



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE  
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE**

**KROL JÂNIO PALITOT REMÍGIO**

**ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS,  
POR MENSAGENS HL7 EM AMBIENTE HOSPITALAR**

**CAMPINA GRANDE  
2025**

KROL JÂNIO PALITOT REMÍGIO

**ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS,  
POR MENSAGENS HL7 EM AMBIENTE HOSPITALAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia em Saúde.

Orientador: Prof. Dr. Misael Elias de Moraes

CAMPINA GRANDE

2025

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

R387a Remigio, Krol Janio Palitot.

Arquitetura de integração de dispositivos médicos, por mensagens HL7 em ambiente hospitalar [manuscrito] / Krol Janio Palitot Remigio. - 2025.

78 p. : il. colorido.

Digitado. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia em Saúde) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2025. "Orientação : Prof. Dr. Misael Elias de Moraes, Coordenação do Curso de Computação - CCEA. "

1. Dashboard. 2. HL7. 3. Tecnologia na saúde. 4. Dispositivos médicos interconectados. 5. Ambiente hospitalar.  
I. Título

21. ed. CDD 005.3

## KROL JÂNIO PALITOT REMÍGIO

ARQUITETURA DE INTEGRAÇÃO DE DISPOSITIVOS MÉDICOS, POR MENSAGENS  
HL7 EM AMBIENTE HOSPITALAR

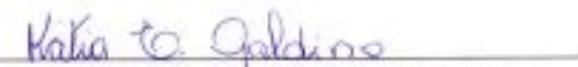
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia em Saúde da Universidade Estadual da Paraíba como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia em Saúde.

Dissertação aprovada em: 20/06/2025

### BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Misael Elias de Moraes  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Kátia Elizabete Galdino  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Sandy Gonzaga de Melo  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico este trabalho à minha família e amigos, pelo constante apoio, carinho e compreensão em minhas abdições, durante ocasiões especiais e grande parte dos dias em que estava focado no desenvolvimento deste projeto, assim como dos momentos em comum e de lazer. Dedico principalmente a minha mãe Lelêga, que sempre foi luz em meu caminho, minha esposa Heidi, por sua paciência e parceria, e ao meu filho Antônio Remígio, razão maior dos meus estudos e dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu orientador, Professor Dr. Misael Moraes, pelo apoio, confiança e auxílio incondicional ao longo de toda minha trajetória na elaboração deste projeto. Foi uma grande honra contar com sua orientação, expertise e ensinamentos.

Estendo meus profundos agradecimentos à Professora Dra. Sabrina Souto, cuja contribuição foi fundamental para a compreensão e consolidação deste trabalho, e à Professora Dra. Katia Elizabete Galdino, que, com sua valiosa colaboração, proporcionou uma visão mais aprofundada e esclarecedora sobre minha pesquisa.

Agradeço também aos amigos Wagner Lima e José Anthenor, pela parceria nas pesquisas e debates sobre o tema abordado, e a Rogério Gominho e sua consorte Maria Edilma, pelo tempo dedicado aos estudos técnicos, análises e aos esclarecimentos de temas afins.

A minha sobrinha e afilhada, Me. Maria Luisa Palitot, registro um agradecimento especial por sua relevante contribuição durante a revisão deste trabalho e pela ajuda essencial na conclusão das pesquisas teóricas.

Por fim, agradeço imensamente ao Grande Arquiteto do Universo pela oportunidade de vivenciar este momento tão significativo em minha vida acadêmica, com saúde, discernimento e a graça de poder concluir esta etapa.

## RESUMO

A informatização tem promovido avanços cruciais em diversas áreas, incluindo a saúde, mostrando que a informação assume papel vital e de extrema importância no tratamento de pacientes acometidos de comorbidades críticas no ambiente hospitalar, percebendo-se que a falta de uma melhor interpretação desses dados, compromete todo o processo assistencial, pois os sintomas poderiam ser interpretados de forma mais precisa e ágil. Nesse contexto, o estudo dos dados gerados neste ambiente, se faz necessário para que tais situações possam ser catalogadas e tratadas, para suportar decisões precisas com ferramentas de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), como painéis de monitoramento das ações, permitindo que os pacientes dos leitos hospitalares sejam analisados de forma sistêmica, através de equipamentos de *hardware*, com *software* de gestão embarcado, possibilitando assim a transmissão de informações em tempo real para um *dashboard* central, além de monitorar diversos índices, como glicêmicos, sanguíneos, temperatura, peso, pressão, entre outros. Tais ações de melhoria e gestão estarão embasadas em um padrão voltado para saúde, utilizado internacionalmente em larga escala, denominado de *Health Level Seven* (HL7), que no Brasil foi adotado de forma referencial pelo Sistema Único de Saúde – SUS, além de iniciativas privadas. Esse estudo foi implementado em ambiente hospitalar, com simuladores de dispositivos médicos interconectados por meio de rede lógica, possibilitando a comunicação eficiente com um servidor central de dados, resultando uma saída gráfica das informações geradas pelos simuladores em painel de monitoramento.

