre estiveram presentes para mim nos altos e baixos que passei todos esses anos longe de casa durante a graduação.

Agradeço à toda a equipe do Setor de Engenharia Clínica, pelo tanto que me ensinaram durante o estágio e pelos conselhos e ajudas que recebi durante o desenvolvimento deste projeto.

Por fim, agradeço ao meu orientador, Sérgio Ricardo de Jesus Oliveira, pelos ensinamentos durante a faculdade, muitos dos quais foram essenciais para este trabalho, agradeço também por sua orientação e suporte durante o desenvolvimento deste projeto.

“Quando a tecnologia sem fio for perfeitamente aplicada, toda a Terra será convertida em um enorme cérebro [...]; e os instrumentos através dos quais poderemos fazer isso serão surpreendentemente simples [...]. Um homem poderá carregar um no bolso de seu colete.”

(Nikola Tesla)

RESUMO

A diálise é um tratamento indispensável para pacientes que, por qualquer motivo, tenham sofrido perda de grande parte de sua função renal e não tenham recebido um transplante de rim. A hemodiálise é a forma mais comum de diálise, e é atualmente feita por mais de 130 mil brasileiros, e requer água ultrapura para sua realização. O HC-UFU, como hospital de grande porte e alta complexidade que é, conta com um sistema de tratamento de água próprio para a realização de hemodiálises, o qual, como todo sistema elétrico e hidráulico, está sujeito a falhas, sejam decorrentes de desgastes naturais, má utilização ou outras razões. E, quando ocorrem, resultam em um grande custo de dinheiro público com manutenções, reagendamento de pacientes para outros horários ou realocação para clínicas particulares etc. Por esses motivos, este trabalho propõe a combinação de tecnologia IoT com desenvolvimento web para a criação de uma central de monitoramento contínuo e remoto para alertar qualquer não conformidade que dificulte ou impeça a limpeza e purificação da água utilizada nos processos de hemodiálise do Setor de Nefrologia do hospital, proporcionando a possibilidade de realizar manutenções preditivas, o que economizaria custos com manutenções corretivas do sistema e possibilitaria uma maior qualidade dos tratamentos dos pacientes hemodialíticos.

Palavras-chave: Hemodiálise; STDAH; IoT; MQTT; Desenvolvimento Web; Aplicação Web; Central de Monitoramento.

ABSTRACT

Dialysis is an indispensable treatment for patients who, for whatever reasons, have suffered loss of most of their kidney function and have not received a kidney transplant. Hemodialysis is the most common form of dialysis and is currently performed by more than 130 thousand Brazilians and requires ultrapure water for its execution. The HC-UFU, as the large-sized and high-complexity hospital that it is, has its own water treatment system for hemodialysis, which, like every electric and hydraulic system, is susceptible to failures, either due to natural wear and tear, misuse, or other reasons. And, when they occur, they result in a large cost of public money with maintenance, rescheduling of patients or reallocation to private clinics, etc. For these reasons, this paper proposes the combination of IoT technology with web development to create a continuous and remote monitoring hub to alert any non-compliance that hinders or prevents the cleaning and purification of the water used in the hemodialysis processes of the hospital's Nephrology Sector, providing the possibility of performing predictive maintenance, which would save costs with corrective maintenance of the system and would enable a higher quality of treatment for hemodialysis patients.

Keywords: Hemodialysis; STDAH; IoT; MQTT; Web Development; Web Application; Monitoring Hub.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Infográfico do STDAH.....	17
Figura 2 – Subsistema de Abastecimento de Água Potável do STDAH do HC-UFU18	
Figura 3 – Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise do STDAH do HC-UFU.....	19
Figura 4 – (a) Início e (b) Final do Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise do STDAH do HC-UFU.....	20
Figura 5 – Salão de Hemodiálise do HC-UFU, parte 1 de 3.....	21
Figura 6 – Salão de Hemodiálise do HC-UFU, parte 2 de 3.....	21
Figura 7 – Salão de Hemodiálise do HC-UFU, parte 3 de 3.....	22
Figura 8 – Pré-Tratamento da Água do STAH do HC-UFU.....	23
Figura 9 – Sistema de Osmose Reversa do STAH do HC-UFU.....	24
Figura 10 – Mostradores de Condutividade do STAH do HC-UFU.....	25
Figura 11 – Tanque de Armazenagem de Água Tratada do STAH do HC-UFU	25
Figura 12 – Infográfico do Protocolo MQTT.....	27
Figura 13 – Máquina de Estados da Central de Monitoramento do STDAH	32
Figura 14 – Fluxograma dos Parâmetros a Serem Monitorados	35
Figura 15 – Faces (a) Frontal e (b) Posterior do Protótipo de Hardware	39
Figura 16 – Tela de Monitoramento da Aplicação Web	40
Figura 17 – Tela de Histórico da Aplicação Web.....	40
Figura 18 – Aplicação Web Recebendo Dados do ESP32.....	41
Figura 19 – Aplicação Web Alertando Extrapolação dos Valores Permitidos.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- CSS – *Cascading Style Sheets* (Folha de Estilo em Cascatas)
- DMAE – Departamento Municipal de Água e Esgoto
- EAV – Enxerto Arteriovenoso
- FAV – Fístula Arteriovenosa
- HC-UFU – Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia
- HTML – *HyperText Markup Language* (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
- IDE – *Integrated Development Environment* (Ambiente de Desenvolvimento Integrado)
- IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)
- JS – JavaScript
- MQTT – *Message Queuing Telemetry Transport* (Transporte de Telemetria de Enfileiramento de Mensagens)
- RDC – Resolução da Diretoria Colegiada
- SAAP – Subsistema de Abastecimento de Água Potável
- SBN – Sociedade Brasileira de Nefrologia
- SDATH – Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise
- STAH – Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise
- STDAH – Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise
- SUS – Sistema Único de Saúde
- TI – Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	12
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo Geral	13
1.2.2 Objetivos Específicos	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1 Hemodiálise	14
2.1.1 Osmose Reversa.....	15
2.1.2 Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise	16
2.2 Internet das Coisas	26
2.3 Protocolo MQTT	27
2.4 Aplicação Web.....	28
3 METODOLOGIA.....	30
3.1 Concepção do Projeto	30
3.2 Visão Geral do Projeto.....	31
3.3 Levantamento de Requisitos	32
3.4 Desenvolvimento do Protótipo	33
3.4.1 Hardware.....	36
3.4.2 Software	38
4 RESULTADOS	39
4.1 Protótipo	39
4.2 Testes	41
4.4 Implementação do Projeto	43
5 DISCUSSÃO	44
6 CONCLUSÕES	47
7 REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Um ser humano saudável possui dois rins, os quais se localizam na região posterior do abdômen. Cada um destes órgãos possui cerca de 1 milhão de néfrons, pequenas estruturas responsáveis por filtrar o sangue de substâncias tóxicas e formar a urina para eliminá-las [1].

Entretanto, algumas doenças como hipertensão e diabetes podem lesionar os néfrons, causando uma diminuição da função renal, algo que, além de silencioso, é irreversível. Quando a função renal diminui cerca de 85% de sua capacidade total, não sendo mais capaz de cuidar das necessidades de seu corpo, passa a ser necessário o processo de diálise, um tratamento que realiza algumas das funções de rins saudáveis [1, 2].

Segundo o Censo Brasileiro de Diálise, estima-se que em 2020, no Brasil, 144.779 pacientes faziam diálise; seja hemodiálise ou diálise peritoneal. Destes, 92,6% faziam hemodiálise, totalizando cerca de 134.065 pacientes [3].

A hemodiálise é um processo no qual, através de uma máquina, é feita parte do trabalho de um rim, ou seja, a limpeza e filtragem do sangue. De acordo com a Sociedade Brasileira de Nefrologia (SBN), este processo é indicado para pacientes que possuam insuficiência renal grave, seja ela aguda ou crônica [4].

Durante o processo da hemodiálise pouco a pouco o sangue do paciente é retirado de seu corpo, passando por uma máquina de hemodiálise, na qual este é filtrado e devolvido ao organismo.

Essa filtragem ocorre quando o sangue passa por um sistema que o separa da solução de diálise (dialisato) por uma fina membrana (dialisador), resultando na remoção de resíduos indesejados do sangue e excesso de fluidos do organismo para o dialisato. O líquido dialisato é composto por uma mistura de componente bicarbonato, componente ácido e água ultrapura [5].

O uso de água ultrapura no dialisato se deve para impedir que os pacientes adquiram possíveis infecções de microrganismos e outros componentes presentes na água. Para atingir tamanho nível de pureza, se faz necessário o processo da osmose reversa, técnica de purificação de água que faz uso de aplicação de pressão e membranas semipermeáveis para realizar o processo inverso ao da osmose natural [5, 6].

O Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU) possui hoje uma sala de tratamento de água, onde é produzida água ultra purificada para suprir as hemodiálises realizadas no Setor de Nefrologia, no entanto, como todo sistema elétrico e hidráulico, o maquinário realizador deste tratamento está sujeito a problemas, seja por desgastes naturais causados pelo tempo, por má utilização ou por outros motivos quaisquer.

Logo, este trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto e em tempo real de determinados parâmetros dessa sala, com a finalidade de prevenir problemas no maquinário responsável pelo tratamento da água.

1.1 Justificativa

Como brevemente exposto, a intenção deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento dos parâmetros que indicam o adequado funcionamento do Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise (STDAH) do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia. Isso porque falhas nesse sistema são frequentes e causam para o hospital não só um alto custo monetário para a sua manutenção, como um custo social maior ainda, uma vez que o custo da não realização de hemodiálises na vida dos pacientes que delas necessitam é imensurável.

Logo, a partir do sistema proposto será possível prevenir e alertar quaisquer problemas que dificultem ou impeçam a limpeza e purificação da água utilizada nos processos de hemodiálise dos pacientes do Setor de Nefrologia do HC-UFU, agilizando o tempo de descoberta de problemas no maquinário de tratamento da água e reduzindo o tempo levado para sua manutenção, o que possibilitará uma maior qualidade nos tratamentos dos pacientes do setor.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho conta como objetivo principal o desenvolvimento de um protótipo de um sistema de monitoramento em tempo real do funcionamento da sala do STDAH para ser usado pelos profissionais dos Setores de Nefrologia e Engenharia Clínica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Substituir os medidores de pressão, nível e condutividade da água manuais da sala do STDAH por sensores eletrônicos;
- Conectar esses sensores a um microcontrolador;
- Programar o microcontrolador para enviar os dados coletados pelos sensores à internet;
- Desenvolver um aplicativo web que receba os dados coletados;
- Criar uma interface de fácil utilização na qual serão disponibilizados os dados coletados ao usuário;
- Criar um sistema de alerta de falhas do STDAH para que os profissionais do Setor de Nefrologia possam tomar as devidas providências para com seus pacientes e para que os profissionais do Setor de Engenharia Clínica possam enviar de imediato uma equipe de manutenção para reparar qualquer problema;
- Criar um banco de dados que possa guardar os dados coletados e gerar uma planilha Excel para visualizações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Hemodiálise

A hemodiálise consiste em um processo no qual um paciente – que, por qualquer motivo, tenha perdido a maior parte de sua capacidade renal – tem seu sangue bombeado através de uma máquina de hemodiálise e uma membrana semipermeável (chamada de dialisador) para que sejam removidos de seu organismo: toxinas, excesso de sais e fluidos, e outros materiais residuais, além de controlar a pressão arterial [4, 7].

Para que esse processo possa ocorrer, é necessário antes realizar uma pequena cirurgia no paciente para criar um acesso vascular, o qual conectará o corpo desse à uma máquina de hemodiálise, e por onde será retirado e devolvido quase meio litro de sangue por minuto durante os tratamentos. O acesso pode ser uma fístula arteriovenosa (FAV), um enxerto arteriovenoso (EAV) ou um cateter de hemodiálise [4, 7].

Tanto a FAV quanto o EAV podem ser feitos no braço ou perna ao ligar uma veia a uma artéria – seja naturalmente (FAV) ou com auxílio de pequenos tubos (EAV) – no intuito de deixar esta junção mais resistente para as punções que ocorrem a cada tratamento de hemodiálise. Já o cateter de hemodiálise, se trata de um tubo posicionado em uma veia na virilha, tórax ou pescoço; porém, por este necessitar de ser comumente substituído devido a obstruções e infecções, acaba sendo usado como uma opção temporária aos pacientes que ainda não possuem uma FAV ou EAV [4, 8].

Para o paciente com FAV ou EAV, duas agulhas – ligadas a tubos que vão para a máquina de hemodiálise – são conectadas a seu acesso no início de cada tratamento. Já para o paciente com cateter, este é diretamente conectado aos tubos de diálise levando o sangue para a máquina [8].

Uma vez que o sangue sai do paciente e entra na máquina de hemodiálise, ele passa a ter contato com o dialisador. E do outro lado desta fina membrana semipermeável se encontra o dialisato. Por consequência dessa quase separação de fluidos, começa a ocorrer o processo de difusão, no qual moléculas em diferentes meios e concentrações tendem a serem transportadas da região de maior para menor

concentração. Logo, toxinas metabólicas e outros materiais saem do sangue em direção ao dialisato, e como os poros do dialisador estão na casa dos micrômetros, moléculas como proteínas e células sanguíneas permanecem no sangue, por serem grandes demais e não conseguirem passar pelos poros [9].

Na diálise, além do processo de difusão, ocorre também o de ultrafiltração, no qual a partir de um diferencial de pressão e de uma membrana semipermeável, macromoléculas são separadas da água. Logo, caso a pressão fora do dialisador seja maior do que a de seu interior, o excesso de água do corpo é removido do sangue para o dialisato pelo dialisador [9].

Na hemodiálise convencional, feita em hospitais e clínicas – em oposição a diária, que costuma ser feita em casa –, o procedimento de entrada do sangue concentrado de substâncias indesejáveis na máquina de hemodiálise e retornando ao corpo sem tais substâncias, assim como, do outro lado do dialisador, o dialisato entrando “limpo” na máquina de hemodiálise e saindo carregando as impurezas do sangue e o excesso de líquidos do corpo é continuamente repetido, durante pelo menos 4 horas, 3 vezes por semana. Isso porque este é o tempo mínimo necessário que permite a remoção das toxinas e do excesso de fluidos sem causar sintomas desconfortáveis ao paciente; um tempo menor que este pode provocar instabilidade hemodinâmica, além de que o excesso de líquidos no sangue é uma alta causa de mortalidade em pacientes de hemodiálise [2, 10].

Além da importância que o tempo de tratamento tem na saúde do paciente, outro ponto essencial é a composição do dialisato, o qual é composto por uma mistura de produtos químicos – prescritos pelo médico nefrologista – e água ultrapura, esta que é obtida através do processo de osmose reversa [5, 7].

2.1.1 Osmose Reversa

A osmose é um processo natural no qual soluções aquosas, com diferentes concentrações de um soluto, separados por uma membrana semipermeável se movimentam de tal forma que a solução com a menor concentração se desloca em direção à com maior concentração, de modo que um equilíbrio de concentração de soluto entre os dois lados seja atingido [11].

Já a osmose reversa é um processo não natural, no qual, ao contrário da osmose, a solução com a maior concentração de um soluto se move em direção à de

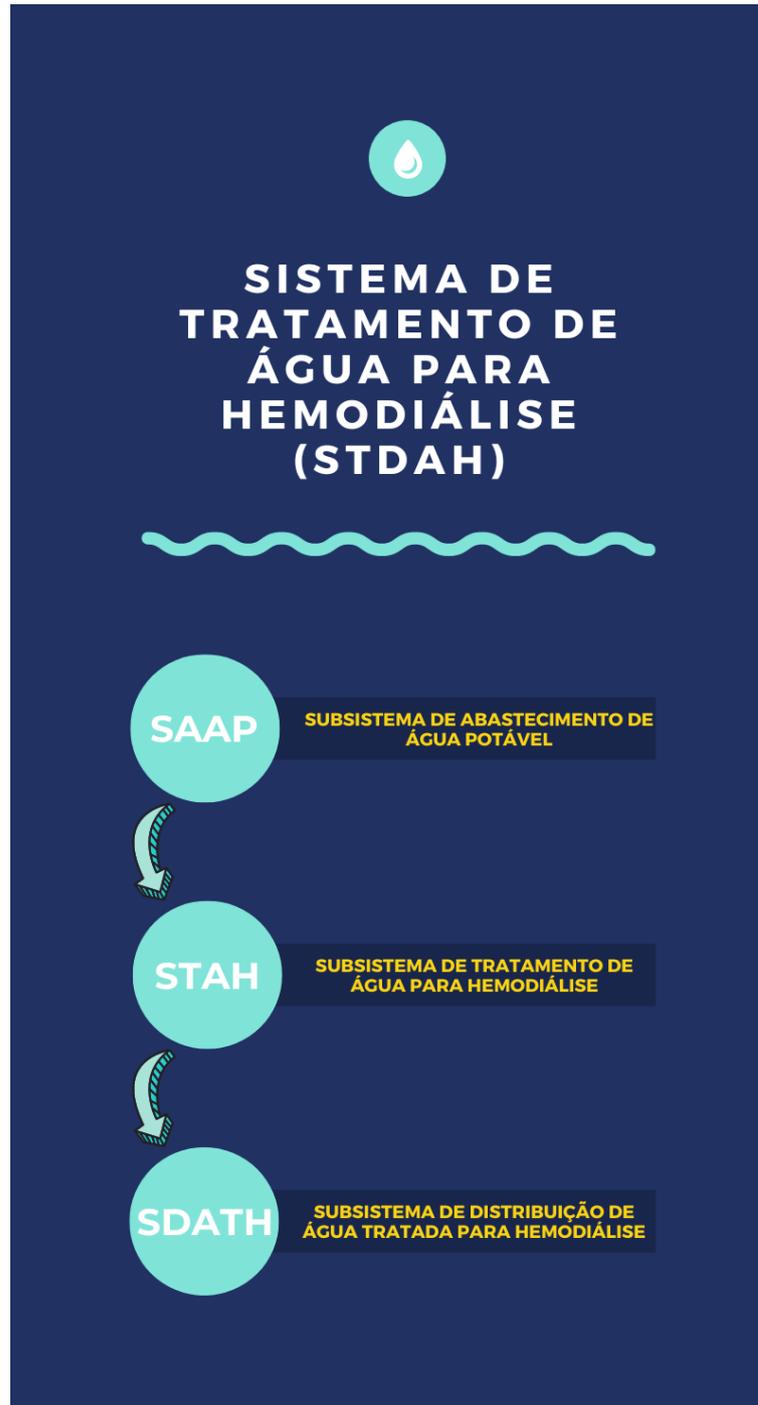
menor concentração. Para que isto ocorra, se faz necessária a aplicação de uma pressão – superior à pressão osmótica – no lado onde se encontra a solução mais concentrada, resultando na separação entre o soluto e o solvente; neste caso, a água ultrapura [6, 11].

As principais formas de tratamento de água para hemodiálise são a osmose reversa e a deionização. Entretanto, a osmose reversa é preferida devido a: ter custos de operação e equipamento mais baratos; produzir água com um nível maior de pureza; ser capaz de reter bactérias; e, ser mais prática, uma vez que pode ser feita em equipamentos portáteis ou em um sistema estacionário próprio (o STDAH) – abastecendo grandes reservatórios com água ultrapura – de hospitais e clínicas especializadas de hemodiálise [11].

2.1.2 Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise

O STDAH é, de acordo com a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) N° 11/2014, o sistema responsável por tratar a água utilizada em procedimentos hemodialíticos, ou seja, é o conjunto de técnicas e processos de tratamento de água que vão desde seu ponto de abastecimento até sua distribuição para sessões de hemodiálise [12].

O STDAH é, conforme demonstrado pelo infográfico da Figura 1, composto por três agrupamentos: o Subsistema de Abastecimento de Água Potável (SAAP), o Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise (STAH) e o Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise (SDATH) [12].

Figura 1 – Infográfico do STDAH

Fonte: Autoria Própria. Confeccionada pelo site Canva [13]

O primeiro subsistema, o SAAP, apresentado na Figura 2, é responsável por receber a água bruta proveniente do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Uberlândia dentro da sala do STDAH, e bombeá-la em direção ao segundo subsistema.

Figura 2 – Subsistema de Abastecimento de Água Potável do STDAH do HC-UFU



Fonte: Autoria Própria

Na Figura 2, as setas em vermelho representam o caminho que a água bruta vinda do DMAE faz em direção a duas bombas responsáveis por bombeá-la para o STAH, e as setas em azul indicam o caminho que a água faz após ser bombeada.

O segundo subsistema, o STAH, apresentado na Figura 3, é responsável por tratar a água recebida do SAAP e armazená-la.