**PALAVRAS-CHAVE:** HL7; SUS; *hardware*; *dashboard*; monitoramento.

## **ABSTRACT**

The computerization has provided crucial advances in several areas, including healthcare, demonstrating that information plays a vital and essential role in the treatment of patients with critical comorbidities in the hospital setting. It is evident that the lack of better interpretation of such data compromises the entire care process, as symptoms could be interpreted more accurately and quickly. In this context, the study of data generated in this environment becomes necessary to ensure that these situations can be cataloged and addressed, supporting precise decisions through Information and Communication Technology (ICT) tools. Examples include action monitoring dashboards that allow hospital bed patients to be analyzed systematically through hardware devices equipped with embedded management software, enabling real-time transmission of information to a central dashboard, in addition to monitoring various indices such as blood glucose, blood levels, temperature, weight, blood pressure, and others. Such improvement and management actions will be based on a healthcare-oriented standard widely used internationally, known as Health Level Seven (HL7), which has been adopted in Brazil as a reference by the Unified Health System (SUS), as well as by private initiatives. This study was implemented in a hospital environment using medical device simulators interconnected via a logical network, enabling efficient communication with a central data server. As a result, the information generated by the simulators was graphically displayed on a monitoring dashboard.

**KEYWORDS:** HL7; SUS; hardware; dashboard; monitoring.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – representação de rede de dados em unidade hospitalar.....	19
Figura 2 – barramento de interoperabilidade em unidade hospitalar .....	22
Figura 3 – representação de troca de mensagens entre cliente/servidor, através de linguagens de programação, utilizando HL7. ....	24
Figura 4 – esquema de representação para troca de informação entre sistema distintos, utilizando HL7. ....	26
Figura 5 – representação do trâmite processual dos pacientes .....	27
Figura 6 – exemplo de troca de mensagens padrão HL7 v2.....	28
Figura 7 – detalhamento dos delimitadores de troca de mensagens HL7 v2.8 .....	29
Figura 8 – exemplo de troca de mensagens do padrão HL7 3.0.....	30
Figura 9 – dashboard para acompanhamento e gestão de pacientes.....	31
Figura 10 – representação da troca de mensagens, entre diversos dispositivos, utilizando o padrão HL7 FHIR. ....	32
Figura 11 – exemplo de código JSON em uma estrutura HL7 FHIR.....	37
Figura 12 - representação de consulta em ambiente RESTful API.....	38
Figura 13 - planta baixa de áreas específicas de unidade hospitalar .....	44
Figura 14 – detalhamento dos dispositivos médicos conectados e Central de monitoramento. ....	46
Figura 15 – imagem do simulador.....	47
Figura 16 – imagem do simulador, com ênfase nas conexões de rede e força .....	47
Figura 17 – Fonte de alimentação 5V com conector P4.....	48
Figura 18 – ênfase para entrada de alimentação de força do simulador padrão P4 .	48
Figura 19 – conectores de rede RJ45 e leds de status indicando o funcionamento do simulador.....	49

Figura 20 – cabos de rede de dados cat. 5e e conectores RJ45.....	50
Figura 21 - portas RJ 45 do simulador para conexão dos cabos de rede .....	50
Figura 22 – roteador de rede de dados .....	51
Figura 23 – equipamento simulador conectado ao roteador de rede .....	51
Figura 24 – simulador, rede de dados, switch, servidor e painel de monitoramento .	52
Figura 25 – interface de controle do simulador .....	53
Figura 26 – exemplo de recurso JSON .....	56
Figura 27 – painel de monitoramento das ações.....	60
Figura 28 – software simulador de troca de mensagens HL7.....	62
Figura 29 – monitoramento remoto de dispositivos médicos .....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – camadas OSI em relação ao padrão HL7 .....	23
Tabela 2 - Comparação entre HL7 v2, HL7 v2.8, HL7 v3 e HL7 FHIR.....	34
Tabela 3 – principais diferenças entre os padrões SNOMED CT e ICD. ....	39
Tabela 4 – padrões de rede Ethernet.....	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
ANSI	American National Standards Institute
BD	Banco de Dados
EHR	Electronic Health Record
FHIR	Fast Healthcare Interoperability Resources
GB	Gigabyte
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
HTTPS	Hyper Text Transfer Protocol Secure
HIS	Hospital Information System
HL7	Health Level Seven
JSON	Java Script Object Notation
LIS	Laboratory Information System
MLLP	Minimal Lower Layer Protocol
MSH	Message Header
OBX	Observation/Result
PV1	Patient Visit
PHP	Hypertext Preprocessor
REST	Representational State Transfer
RIM	Reference Information Model
RIS	Radiology Information System
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TIC	Tecnologia da informação e comunicação
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SOAP	Simple Object Access Protocol
SNOMED-CT	Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms
XML	Extensible Markup Language