Figura 3 – Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise do STDAH do HC-UFU



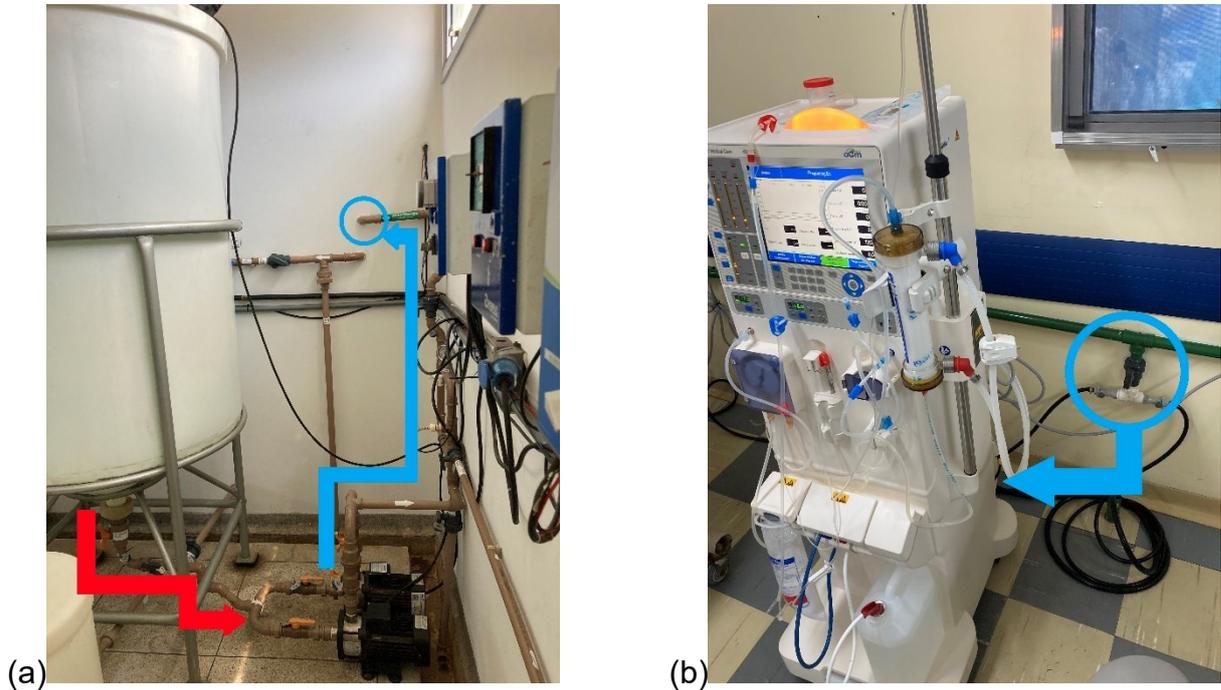
Fonte: Autoria Própria

Na Figura 3, da direita para a esquerda, os retângulos vermelhos representam as 4 partes nas quais o Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise se divide, e a ordem pela qual a água passa por eles.

A água que vem do SAAP ao entrar no STAH, passa primeiro pelo pré-tratamento da água (retângulo 1), o qual é composto por uma série de filtros; em seguida, a água entra na seção de tratamento da água (retângulo 2), composta pelo sistema de osmose reversa; então, ela tem sua condutividade medida pelo condutivímetro da direita (retângulo 3); e por fim, ela chega ao tanque de armazenagem de água tratada (retângulo 4).

O terceiro subsistema, o SDATH, apresentado nas Figuras 4(a) e 4(b), é responsável por recircular a água tratada 24 horas por dia, em um looping entre o tanque de armazenagem e o salão onde se encontram as máquinas de hemodiálise e são realizadas as sessões de tratamento hemodialítico [14]. Esta água que fica em looping também tem sua condutividade medida, pelo condutivímetro da esquerda apresentado no retângulo 3 da Figura 3.

Figura 4 – (a) Início e (b) Final do Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise do STDAH do HC-UFU



Fonte: Autoria Própria

Nas Figuras 4(a) e 4(b), há o SDATH, ou seja, a distribuição da água do tanque de armazenagem para os postos de utilização, sendo que a seta vermelha representa o caminho que a água tratada faz saindo do tanque de armazenagem em direção a duas bombas, responsáveis por bombeá-la para o salão onde são realizadas as sessões de hemodiálise, e a seta azul indica o caminho que a água faz após ser bombeada.

O círculo na primeira figura indica o caminho que a tubulação da água faz saindo da sala do STDAH e indo em direção ao salão de hemodiálise, já o círculo na segunda imagem representa a chegada da tubulação da água no salão, e a seta azul mostra o caminho final da água, entrando em uma máquina de hemodiálise.

Nas Figuras 5 a 7 pode-se ver o salão onde são realizadas as sessões de hemodiálise.

Figura 5 – Salão de Hemodiálise do HC-UFU, parte 1 de 3



Fonte: Autoria Própria

Figura 6 – Salão de Hemodiálise do HC-UFU, parte 2 de 3



Fonte: Autoria Própria

Figura 7 – Salão de Hemodiálise do HC-UFU, parte 3 de 3



Fonte: Autoria Própria

Tendo em mente que o objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de monitoramento dos parâmetros que permitem verificar o funcionamento adequado do tratamento de água realizado pelo STDAH, é importante destacar que a maioria desses parâmetros se encontram no Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise. Por esse motivo, nas Figuras 8 a 11 há um maior detalhamento do STAH.

Figura 8 – Pré-Tratamento da Água do STAH do HC-UFU



Fonte: Autoria Própria

A primeira parte do Subsistema de Tratamento de Água para Hemodiálise, como mostrado na Figura 8, é o pré-tratamento, o qual possui, da direita para a esquerda:

- O filtro de profundidade, responsável por reter partículas sólidas;
- O filtro abrandador, responsável por realizar uma troca iônica de cálcio e magnésio por sódio, tratando a dureza da água;
- O filtro de carvão ativado, responsável por reter cloro e substâncias químicas orgânicas;
- O tanque de salmoura, responsável por diluir o sal usado no filtro abrandador;
- O filtro PP de 5 micra, responsável por reter partículas sólidas de até 5 μm ;
- O ultrafiltro de 0,01 micra, responsável por reter partículas sólidas de até 0,01 μm .

Após a água passar por essa série de filtros do pré-tratamento, ela entra no sistema de osmose reversa, apresentado na Figura 9, responsável por realizar um maior nível de purificação dessa.

Figura 9 – Sistema de Osmose Reversa do STAH do HC-UFU



Fonte: Autoria Própria

Ao sair do sistema de osmose reversa, a água tratada tem sua condutividade medida e exposta pelo mostrador de condutividade de água que se encontra à direita na Figura 10. Já o mostrador da esquerda expõe os valores de condutividade da água que se encontra em looping entre o tanque de armazenagem e os postos de utilização no salão de hemodiálise.

Figura 10 – Mostradores de Condutividade do STAH do HC-UFU



Fonte: Autoria Própria

Por fim, após passar pelo pré-tratamento e tratamento, a água chega ao tanque de armazenagem de água tratada, apresentado na Figura 11, responsável por manter a água tratada que será usada para a realização de procedimentos hemodialíticos.

Figura 11 – Tanque de Armazenagem de Água Tratada do STAH do HC-UFU



Fonte: Autoria Própria

Logo, para a realização dos objetivos especificados na Seção 1.2.2 deste documento, pretende-se: substituir os manômetros mecânicos presentes na Figura 8 por sensores eletrônicos, adquirir os dados do mostrador de condutividade que se encontra à esquerda na Figura 10 e incluir um sensor de nível de água no tanque de armazenagem da Figura 11. Isso porque a leitura dessas informações atualmente é feita de forma manual, uma vez por dia; enquanto com o sistema aqui proposto, a realização dessa atividade será de maneira remota e com atualizações constantes, alertando qualquer intercorrência percebida nos sinais monitorados.

2.2 Internet das Coisas

O termo Internet das Coisas, ou *Internet of Things* (IoT), foi usado pela primeira vez em 1999, pelo pesquisador Kevin Ashton, o qual afirmou que se os computadores fossem capazes de coletar dados e informações por conta própria, sem as limitações dos seres humanos, se tornaria possível que eles rastreassem e coletassem qualquer informação, com custos reduzidos e evitando desperdícios [15].

E é exatamente isso que a IoT é hoje em dia, um sistema de dispositivos conectados à internet, capazes de transferir dados entre si sem a necessidade de interação humana. De uma forma mais detalhada, pode-se abordar o conceito de Ecossistema IoT, que se trata de um ambiente composto por dispositivos inteligentes, conectados à internet e que utilizam sistemas incorporados, como processadores, sensores e hardware de comunicação para coletar, processar e enviar – através de um protocolo de comunicação – os dados que adquirem [16].

Trazendo o conceito de Ecossistema IoT à realidade deste trabalho, temos que o ambiente em questão é o Subsistema de Distribuição de Água Tratada para Hemodiálise da sala do STDAH do Setor de Nefrologia do HC-UFU; e o dispositivo inteligente aqui proposto, se trata do conjunto de sensores posicionados na sala e conectados ao ESP32 – este que é um microcontrolador com Wi-Fi integrado.

Dessa forma, os dados coletados pelos sensores são processados pelo ESP32 e por ele enviados, via internet pelo protocolo de comunicação MQTT, para a aplicação web desenvolvida, a qual possui o intuito de apresentar os dados ao usuário, eliminando a necessidade deste de ir diariamente à sala do STDAH para realizar as medições dos valores, além de enviar alertas caso algum parâmetro esteja inadequado.

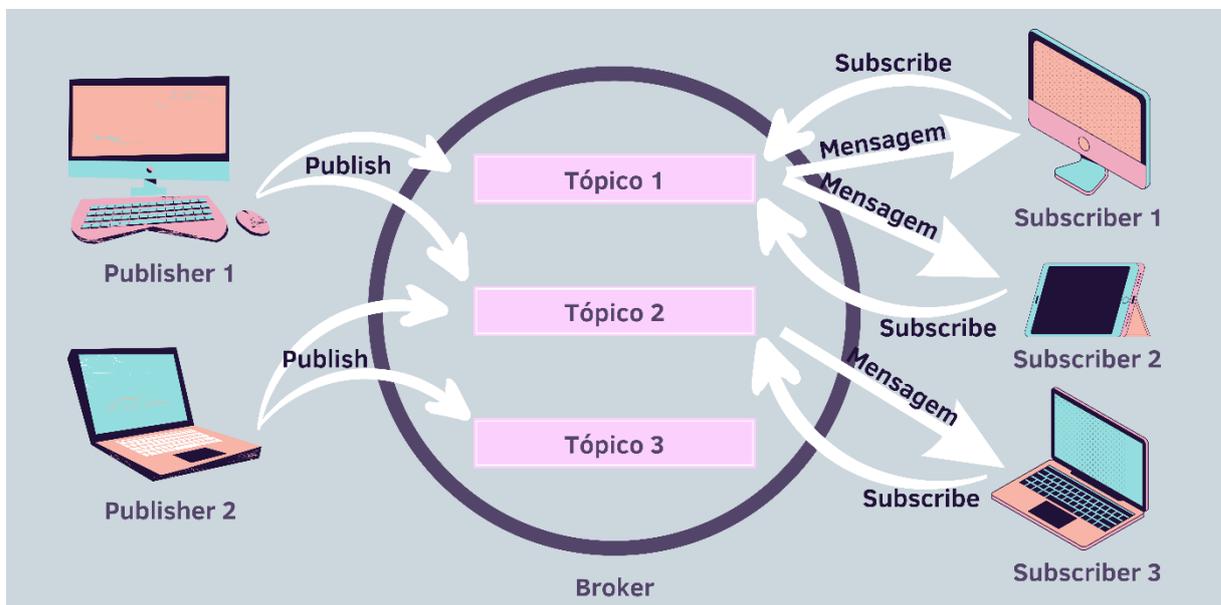
2.3 Protocolo MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport* ou, em português, Transporte de Telemetria de Enfileiramento de Mensagens) é um protocolo de comunicação baseado na comunicação entre clientes e servidores por meio do padrão arquitetural *publish/subscribe* (ou *pub/sub*) [17].