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Contextualização</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Justificativa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>18</b>
1.3.1 Objetivo geral .....	18
1.3.2 Objetivos específicos .....	18
<b>1.4 Estrutura da dissertação</b> .....	<b>19</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1 Interoperabilidade em sistemas hospitalares</b> .....	<b>21</b>
<b>2.2 O Modelo OSI na Integração com HL7</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3 Arquitetura dos padrões HL7</b> .....	<b>27</b>
2.3.1 Padrão HL7 2.x .....	27
2.3.2 Padrão HL7 2.8 .....	28
2.3.3 Padrão HL7 3.0 .....	29
2.3.4 Padrão HL7 FHIR .....	31
<b>2.4 Servidores RESTful e APIs em ambientes de saúde</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5 Tecnologias de rede hospitalar (Ethernet, cabeamento estruturado)</b> .....	<b>40</b>
<b>2.6 Plataformas de monitoramento clínico e integração com dispositivos</b> .....	<b>42</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
<b>3.1 Especificações do sistema proposto</b> .....	<b>44</b>
<b>3.2 Arquitetura geral e diagrama de blocos</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3 Desenvolvimento do módulo simulador do dispositivo médico</b> .....	<b>46</b>
3.3.1 Fonte de Alimentação .....	48
3.3.2 Cabos de rede de dados .....	49
3.3.3 Roteador de rede .....	50
3.3.4 Conexão com o computador .....	51
3.3.5 Interface de controle .....	52
<b>3.4 Implementação do servidor RESTful com suporte a HL7 FHIR</b> .....	<b>54</b>
<b>3.5 Infraestrutura de rede e integração de dispositivos</b> .....	<b>57</b>
<b>3.6 Banco de dados e persistência das mensagens clínicas</b> .....	<b>58</b>

3.7 Painel de monitoramento das leituras e eventos .....	59
3.8 Procedimento de validação .....	61
<b>4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
4.1 Aplicação do sistema em ambiente simulado .....	64
4.2 Resultados da comunicação entre módulos (módulo→servidor→painel)..	64
4.3 Análise da eficácia da troca de mensagens via HL7 FHIR.....	65
<b>5 DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
5.1 Potenciais aplicações clínicas e operacionais .....	66
5.2 Limitações do estudo.....	67
5.3 Propostas de melhoria e continuidade.....	68
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
6.1 Considerações finais .....	69
6.2 Contribuições do trabalho.....	69
6.3 Trabalhos futuros .....	70
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A – DIAGRAMA DO SISTEMA PROPOSTO .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B – INTERFACE DO MÓDULO SIMULADOR.....</b>	<b>76</b>
<b>APÊNDICE C – EXEMPLO DE MENSAGEM HL7 v2.8 UTILIZADA .....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE D – EXEMPLO DE MENSAGEM HL7 FHIR.....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

Diversas dificuldades podem afetar o funcionamento de unidades hospitalares, tais como problemas de infraestrutura, mão-de-obra não qualificada para funções específicas, equipamentos defeituosos, registro incompleto de dados e acompanhamento inadequado dos pacientes. Tarefas simples - como a leitura de níveis de oxigênio, temperatura, índices glicêmicos, pressão arterial, entre outros - nem sempre são confiáveis, pois são coletados e alimentados em papel e sistemas de gestão hospitalar de forma manual através de equipes de profissionais que se sobrecarregam de atribuições no ambiente hospitalar. Podem ocorrer erros caligráficos na transmissão destes índices ou as informações podem ser transcritas em campos errados ou com dados insuficientes.

Dados escritos à mão geralmente não seguem um padrão unificado de escrita e estrutura, tornando difícil o entendimento de terceiros e a recuperação do histórico de dados de saúde de um paciente, produzindo um conhecimento fragmentado (Tierney et al., 1987; Overhage et al., 2002).

A utilização de papel no registro de dados de saúde está sendo substituída por soluções digitais, facilitando o acesso e o gerenciamento desses dados por parte dos envolvidos na prestação de serviço de saúde, como profissionais da assistência, pacientes e gestores de clínicas e hospitais. Isso tem ocorrido devido ao reconhecimento das dificuldades trazidas pelos processos baseados em papel (Soyemi; Misra; Nicholas, 2015).

Uma pesquisa recente, divulgada no final de 2024 pelo Anuário de Segurança Assistencial Hospitalar, do Instituto de Estudos de Saúde Suplementar (IESS) e da Organização Mundial de Saúde (OMS), revela que cerca de 60 mil pessoas morrem todos os anos no Brasil vítimas de erro médico. Ações de integração de dados contribuem para um atendimento mais eficiente e com um mínimo de incidência de iatrogenias. Há também a problemática de longos intervalos de tempo para captura dos dados, pelo fato de a coleta estar vinculada à visita do profissional a cada leito. Pode não ser adotada uma padronização no preenchimento dos registros, o que impede que eles sejam interpretados de forma rápida por qualquer equipe médica, além de não ser utilizado nenhum meio de compartilhamento ou sincronismo.

Ademais, os dados gerados pelos mecanismos de captação, seja por se utilizarem de registros manuais ou por uma base de dados inadequada, que em sua maioria não está integrada internamente e nem em bases originárias de outras unidades hospitalares, sem rotinas ou segmentos específicos, resultam em retrabalho dentro das instituições nosocomiais.

Desta forma, vê-se que o emprego de tecnologias em saúde dentro do contexto do universo hospitalar torna-se essencial, substituindo o uso de papel em boa parte dos registros, permitindo um melhor aproveitamento dos dados gerados e tratamento das informações, favorecendo uma leitura de índices estatísticos mais precisa no acompanhamento dos pacientes. Profissionais de saúde deveriam ser encorajados a se capacitarem mais e a se especializarem em rotinas tecnológicas, para que as tratativas de cuidados em saúde sejam mais bem atendidas.

Para Fonseca (2008, p. 15), as Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) vêm para estruturar a informação gerada e em seguida a integrar, fornecendo meios de sistematização de maneira que seja possível usufruí-la e compartilhá-la. Por essa razão, a arquitetura de dispositivos médicos em ambiente hospitalar com integração através de um dispositivo de mensagens se faz necessária, contribuindo para a máxima qualidade da assistência a pacientes em qualquer nível de gravidade.

Com a implementação de ações de TICs, mudanças podem ser percebidas em rotinas de inclusão, atualização, recuperação e análise dos dados de forma relevante. Segundo Gubiani et al. (2006, apud Gambi; Ferreira; Galvão, 2013, p. 2), as unidades de saúde nas quais elas foram realizadas as absorveram e as adaptaram no decorrer do tempo a diversas áreas do universo clínico, com melhores controles, processos e análises.

Diante dessa problemática, analisou-se o que foi posto por Zambuto (2004, apud Castañeda, 2011, p. 27), que propõe a construção de aparelhos que proporcionem a integração da tecnologia dentro do meio profissional e acadêmico. Uma combinação de procedimentos tecnológicos deveria englobar todos os setores envolvidos para que os dados oriundos das análises dos pacientes sejam cadastrados e catalogados de forma concisa, com protocolos clínicos uniformes e detalhamento dos procedimentos com padrões adotados por todos os ambientes informatizados, integrado ainda com equipamentos de monitoramento precisos, que possam gerar estatísticas comuns e sincronizadas.

Com relação à infraestrutura técnica existente nas unidades hospitalares, verifica-se, em alguns casos, uma certa defasagem nas ferramentas de TICs, seja no ambiente virtual (com ausência de sistemas de informações, ambientes de monitoramento, aplicações de análise de dados, IA e *cloud computing*), seja relacionada ao *hardware* (com uma infraestrutura de redes assíncronas, combinando servidores ultrapassados e cabeamentos estruturados sem padrão ou monitoramento de rede e dos dados gerados), com processos realizados em papel, além de estações de trabalho desatualizadas. É importante ressaltar que tal situação não engloba o universo da saúde como um todo, pois algumas unidades hospitalares possuem sistemas de informação que incluem parte dos processos de forma virtual. A utilização de papel no registro de dados de saúde vem sendo substituída por soluções digitais, facilitando o acesso e o gerenciamento de seu conteúdo por parte dos envolvidos na prestação de serviços, incluindo profissionais de saúde, pacientes e gestores de clínicas e hospitais. Isso tem sucedido, principalmente, devido às dificuldades trazidas pelos processos baseados em papel (Soyemi; Misra; Nicholas, 2015).

Os problemas hospitalares relacionados à gestão têm potencial para gerar diversos prejuízos. Há muito tempo, especialistas têm olhado para a questão dos investimentos hospitalares com críticas sobre como os recursos têm sido direcionados. Segundo a presidente da Federação Nacional de Saúde Suplementar (FenaSaúde), Solange Beatriz, em matéria para a Agência Nacional, cerca de 30% dos investimentos em áreas da saúde no Brasil são desperdiçados. Ela acrescenta que o excesso de exames realizados sem necessidade e o déficit de qualidade no treinamento dos profissionais de saúde podem ser os principais motivos (Holmes.App, 2022), razão pela qual o uso de tecnologias de interoperabilidade mostra-se como solução viável para problemas dessa natureza.