Neste protocolo, o cliente pode tanto publicar (*publish*) quanto se inscrever (*subscribe*) em tópicos para receber mensagens. Já o servidor (*broker*) é responsável por organizar os dados que são recebidos e enviados. Ou seja, os diferentes clientes que agem como *publishers* e *subscribers* não interagem diretamente, cada um entra em contato apenas com o *broker*, que separa as mensagens publicadas em cada tópico e as destina para os clientes que neles se inscreveram [17].

O infográfico da Figura 12, demonstra o funcionamento do protocolo MQTT, através de um exemplo de aplicação, no qual 5 clientes, divididos em dois *publishers* e três *subscribers* enviam e recebem mensagens de um *broker* contendo três tópicos.

Figura 12 – Infográfico do Protocolo MQTT



Fonte: Autoria Própria. Confeccionada pelo site Canva [13]

Neste exemplo, de um lado há o *publisher 1*, que publica suas mensagens nos tópicos 1 e 2, e o *publisher 2*, que publica suas mensagens nos tópicos 2 e 3. Já do outro lado estão os *subscribers 1* e *2*, inscritos no tópico 1, e o *subscriber 3*, inscrito no tópico 2. Enquanto isso, no centro da figura, está o *broker*, que organiza as

informações publicadas em cada tópico e as envia para cada um dos clientes neles inscritos.

Ainda sobre o exemplo citado, os *subscribers* 1 e 2 estão recebendo do *broker* todas as mensagens publicadas pelo *publisher* 1, e o *subscriber* 3 recebe todas as mensagens publicadas pelos *publishers* 1 e 2; caso houvesse um *subscriber* 4 e este estivesse inscrito no tópico 3, ele receberia do *broker* apenas as mensagens publicadas pelo *publisher* 2.

Em relação ao desenvolvimento de aplicações IoT, o MQTT é tido como uma boa opção de protocolo devido à sua fácil implementação, envio de informações pequenas, baixo consumo de memória e de banda e, baixa necessidade de processamento para o envio de mensagens [17].

No contexto deste trabalho, tanto os sensores quanto a aplicação web são clientes, os primeiros sendo do tipo *publisher* – publicando no servidor os dados coletados pelos sensores após processá-los – e o segundo do tipo *subscriber* – recebendo do servidor os dados aos quais está inscrito. Já o *broker* escolhido foi o Mosquitto [18], em função de sua facilidade de uso e conteúdo disponível na web, uma vez que se trata de uma tecnologia *open source*.

2.4 Aplicação Web

Uma aplicação web é um tipo de aplicativo que opera online, ou seja, não requer instalação e é executado diretamente no navegador, além de rodar em diferentes dispositivos, plataformas e sistemas operacionais. Pode ser visto também como um website com maiores funcionalidades e com elementos interativos [19].

São necessários em uma aplicação web: um servidor web, que gerencia o conteúdo estático da página solicitado pelo usuário; e, um servidor de aplicação, que realiza as tarefas solicitadas pelo usuário fornecendo um conteúdo dinâmico e que depende da solicitação feita. Além disso, a aplicação web pode também contar com um banco de dados, caso seja desejado armazenar alguma informação [19, 20].

Além desses conceitos, em uma aplicação web existem dois tipos de desenvolvimento, um para o lado do cliente chamado de *client-side* ou *front-end*, e o outro para o lado do servidor, chamado de *server-side* ou *back-end* [21].

O desenvolvimento *front-end* tem como foco o lado do cliente, sendo um estilo de programação que garante a funcionalidade dos elementos visuais da página web,

ou seja, é responsável pela interface do usuário. A programação utilizada para seu desenvolvimento é processada apenas pelo navegador do cliente, e não pelo servidor [21].

Já o desenvolvimento *back-end* tem suas funções executadas pelo servidor, não sendo acessíveis para o cliente. É focado nas ações de uma página web que não podem ser vistas pelo usuário, como por exemplo: o código que permite o funcionamento da aplicação, os processos que permitem a página ser interativa, a organização e armazenamento de dados etc. Além disso, o *back-end* também garante o bom funcionamento do *front-end* [21].

Logo, essencialmente, o *front-end* se trata da página web e dos elementos que o usuário vê e interage, e o *back-end*, dos mecanismos que permitem que tais elementos e interações ocorram e/ou sejam visualizados. O que não seria diferente no que se refere a este projeto.

3 METODOLOGIA

3.1 Concepção do Projeto

O HC-UFU, como o hospital de grande porte que é, conta com uma sala para o STDAH, na qual gera água ultrapura para alimentar as sessões de hemodiálise de seu Setor de Nefrologia, no entanto, o tempo médio entre as falhas do maquinário dessa sala é relativamente curto, algo que observei em meu tempo como estagiário do Setor de Engenharia Clínica da instituição.

Ao perceber essa questão das falhas, busquei mais informações sobre o sistema com os profissionais da Engenharia Clínica e Nefrologia, descobrindo que o salão de hemodiálise da Nefrologia tem um total de 64 pacientes frequentes, que vão de duas a três vezes por semana, e diariamente 32 são atendidos, divididos entre os turnos da manhã e da tarde, e com previsão de abertura de um turno da noite para a inclusão de ainda mais pacientes. No entanto, uma informação que se destacou foi a que o sistema requer manutenções corretivas, em média, a cada 19 dias, um tempo relativamente muito curto para um equipamento tão importante para a saúde de tantos pacientes.

Na ocorrência dessas falhas no STDAH, as enfermeiras devem ir até a sala de máquinas verificar o problema, além de acionar o corpo técnico da Engenharia Clínica sobre o ocorrido; e, dependendo da falha e tempo estimado para seu reparo, há a interrupção das sessões, reagendamento para o outro dia mais próximo possível ou até mesmo o encaminhamento dos pacientes para realizarem o tratamento, custeado pelo SUS (Sistema Único de Saúde) em clínicas particulares de hemodiálise.

Porém, os impactos que uma falha no STDAH pode acarretar à saúde dos pacientes são preocupantes, pois caso uma sessão de hemodiálise atrase ou seja cancelada, os pacientes podem vir a ter arritmias cardíacas, edemas agudos de pulmão, e até mesmo virem ao óbito.

Por esses motivos decidi iniciar este projeto, que se faz tão importante devido à adição ao STDAH de um sistema que conte com alertas de falhas de seus parâmetros, possibilidade de monitoramento online em tempo real e histórico dos parâmetros monitorados. Pois isso traria benefícios não só para o Setor de Engenharia Clínica, para os pacientes e profissionais da saúde do Setor de Nefrologia,

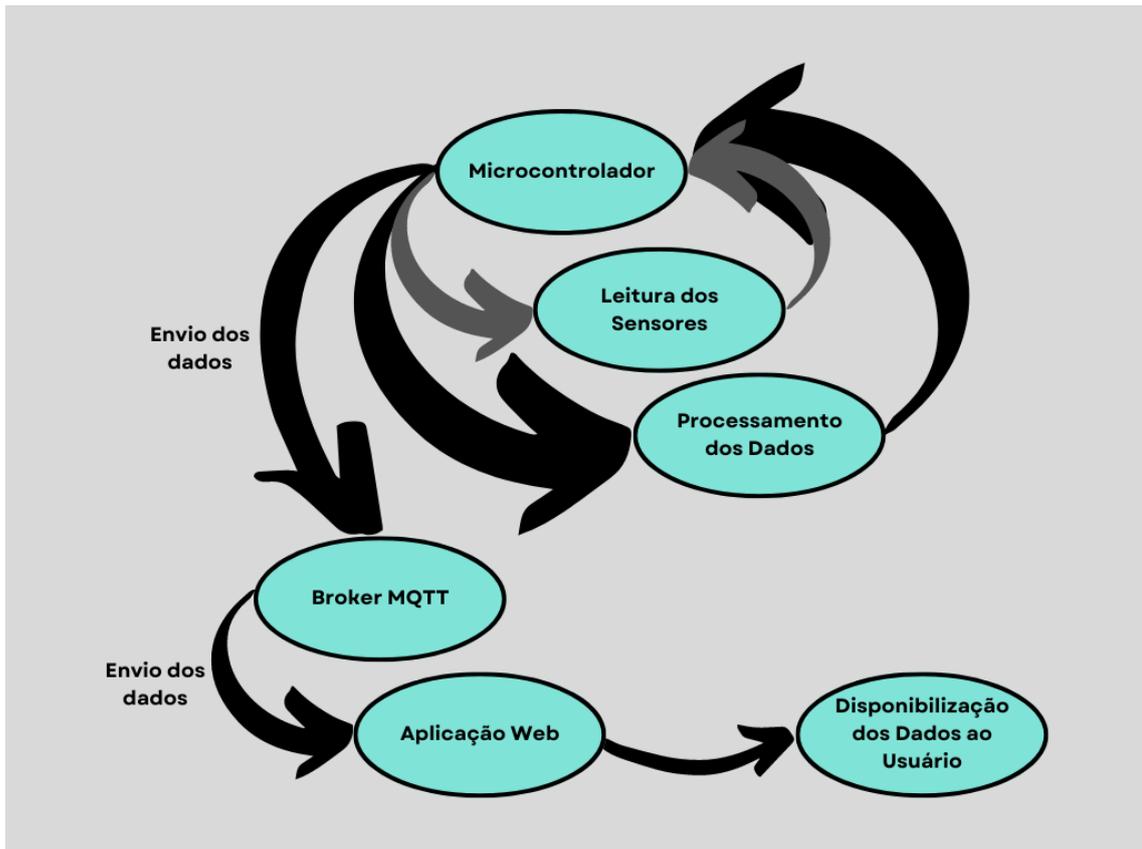
mas para o hospital como um todo, uma vez que permitiria um aumento da velocidade de manutenção, a ponto de evitar que o sistema pare e que seja necessário dispensar os pacientes, a possibilidade de realização de manutenções preventivas e preditivas, reduzindo a necessidade de manutenções corretivas, e, um maior nível de qualidade e constância do tratamento de água, garantindo uma maior segurança e saúde aos pacientes. Sem contar que menos manutenções corretivas no maquinário do STDAH resultaria em uma economia de: água, peças, vida útil do equipamento e, em casos mais extremos, necessidade de abertura de chamados para manutenção externa com a empresa fornecedora de tal maquinário.

3.2 Visão Geral do Projeto

Para atingir o objetivo aspirado pelo projeto, pretende-se instalar sensores eletrônicos que captem os valores de pressão e nível da água em alguns pontos específicos da STDAH e recolher os valores de um dos condutivímetros, enviar estes dados via internet a um *broker* MQTT e, receber tais informações em uma aplicação web de fácil utilização que também será desenvolvida e que deverá ser acessada pelos profissionais dos Setores de Nefrologia e Engenharia Clínica.

Após o problema ter sido identificado e uma possível solução imaginada, foi possível desenvolver a máquina de estados para a central de monitoramento do STDAH, apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Máquina de Estados da Central de Monitoramento do STDAH



Fonte: Autoria Própria. Confeccionada pelo site Canva [13]

Em seguida, duas etapas foram fundamentais para o desenvolvimento do projeto: o levantamento de requisitos e a elaboração do protótipo.

3.3 Levantamento de Requisitos

Para confirmar a necessidade de uma central de monitoramento do STDAH, foram realizadas reuniões com os gestores e com o corpo técnico de manutenção do Setor de Engenharia Clínica do HC-UFU, e com enfermeiras do Setor de Nefrologia.

Sendo expresso por esses profissionais que com um sistema de monitoramento constante e em tempo real do STDAH, tornaria possível aumentar o tempo médio entre falhas através da realização de manutenções preditivas, e até evitar a ocorrência de falhas graves, como vazamentos, panes elétricas e contaminação do sistema; todas passíveis de interromper a produção de água.

Logo, confirmada a necessidade do projeto, e a partir das informações obtidas, foram levantados os requisitos funcionais necessários para a criação de uma central

de monitoramento do Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise do HC-UFU:

- Mostrar em uma página web, de forma simples, os valores de pressão, nível e condutividade da água;
- A página deve alertar caso algum dos parâmetros monitorados exceda seu valor limitante;
- A página deve ter um banco de dados que guarde os valores coletados e permita gerar uma planilha Excel para visualizações futuras.

Partindo dos requisitos funcionais, foram elaborados os requisitos não funcionais:

- Desenvolver um circuito conectando os sensores eletrônicos ao microcontrolador;
- Programar o microcontrolador para processar os dados dos sensores e enviá-los a um *broker* MQTT;
- Desenvolver uma página web que receba e exiba os valores do *broker* MQTT;
- Conectar o microcontrolador a uma fonte de energia;
- Conectar o microcontrolador a uma rede Wi-Fi.

3.4 Desenvolvimento do Protótipo

Levantados os requisitos e definidos os parâmetros a serem monitorados, foram tidas outras reuniões com o corpo técnico de manutenção da Engenharia Clínica e com um dos engenheiros da Ipabras, empresa responsável pelo maquinário da sala do STDAH do HC-UFU, para assim estabelecer quais os limites adequados de operação dos parâmetros monitorados. Os dados repassados por esses profissionais foram que na sessão de pré-tratamento, a queda de pressão da água antes e depois de passar por um dos filtros nunca pode ser superior a $0,5\text{kgf/cm}^2$, pois isso poderia indicar algum vazamento tanto no filtro como no encanamento, o tanque de armazenagem não pode conter menos de 250L de água, pois isso poderia resultar em falta d'água nos motores que a bombeiam para o looping, podendo queimá-los, e, que o condutivímetro responsável por medir a condutividade da água que fica em looping entre o tanque de armazenagem e os postos de utilização não pode ter valor

superior a $10\mu\text{S}/\text{cm}$, pois isso significaria que a água utilizada nas sessões de hemodiálise está com excesso de impurezas, podendo indicar a existência de problemas nos filtros e/ou na osmose reversa e, até mesmo, uma contaminação do sistema.

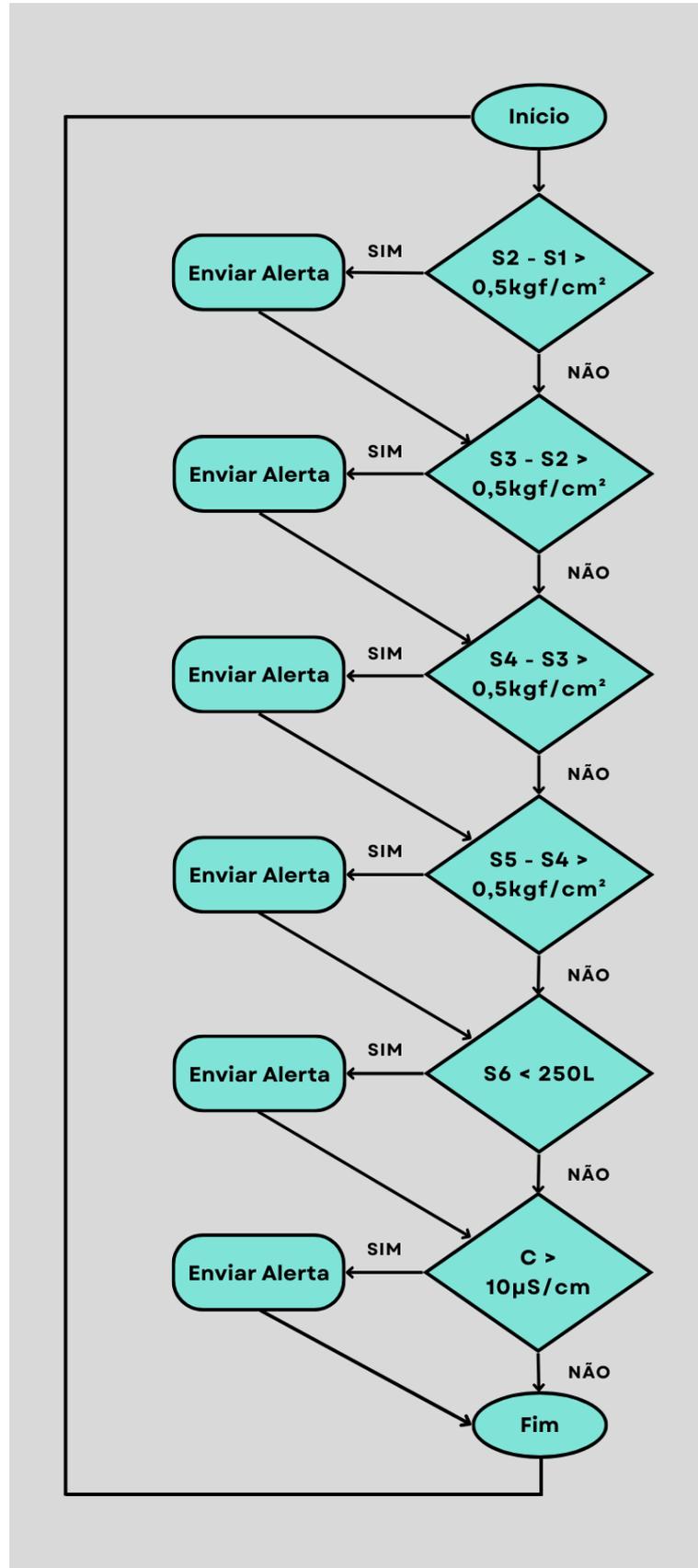
Com todos esses dados em mãos, pôde-se montar o fluxograma da Figura 14, que indica que as pressões do pré-tratamento, o nível de água e a condutividade são continuamente monitorados, e alertam a cada vez que um dos parâmetros se apresenta inadequado.

No fluxograma (Figura 14), S1 a S5 representam os sensores eletrônicos de pressão da água que seriam colocados para substituir os manômetros mecânicos existentes na sala do STDAH, de forma que:

- S1 representa o sensor de pressão de entrada de água bruta no SAAP;
- S2 representa o sensor de pressão da água entre os filtros de profundidade e abrandador;
- S3 representa o sensor de pressão da água entre os filtros abrandador e de carvão ativado;
- S4 representa o sensor de pressão da água entre os filtros de carvão ativado e de 5 micra;
- S5 representa o sensor de pressão da água entre a saída do pré-tratamento e a entrada da osmose reversa.

Já S6 representa uma sonda ultrassônica que seria introduzida no tanque de armazenagem de água tratada para medir seu nível de água, e C o valor obtido através do condutímetro referente à condutividade da água que fica em looping entre o tanque e os postos de utilização.

Vale ressaltar que embora a Figura 10 retrate a existência de dois condutímetros na sala do STDAH atualmente, no período em que este projeto foi iniciado apenas um deles existia, e por isso apenas um deles está sendo levado em consideração no desenvolvimento do projeto.

Figura 14 – Fluxograma dos Parâmetros a Serem Monitorados

Fonte: Autoria Própria. Confeccionada pelo site Canva [13]

Com o fluxograma finalizado, pôde-se dar início ao desenvolvimento do protótipo.

3.4.1 Hardware

A fase de prototipação, a nível de hardware, se iniciou com a escolha do microcontrolador a ser utilizado, o ESP32 modelo DevKit v1. O qual se trata de uma placa de desenvolvimento que fornece conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrados, e possui baixo consumo de energia, além de contar com alta disponibilidade no mercado, custo acessível e ser de fácil utilização. Características que o tornam ideal para projetos envolvendo Internet das Coisas.

A IDE (*Integrated Development Environment*/Ambiente de Desenvolvimento Integrado) utilizada para a programação do ESP32 foi o software Arduino [22] usando linguagem de programação baseada em C++, como se é de costume na programação de um microcontrolador Arduino, isso porque a Espressif Systems (empresa responsável pelo desenvolvimento das placas ESP) adicionou em seus produtos compatibilidade com a linguagem e software do Arduino.

Definido o ambiente e a linguagem de programação para o ESP32, deu-se início à montagem de um circuito em protoboard e à escrita de seu código, para juntos, poderem ser realizados testes de funcionamento.

Para simular o funcionamento dos sensores de pressão e nível da água conectou-se ao ESP32 um potenciômetro com resistência de 50k Ω para que, após tratado seu sinal por meio da placa, pudesse reproduzir uma alteração analógica de seus valores tal qual os sensores reais o fariam.