Nesta perspectiva, percebe-se que a padronização dos dados precisa ser executada de maneira uniforme, de sorte que as informações geradas possam resultar em estudos rápidos para tomada de decisão e compartilhamento com outros quadros de profissionais de saúde, com o *hardware* empregado respondendo de forma precisa e constante. Esta rede de dados uniforme deverá ser operada em equipamentos produzidos por fabricantes especializados em dispositivos de saúde, pelo rigor que é exigido para garantir a segurança nas abordagens clínicas.

Uma arquitetura uniforme dos dispositivos médicos, que possa criar um ambiente interoperável, utilizando um padrão de troca de mensagens referencial ao meio,

seria o ideal. Interoperabilidade consiste na capacidade que um sistema tem de transferir dados e na competência de interpretação dos dados transferidos para outros sistemas (Bass; Clements; Kazman, 2012). Esta interoperabilidade tem como principal aliado o padrão HL7 (Health Level 7), mecanismo internacional de padronização de dados, que certamente resolverá as deficiências de interpretação e análise dos dados gerados, combinado com tecnologias aplicadas às unidades hospitalares de forma contínua, a fim de que a integração com os dispositivos médicos possa ser proveitosa.

Em suma, o presente trabalho consiste no estudo de uma solução para tratar e integrar a leitura dos dados gerados em decorrência do acompanhamento dos indicadores clínicos dos pacientes da unidade hospitalar através de dispositivo médico, unindo a interoperabilidade com softwares de gestão e um Painel de Controle. Assim, pode ser feita a análise dos dados e a saída gráfica destas informações em ambiente de monitoramento, utilizando APIs para integração, unindo o padrão FHIR para troca de mensagens, com avaliação e armazenamento de dados simultâneos. Ainda, este sistema permite compartilhar tais informações com outros hospitais, equipes médicas e pesquisadores, sanando os problemas mencionados neste estudo.

## **1.2 Justificativa**

Grande parte dos dispositivos médicos presentes nos hospitais não se comunicam entre si, o que leva à heterogeneidade de troca de informações e dados estatísticos imprecisos e sem sincronismo, padrão ou regulamentação. De fato, a heterogeneidade dos dados de saúde é um dos principais desafios no desenvolvimento de soluções integradas para esta área (Jayaratne; 2019).

Em virtude de tal problemática, este estudo busca demonstrar as vantagens de uma arquitetura de integração entre dispositivos médicos com base na troca de mensagens através do padrão HL7. Com ela, espera-se lograr ganhos na análise dos dados coletados dos pacientes, que representam expressivo avanço não só no meio clínico, mas também administrativo e na comunidade acadêmica, assim como nos trabalhos científicos na área da saúde, que desempenham um papel fundamental no desenvolvimento de novas técnicas de cuidado e tratamentos mais eficazes.

Além disso, tem se tornado claro que a agregação e mineração de dados de saúde de múltiplas Fontes são peças fundamentais na medicina de precisão, sendo de grande relevância o compartilhamento dessa base de informação para analisar e

promover um melhor aproveitamento das pesquisas científicas e minimizar despesas (Leroux et al., 2017).

Para que possamos avançar no desenvolvimento desta pesquisa, é imprescindível interligar os sistemas legados, atuais e futuros, para que possam se comunicar entre si e compartilhar os dados de forma sincronizada, criando um ambiente interoperável. De ACORDO com o *Standard Computer Glossary*, interoperabilidade é a habilidade de dois ou mais sistemas ou componentes em intercambiar e utilizar as informações que foram trocadas (IEEE, 1991).

Vários entraves dificultam a interoperabilidade nas unidades hospitalares, desde a utilização do papel para registro das informações até a entrada dos dados de forma manual em sistemas distintos e, em alguns casos, planilhas eletrônicas. Para modificar esta realidade, é mister lidar com a questão dos custos elevados para implementação de sistemas interoperáveis e de pessoal capacitado para trabalhar com novos padrões. Há também um ponto crucial relacionado à Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD, dada a importância de serem preservadas as informações dos pacientes. Ressalta-se ainda a complexidade de unir vários sistemas existentes dentro de um hospital, como o prontuário eletrônico, o sistema de regulação e farmácia, o de procedimentos cirúrgicos, que operam sem comunicação entre si e com diversas inconsistências no banco de dados de cada um deles.

Tratando dos desafios sinalizados e implementando rotinas de ajustes, a melhoria no atendimento dos pacientes será percebida de forma generalizada. Será possível o acesso ao histórico clínico completo, cirurgias realizadas, medicações prescritas por outro profissional, visualização dos exames realizados, internações, dietas e exames solicitados, dentro muitos outros procedimentos. Isto permitirá reduzir os erros no cuidado médico, sem duplicação de rotinas e falta de informações relevantes.

Nestas circunstâncias, o tempo investido nesta pesquisa trará evidências positivas da integração entre os dispositivos médicos e os demais existentes nas unidades de saúde, como também em áreas de estudo relacionadas, como a interoperabilidade técnica, mantendo uma base de comunicação entre os diversos sistemas existentes ou futuros, sejam por meio de API ou sincronismo de banco de dados, combinado com o uso do padrão HL7 e servidores RESTful para estruturar as mensagens trocadas entre os sistemas.

As redes de computadores podem ser usadas para inúmeros serviços, tanto por empresas quanto por indivíduos. Para as empresas, as redes de computadores

personais que utilizam servidores compartilhados com frequência oferecem acesso a informações corporativas. Para as pessoas, as redes oferecem acesso a uma série de informações não-laborais e Fontes de entretenimento (Tanenbaum; Wetherall; Vieira, 2011).

Considerando-se a necessidade de comunicação entre os dispositivos e os servidores, a rede de dados cabeada torna-se o padrão ideal para esta tarefa, pelo fato de demonstrar uma maior segurança em relação a outros modelos, dificultando a interceptação não autorizada de dados em comparação com as ondas de rádio utilizadas em redes sem fio, consequentemente oferecendo maior largura de banda e menor latência em comparação com as tecnologias sem fio.

As conexões cabeadas são menos suscetíveis a interferências externas, tais como obstáculos físicos, ondas eletromagnéticas de outros dispositivos e variações ambientais que podem afetar a qualidade do sinal em redes sem fio. Esta estabilidade se traduz em conexões mais confiáveis e com menor probabilidade de quedas ou interrupções, o que representa o padrão ideal para este estudo de troca de dados através de dispositivos médicos.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Propor e desenvolver uma arquitetura de integração de dispositivos médicos por meio de mensagens HL7, visando aprimorar a gestão e o monitoramento do status de saúde de pacientes internos no Hospital de Emergência e Trauma de Campina Grande Dom Luiz Gonzaga Fernandes, para maior precisão, agilidade e qualidade no cuidado hospitalar

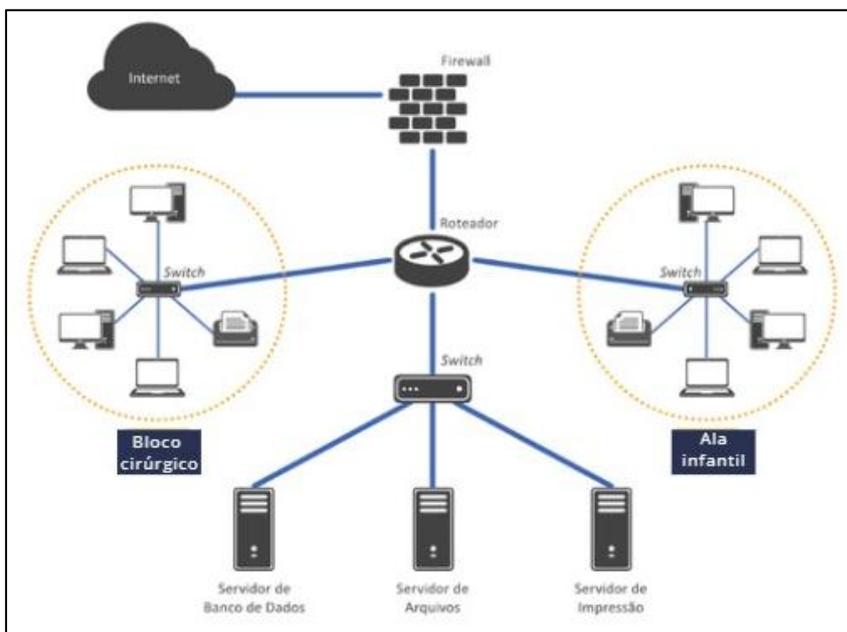
#### **1.3.2 Objetivos específicos**

Para atender ao objetivo geral deste estudo, foram definidos os objetivos específicos a seguir:

- Investigar e propor ajustes na infraestrutura de TIC do hospital, visando à uniformização e padronização da rede lógica;
- Mapear e definir metodologias para a coleta e estruturação de dados de saúde no padrão HL7;

- Estabelecer um servidor de dados com interface RESTful API, utilizando o padrão HL7 para integração;
- Desenvolver uma aplicação web (dashboard) para gestão e monitoramento em tempo real do status de saúde dos pacientes, integrando dados de diferentes sistemas e dispositivos médicos;
- Implementar a integração entre os dispositivos médicos e os sistemas de informação hospitalares utilizando a arquitetura proposta;
- Demonstrar a vantagem da adoção do padrão HL7 em comparação com o padrão descentralizado atualmente utilizado na unidade hospitalar;
- Produzir um manual de instalação, configuração e uso da solução desenvolvida.

Figura 1 – representação de rede de dados em unidade hospitalar



Fonte: Fundação Bradesco, (2022).