Já para o condutivímetro, pretendia-se conectá-lo ao ESP32 para que seus valores de condutividade pudessem ser diretamente coletados pelo microcontrolador, o que para ser feito seria necessário ter o circuito eletrônico e as especificações do dispositivo. Então, após buscar por este material na biblioteca de manuais dos equipamentos do hospital e conversar com os técnicos de manutenção do Setor de Engenharia Clínica, foi descoberto não haver tais documentos no hospital.

Assim sendo, foi entrado em contato com o engenheiro da Ipabras, o qual enviou os documentos referentes ao condutivímetro, no entanto, junto com a revelação de que o equipamento não possui saída 4-20mA; a qual seria necessária para a coleta dos valores analógicos de condutividade com o ESP32.

Após este pequeno percalço, e com base nos documentos recebidos do engenheiro da Ipabras, surgiu a ideia de utilizar a saída relé do condutivímetro para obter um valor digital indicando se a condutividade estava dentro ou fora de seus limites.

Logo, para simular o relé do condutivímetro foi adicionado ao circuito montado em protoboard um mini interruptor liga e desliga, para que pudesse reproduzir uma alteração digital referente à extrapolação dos valores de condutividade da água que sai do tanque de armazenagem para o looping.

Feito tudo isso, o circuito de hardware já estava pronto, sendo necessário escrever no ESP32 um código que o conectasse à internet para permitir captar os valores do interruptor e do potenciômetro e os processar para que simulassem valores reais e, por fim, os enviar via Wi-Fi a um *broker* MQTT.

A escrita do código se iniciou pela obtenção e tratamento de dados, em seguida, foi adicionada uma variável de contagem de tempo e definida uma taxa de atualização de dados a cada 5 segundos – tempo escolhido para permitir uma rápida atualização dos valores, permitindo uma maior realização de testes em um curto espaço de tempo – e, então, foi sincronizado o ESP32 com a data e horário locais, via internet, para identificar o instante de cada medição. Após carregar o código na placa, o circuito pôde ser testado no monitor serial da IDE do Arduino, conferindo se os valores se modificavam a cada 5 segundos com as alterações feitas nas posições do potenciômetro e do interruptor.

Para finalizar a programação do hardware, foram incluídas no código as bibliotecas “WiFi.h” e “PubSubClient.h”, as quais são responsáveis, respectivamente, pela configuração e conexão do ESP32 a redes Wi-Fi e pelo envio de dados via protocolo MQTT a um *broker*. Para testar esta parte, foram utilizados os softwares MQTTLens [23] e MQTTBox [24], que se conectam a *brokers* MQTT e recebem mensagens que a eles foram enviadas, podendo assim conferir o recebimento dos dados enviados, via Wi-Fi, pelo ESP32. O *broker* escolhido, tanto para os testes como para o desenvolvimento do projeto foi o Mosquitto, em função de sua facilidade de utilização e disponibilidade de uso gratuito.

Terminados os testes com o protótipo de hardware, o circuito no protoboard foi desfeito e remontado em uma placa, e com isso, foi finalizada a parte de prototipação a nível de hardware.

3.4.2 Software

A fase de prototipação, a nível de software, consistiu no desenvolvimento da aplicação web e sua integração com o hardware. A programação dessa parte do projeto foi feita utilizando como IDE o software Atom [25] e se dividiu em 2 etapas: *front-end* e *back-end*.

A parte de *front-end* foi feita utilizando HTML (*HyperText Markup Language*/Linguagem de Marcação de Hipertexto) e CSS (*Cascading Style Sheets*/Folha de Estilo em Cascatas) como linguagens de programação. O HTML sendo responsável pela adição dos elementos à página e o CSS, pela ordenação e estilização tanto dos elementos como da própria página.

Já parte de *back-end* foi feita utilizando JavaScript (JS) como linguagem de programação e se iniciou com a inclusão da biblioteca “paho-mqtt.js”, a qual permite que a aplicação web se comunique via protocolo MQTT, tornando possível a escrita de um código que recebe na aplicação os dados enviados pelo *broker*. Importante mencionar que o código do *back-end*, embora escrito em JS, foi feito no interior do arquivo HTML.

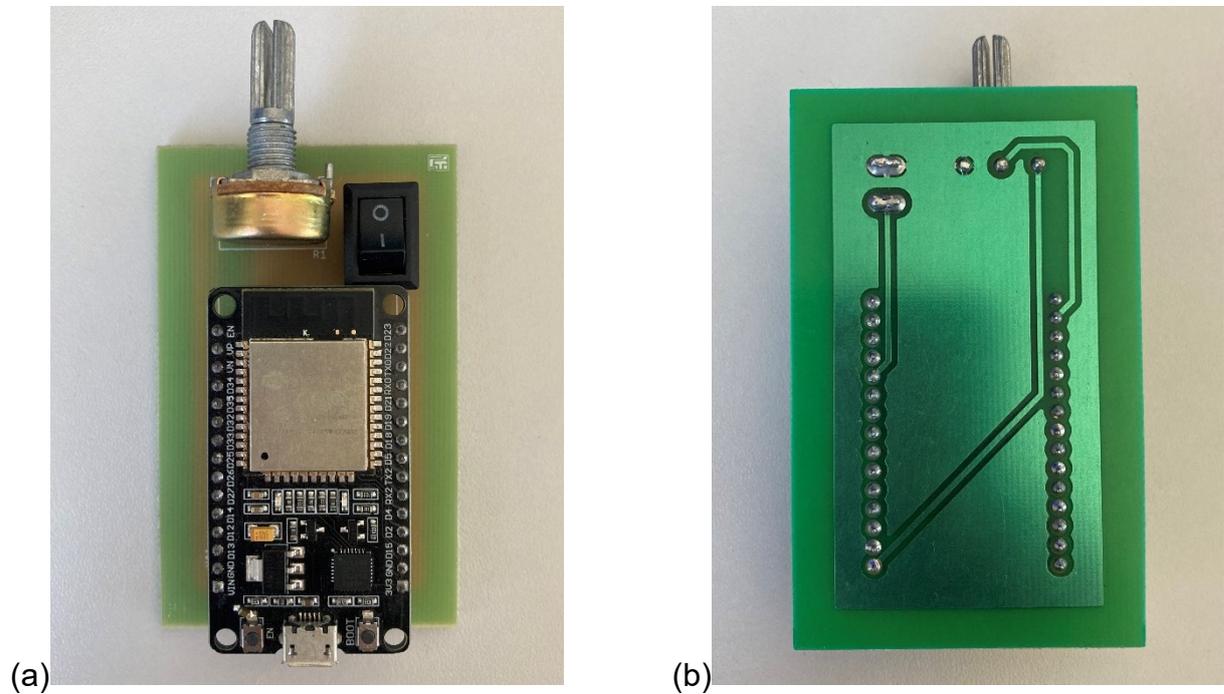
Na tela principal da aplicação web foi desenvolvida uma tabela contendo uma coluna mostrando os valores de pressão da água, simulado pelo potenciômetro, e de condutividade, simulado pelo mini interruptor, e uma outra coluna mostrando os limites adequados de operação desses sensores. Além disso, a tabela conta com o instante em que a medição foi feita, e com uma alteração de cor dos parâmetros medidos, alterando o fundo da célula da tabela para vermelho no caso de uma extrapolação dos valores adequados, como forma de simulação dos alertas.

4 RESULTADOS

4.1 Protótipo

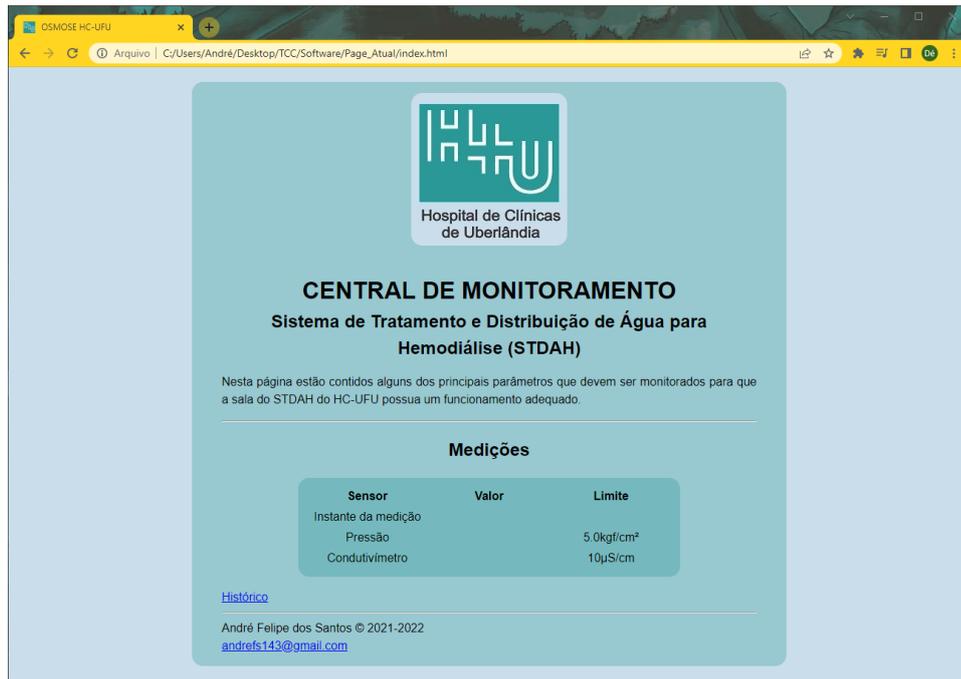
Como mencionado na Seção 3.4, inspirado no fluxograma, o protótipo foi desenvolvido dividido em duas partes: hardware, montado em uma placa (Figura 15); e software, para o qual foi feita uma aplicação web, com uma tela para a central de monitoramento (Figura 16) e uma outra para o histórico (Figura 17).