#### 1.4 Estrutura da dissertação

Os capítulos subsequentes estão organizados da seguinte maneira:

- A fundamentação teórica, mostrando a interoperabilidade em sistemas hospitalares por troca de mensagens HL7, enfatizando o modelo OSI e sua relação

com HLT será apresentado de forma minuciosa no Capítulo 2, incluindo um detalhamento sobre os padrões HL7 e o padrão FHIR a ser utilizado, com aprofundamento de parâmetros e requisitos de troca de mensagens, com servidores RESTful e plataformas de monitoramento;

- No Subcapítulo 3.5 é apresentado a Infraestrutura de rede e integração de dispositivos, analisando os mecanismos de integração ao simulador;
- Os procedimentos de validação são descritos no subcapítulo 3.8, com observação das primeiras análises dos dados gerados pelos dispositivos;
- No Capítulo 4, será abordado o estudo de caso e resultados, avaliando a eficácia dos módulos adotados nos testes do simulador;
- Para discussão do projeto, abordaremos no Capítulo 5, com os potenciais aplicações clínicas e operacionais, assim como propostas de melhoria e continuidade do projeto;
- No Capítulo 6, será concluído o trabalho com uma análise baseado nos dados resultantes da pesquisa abordada e os testes simulados do dispositivo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Interoperabilidade em sistemas hospitalares

Os dados em saúde, analisados em alguns casos, são de difícil acesso, o que prejudica o compartilhamento de maneira segura. A natureza dos dados de saúde cria um paradoxo: são difíceis de compartilhar porque são confidenciais e exigem um alto nível de privacidade e segurança, mas a incapacidade de os acessar quando necessário tem potencial para causar danos significativos. A falta de interoperabilidade pode levar a um entendimento incompleto das necessidades de saúde de um indivíduo ou da população, gerando piores desfechos e custos mais altos (IBM, 2025).

O grande dilema identificado com frequência é como tratar os dados gerados, para que sejam armazenados corretamente e possam ser recuperados de forma simples e precisa. Sistemas legados existentes nas unidades hospitalares precisam se comunicar, para que as informações armazenadas em diferentes bases de dados possam estar em um ambiente comum e de interoperabilidade entre os sistemas.

A interoperabilidade entre sistemas hospitalares existentes dentro das estruturas das unidades de saúde é indispensável para um melhor resultado e desempenho das ações de tecnologia, evitando assim o erro na execução das tarefas, realização de consultas sem histórico do paciente ou com o mesmo desatualizado, duplicidade de exames, procedimentos desnecessários como internações e cirurgias, prescrição racional de medicamentos e demais protocolos de saúde.

A área da saúde tem atravessado diversas transformações digitais. Cada vez mais, o setor tem buscado alternativas para redução de custos, otimização de tempo e fornecimento de mais informações que ofereçam suporte aos médicos e pacientes.

Diante deste cenário, priorizar a integração de dados clínicos tornou-se uma necessidade para a medicina. Logo, a interoperabilidade surge como uma importante aliada no apoio aos sistemas de saúde. Ela permite a troca de dados entre diferentes ferramentas utilizadas para armazenar informações dos pacientes, proporcionando resultados mais significativos no cuidado multiprofissional (CARDOSO, 2024).

A interoperabilidade está classificada em níveis. A troca de informações ocorre de forma precisa, dependendo de protocolos como o HL7 FHIR, com o uso de forma padronizada, dentro do contexto de uma Interoperabilidade Estrutural.

Sobre a Interoperabilidade Semântica, a troca de informações de diferentes sistemas demanda que eles estejam conectados, para garantir que esses dados sejam

transmitidos de maneira fidedigna e rápida. Por fim, a Interoperabilidade Organizacional fundamenta-se na colaboração entre as instituições de saúde, considerando fatores fundamentais e regulatórios que garantam a padronização dos processos da troca de dados em linha global, melhorando a comunicação dentro do ambiente administrativo e até mesmo a gestão de leitos, através de regulação entre hospitais.

Para que os sistemas e os demais equipamentos médicos, como ventiladores mecânicos, bombas de infusão contínua, camas hospitalares, entre outros, possam se comunicar, o barramento de interoperabilidade é um componente crítico nas arquiteturas de integração, pelo fato de proporcionar uma comunicação eficiente entre diferentes serviços e aplicações, garantindo uma troca de informações padronizada e segura.

Figura 2 – barramento de interoperabilidade em unidade hospitalar



Fonte: DATASUS – Ministério da Saúde (2014)

## 2.2 O Modelo OSI na Integração com HL7

A arquitetura de integração entre dispositivos médicos pode ser construída com ênfase na utilização do protocolo HL7 (Health Level Seven), que atua na camada de aplicação do modelo OSI (Open Systems Interconnection), uma estrutura de comunicação em sete camadas proposta pela ISO (International Organization for Standardization). Este modelo, amplamente reconhecido, permite compreender os diferentes

níveis envolvidos na troca de dados entre sistemas, sendo essencial para o desenvolvimento de soluções interoperáveis na área da saúde.