Figura 15 – Faces (a) Frontal e (b) Posterior do Protótipo de Hardware



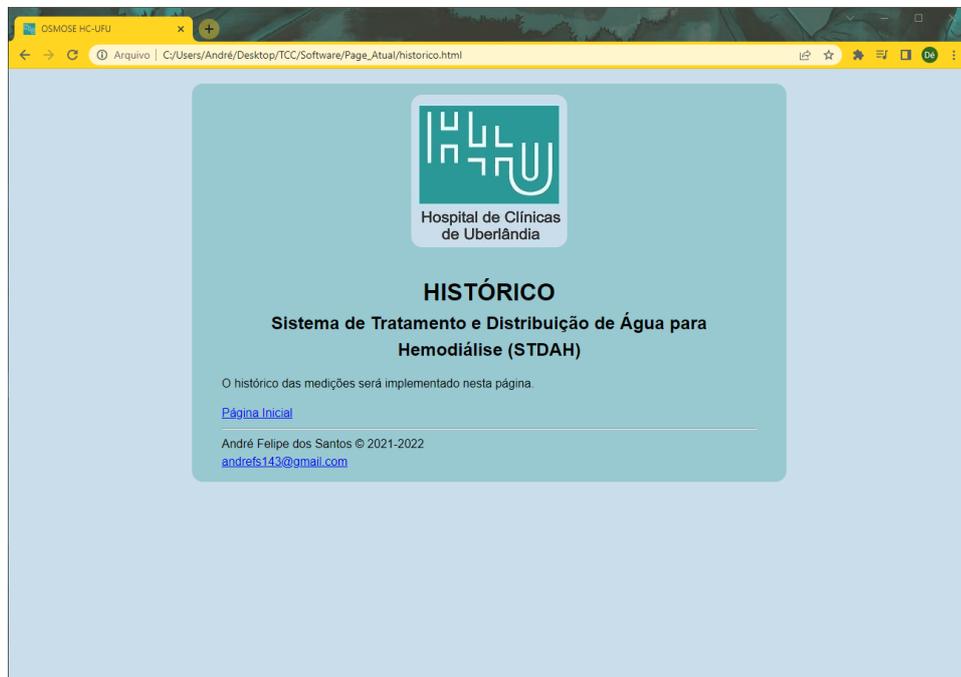
Fonte: Autoria Própria

Figura 16 – Tela de Monitoramento da Aplicação Web



Fonte: Autoria Própria

Figura 17 – Tela de Histórico da Aplicação Web



Fonte: Autoria Própria

Após a junção de hardware e software em um único protótipo, pretendia-se então elaborar a parte de histórico da aplicação web, no entanto, essa parte não pôde

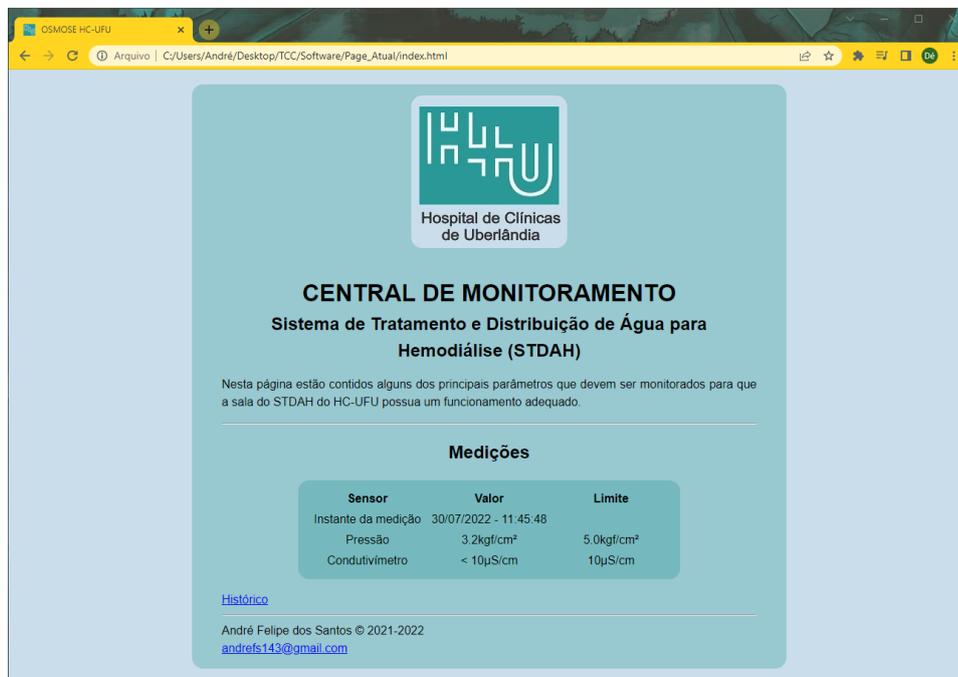
ser concluída pois ao longo de seu desenvolvimento descobriu-se não ser possível implementar um banco de dados em JS de dentro de um arquivo HTML, e nem criar o banco de dados em outro arquivo e chamá-lo pelo arquivo HTML.

Isso forçou a alteração da linguagem de programação de um arquivo HTML com JS em seu interior e chamando um arquivo CSS, para um arquivo JavaScript utilizando Node.js [26] como ambiente de execução, e chamando em seu interior o arquivo HTML. Logo, devido à alteração das estruturas das linguagens de programação, e devido ao Node.js ser um ambiente de execução com o qual não estou familiarizado, não foi possível refazer a aplicação web e desenvolver um banco de dados dentro do limite de tempo deste projeto.

4.2 Testes

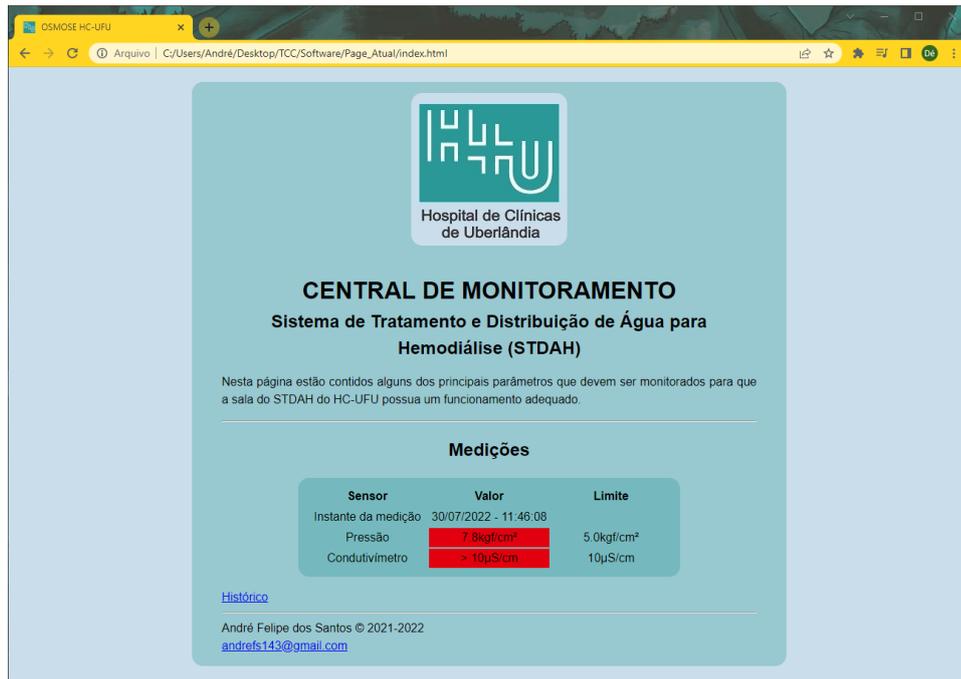
Usando o protótipo desenvolvido, alguns testes puderam ser realizados, como o envio de dados do ESP32 diretamente para a aplicação web por meio do protocolo MQTT via internet (Figuras 18 e 19), comprovando seu funcionamento.

Figura 18 – Aplicação Web Recebendo Dados do ESP32



Fonte: Autoria Própria

Figura 19 – Aplicação Web Alertando Extrapolação dos Valores Permitidos



Fonte: Autoria Própria

Com o protótipo funcionando, pôde-se realizar testes de demonstração do monitoramento para os profissionais dos Setores de Engenharia Clínica e Nefrologia, recebendo reações extremamente positivas.

Em seguida, havia a necessidade de realizar testes de conectividade dentro da sala do STDAH, então foi solicitada ajuda do Setor de Tecnologia da Informação (TI) do HC-UFU, e junto com um dos técnicos de TI, descobriu-se que tanto na sala do STDAH como no Setor de Nefrologia como um todo, não há sinal de Wi-Fi. Mas então, o técnico de TI pegou um roteador emprestado de seu setor e o configurou temporariamente no salão de hemodiálise, podendo assim serem feitos testes e ser comprovada a recepção de sinal Wi-Fi de dentro da sala do STDAH.

Com este teste pôde-se concluir que na eventual implementação do projeto, não será necessário furar e quebrar as paredes do Setor de Nefrologia para levar cabos de internet para a sala de STDAH, mas apenas instalar um roteador no salão de hemodiálise.

4.4 Implementação do Projeto

Inicialmente, havia sido planejado, após a construção de um protótipo funcional, substituir os componentes usados para testes por sensores reais e implementar o projeto no HC-UFU, entretanto, alguns fatores impediram que isto pudesse vir a acontecer:

- A não criação de um banco de dados;
- O preço de cada um dos sensores que seriam utilizados custar na faixa de 5 mil reais;
- A instalação de rede Wi-Fi no Setor de Nefrologia requerer a aquisição de um roteador, e o roteador padrão utilizado pelo HC-UFU ser importado, custando na faixa de mil dólares.

5 DISCUSSÃO

Atualmente há um total de 64 pacientes frequentes que realizam tratamentos de hemodiálise no Setor de Nefrologia do HC-UFU hoje, uma quantidade já grande e com previsão para aumentar, e esse tratamento requer grandes quantidades de água extremamente purificada. E pela saúde dos pacientes, espera-se que todos os pontos que a água passa desde sua entrada no sistema até sua utilização nos tratamentos, esteja em perfeito funcionamento e em acordo com as normas. Por isso, a existência de uma central de monitoramento desses parâmetros, como imaginado por este trabalho se faz tão importante.

O projeto aqui desenvolvido, tinha como objetivos iniciais: substituir os medidores de pressão, nível e condutividade da água manuais por sensores eletrônicos; conectar esses sensores a um microcontrolador; programar o microcontrolador para enviar os dados coletados pelos sensores à internet; desenvolver um aplicativo web que recebesse os dados coletados; criar uma interface fácil e intuitiva na qual seriam disponibilizados os dados coletados ao usuário e, criar um banco de dados que pudesse guardar os dados coletados e gerar uma planilha Excel para visualizações futuras. E embora o projeto não tenha sido de fato implementado no hospital, pelos motivos mencionados na Seção 4.3, o protótipo feito contou com a simulação da substituição dos sensores manuais por eletrônicos, e conexão dos sensores simulados a um microcontrolador, que os envia a um aplicativo web, com interface fácil e intuitiva. Sendo o único objetivo não alcançado a criação de um banco de dados capaz de gerar uma planilha Excel, e mesmo isso não tendo sido feito, a página que contaria com tais funcionalidades já foi desenvolvida na aplicação web.

No decorrer desse trabalho, diversos profissionais de diferentes setores do hospital e de fora dele se dispuseram a ajudar para que ele fosse bem-sucedido, acredito que talvez indicando não só a necessidade da central de monitoramento como o desejo de vê-la saindo do papel.

As conversas com todos esses profissionais foram fundamentais para a elaboração do protótipo e para a escolha dos parâmetros medidos, permitindo que os requisitos levantados realmente mostrassem quais as necessidades que o projeto deveria suprir.

Já a fase de desenvolvimento e testes do protótipo foram essenciais para identificar falhas no projeto e, quando possível, corrigi-las, e quando não, ao menos serviram para apontar o caminho que deve ser seguido para suas eventuais correções.

Após a finalização do protótipo, a demonstração de testes de funcionamento frente aos profissionais dos Setores de Nefrologia e Engenharia Clínica também se mostrou uma forma de descobrir outras funcionalidades que poderiam ser adicionadas ao projeto, frente às diversas sugestões recebidas.

Logo, tem-se que a eventual conclusão da central de monitoramento do STDAH e sua implementação no HC-UFU, não é algo muito distante de poder acontecer, uma vez que tendo os sensores simulados do protótipo como base, seria necessário apenas aumentar a quantidade desses e substituí-los por sensores reais; realizar a troca da linguagem de programação principal de HTML para JavaScript usando Node.js, permitindo a elaboração e inclusão de um banco de dados e, a instalação de um roteador no salão de hemodiálise. Sendo o maior impeditivo para isso, o alto custo financeiro, embora seja algo que se pagaria devido à eventual redução de custos com manutenções corretivas e peças.

Entretanto, abstraindo-se dos impedimentos financeiros e imaginando possibilidades futuras de desenvolvimento do projeto, algumas a serem consideradas são:

- A elaboração de um circuito eletrônico com microcontrolador por sensor, permitindo que no caso de algum mau funcionamento, apenas um dos parâmetros seja prejudicado;
- A adição de uma forma de verificação do funcionamento do hardware, indicando na aplicação web caso a existência de qualquer mau funcionamento;
- A melhora do sistema de alerta de falhas, incluindo alertas sonoros aos já existentes alertas visuais;
- O desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis, que permita o envio de notificações referentes às falhas para seus usuários;
- A alteração da exibição dos dados na tela principal, de tabelas para uma forma mais visualmente atraente;
- A já mencionada elaboração e inclusão de um banco de dados que permita exportar valores para uma planilha Excel;

- A opção de exibição dos dados da tela de histórico em forma de gráficos, permitindo uma melhor visualização da compreensão da alteração dos parâmetros no decorrer do tempo.

E, claro, caso a implementação deste trabalho venha de fato a acontecer, não se é difícil de imaginar que além da inclusão dos objetivos iniciais e das possibilidades futuras recém mencionadas, outras características seriam pensadas e, possivelmente, incluídas.

6 CONCLUSÕES

O bom funcionamento do Sistema de Tratamento e Distribuição de Água para Hemodiálise é essencial para a vida de dezenas de pacientes com problemas renais no Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia, e a quantidade de falhas que acontecem atualmente é muito maior do que se esperaria de um dos maiores hospitais de atendimento pelo SUS do país.

Logo, a existência de uma central de monitoramento desse sistema, como projetada por este trabalho, se faz essencial na redução da ocorrência de falhas no STDAH e até mesmo permitindo a execução de manutenções preditivas.

Além disso, a economia de dinheiro público que a implementação de um projeto como esse traria, seria identificada não apenas na diminuição de custos com: manutenções corretivas, compra de peças, chamados de serviço externo, e envio de pacientes para clínicas externas e particulares custeado pelo SUS, mas também preveniria a redução da vida útil do sistema, e o mais importante: isso se refletiria positivamente na saúde e segurança do paciente, algo que não é possível de se mensurar.

O desenvolvimento de um projeto de inovação tecnológica na área de saúde não é algo fácil, ainda mais se somado às limitações financeiras e cronológicas que envolvem a produção de uma pesquisa a nível de graduação. Apesar disso, no decorrer deste trabalho não só foi possível levantar os requisitos necessários para o desenvolvimento do projeto aqui proposto, como construir um protótipo funcional que foi muito bem recebido pelos profissionais do hospital durante a fase de testes. Portanto, caso a central de monitoramento do STDAH venha a ser finalizada e implementada, ela se provando eficaz, além dos benefícios já mencionados, outro muito importante é que poucas seriam as alterações necessárias para a adequação da tecnologia para outros hospitais e clínicas de diálise pelo país.

7 REFERÊNCIAS

1. NATIONAL INSTITUTE OF DIABETES AND DIGESTIVE AND KIDNEY DISEASES. **Your Kidneys & How They Work**. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, jun. 2018. Disponível em: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/kidneys-how-they-work>. Acesso em: 16 mai. 2022.
2. NATIONAL KIDNEY FOUNDATION. **Hemodialysis**. National Kidney Foundation, 2015. Disponível em: <https://www.kidney.org/atoz/content/hemodialysis>. Acesso em: 16 mai. 2022.
3. NERBASS, F. B. *et al.* **Censo Brasileiro de Diálise 2020**. Brazilian Journal of Nephrology, 23 fev. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-8239-JBN-2021-0198>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbn/a/3Jts9Jdpcy5vc5MFjdMwV3g/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 16 mai. 2022.
4. SBN. **Hemodiálise**. Sociedade Brasileira de Nefrologia. Disponível em: <https://www.sbn.org.br/orientacoes-e-tratamentos/tratamentos/hemodialise/>. Acesso em: 16 mai. 2022.
5. ADVANCED EQUIPMENT AND SERVICES. **REVERSE OSMOSIS SYSTEMS FOR DIALYSIS**. ADVANCED Equipment and Services. Disponível em: <https://advancees.com/reverse-osmosis-products/dialysis-water-ro/>. Acesso em: 05 jun. 2022.
6. LOMAZZI, C. **ARTIGO TÉCNICO: O que é osmose reversa?**. IPABRAS. Disponível em: <https://www.ipabras.com.br/post/artigo-t%C3%A9cnico-o-que-%C3%A9-osmose-reversa>. Acesso em: 05 jun. 2022.
7. NATIONAL INSTITUTE OF DIABETES AND DIGESTIVE AND KIDNEY DISEASES. **Hemodialysis**. National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases, jan. 2018. Disponível em: <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/kidney-failure/hemodialysis>. Acesso em: 16 jun. 2022.
8. NATIONAL KIDNEY FOUNDATION. **Hemodialysis Access**. National Kidney Foundation, 2015. Disponível em: <https://www.kidney.org/atoz/content/hemoaccess>. Acesso em: 13 jun. 2022.

9. FRESENIUS MEDICAL CARE. **O que é diálise e como funciona?**. Fresenius Medical Care. Disponível em: <https://www.freseniusmedicalcare.com.br/pt-br/pacientes-e-familias/entendendo-a-dialise>. Acesso em: 14 jun. 2022.
10. TANDON, T.; SINHA, A. D.; AGARWAL, R. **Shorter delivered dialysis times associate with a higher and more difficult to treat blood pressure**. Nephrology Dialysis Transplantation, v. 28(6): 1562-1568, jun. 2013. DOI: 10.1093/ndt/gfs597. Disponível em: <https://academic.oup.com/ndt/article/28/6/1562/1837937>. Acesso em: 14 jun. 2022.
11. PERMUTION. **AS VANTAGENS DA OSMOSE REVERSA NO TRATAMENTO DA ÁGUA PARA HEMODIÁLISE**. Blog Permutation, 28 ago. 2020. Disponível em: <https://www.permution.com.br/pt-br/blog/as-vantagens-da-osmose-reversa-no-tratamento-da-agua-para-hemodialise>. Acesso em: 16 jun. 2022.
12. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 11, DE 13 DE MARÇO DE 2014**. Ministério da Saúde, 13 mar. 2014. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2014/rdc0011_13_03_2014.pdf. Acesso em: 18 jun. 2022.
13. CANVA. **Canva**. 2012. Disponível em: <https://www.canva.com/>. Acesso em: 25 jul. 2022.
14. MINISTÉRIO DA SAÚDE. **RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA - RDC Nº 33, DE 3 DE JUNHO DE 2008**. Ministério da Saúde, 03 jun. 2008. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2008/rdc0033_03_06_2008.html. Acesso em: 18 jun. 2022.
15. ASHTON, K. **That 'Internet of Things' Thing**. RFID Journal, 22 jun. 2009. Disponível em: <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>. Acesso em: 19 jun. 2022.
16. GILLIS, A. S. **What is the internet of things (IoT)?**. IoT Agenda, mar. 2022. Disponível em: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>. Acesso em: 19 jun. 2022.
17. NERI, R.; LOMBA, M.; BULHÕES, G. **MQTT**. Escola Politécnica UFRJ, 2019. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/mqtt/>. Acesso em: 26 jun. 2022.
18. MOSQUITTO. **Mosquitto**. Versão 2.0.14, nov. 2021. Disponível em: <https://mosquitto.org/>. Acesso em: 04 jan. 2022.

19. TECHTARGET CONTRIBUTOR. **Web application (Web app)**. Search Software Quality, ago. 2019. Disponível em: <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/Web-application-Web-app>. Acesso em: 26 jun. 2022.
20. EDUCATIVE ANSWERS TEAM. **Web server vs. Application server**. Educative. Disponível em: <https://www.educative.io/answers/web-server-vs-application-server>. Acesso em: 26 jun. 2022.
21. KENZIE ACADEMY. **Front End vs. Back End: What's the Difference?**. Kenzie Academy from Southern New Hampshire University, 17 ago. 2020. Disponível em: <https://kenzie.snhu.edu/blog/front-end-vs-back-end-whats-the-difference/>. Acesso em: 07 jul. 2022.
22. ARDUINO. **Arduino**. Versão 1.8.18, 23 jul. 2020. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software>. Acesso em: 15 dez. 2021.
23. MQTTLENS. **MQTTLens**. Versão 0.0.14, 21 fev. 2018. Disponível em: <https://chrome.google.com/webstore/detail/mqttlens/hemojaaeigabkbcookmlgmdigohjobjm?hl=en>. Acesso em: 15 dez. 2021.
24. WORKS WITH WEB. **MQTTBox**. Versão 0.2.3, 09 mai. 2017. Disponível em: <https://chrome.google.com/webstore/detail/mqttbox/kaajoficamnjjhkeomqfljpicifbkaf>. Acesso em: 15 dez. 2021.
25. GITHUB. **Atom**. Versão 1.58.0, 27 jul. 2021. Disponível em: <https://atom.io/>. Acesso em: 19 dez. 2021.
26. NODE.JS. **Node.js**. Versão 16.14.2, 17 mar. 2022. Disponível em: <https://nodejs.org/en/>. Acesso em: 25 mar. 2022.