O modelo OSI é composto por sete camadas funcionais: Física, Enlace de Dados, Rede, Transporte, Sessão, Apresentação e Aplicação (Tanenbaum; Wetherall; Vieira, 2011). Essa divisão tem como objetivo isolar as ações envolvidas na comunicação entre dispositivos, promovendo uma padronização e interoperabilidade. No campo da saúde digital, essa arquitetura torna-se útil para mapear os diferentes componentes envolvidos na troca de informações nos ambientes hospitalares relacionados ao padrão HL7. De tal forma, o protocolo HL7 opera na camada de aplicação de nível sete, que é responsável pela interface direta com os sistemas de software e usuários finais, destacando-se como uma solução voltada à padronização da estrutura e conteúdo das mensagens trocadas entre tais sistemas.

Tabela 1 – camadas OSI em relação ao padrão HL7

Camada OSI	Nº	Função Principal	Exemplos	Relação com HL7
Aplicação	7	Interface com o usuário e as aplicações; define os protocolos de alto nível	SSL/TLS, ASCII	<b>HL7 v2.x e HL7 FHIR</b> atuam diretamente nesta camada
Apresentação	6	Tradução de dados. compressão, criptografia	SSL/TLS, JPEG	Não aplicável diretamente, FHIR pode usar TLS para segurança
Sessão	5	Gerenciamento de sessões de comunicação	NetBIOS, RPC	FHIR pode se beneficiar do controle de sessão via HTTP
Transporte	4	Comunicação de ponta a ponta; controle de fluxo e erros	TCP, UDP	HL7 v2.x usa TCP com MLLP, FHIR usa HTTP sobre de TCP
Rede	3	Endereçamento e roteamento entre redes	IP, ICMP, roteadores	Não aplicável diretamente
Enlace de Dados	2	Comunicação entre dispositivos na mesma rede	Ethernet, switches	Não aplicável diretamente

Fonte: elaboração própria, 2025.

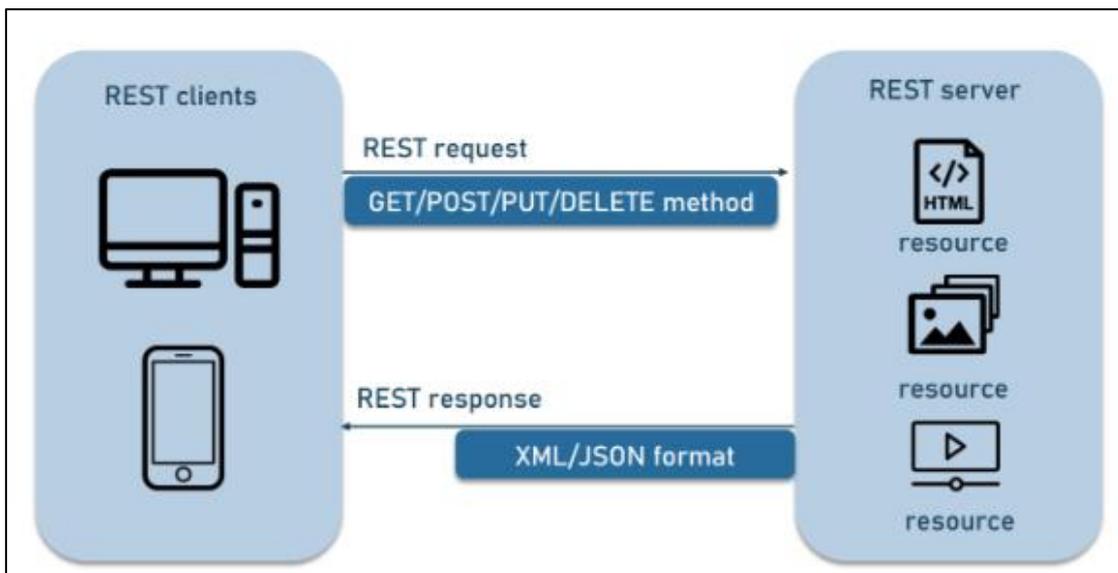
Apesar de sua atuação principal na camada superior, o HL7 depende diretamente das camadas inferiores do modelo OSI para garantir a entrega eficaz e segura das mensagens, como visualizado na Tabela 1. Com a evolução do padrão para o HL7 FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources), a integração com o modelo OSI torna-se ainda mais clara. O FHIR adota tecnologias web modernas, como HTTP/HTTPS, além de utilizar formatos de dados como JSON e XML, atuando também nas camadas de codificação de dados e autenticação e gerenciamento de

sessões seguras, onde essa abordagem, torna-se especialmente relevante para arquiteturas modernas baseadas em APIs RESTful, foco do presente projeto.

Assim, compreender a correspondência entre o HL7 e o modelo OSI permite projetar soluções que garantam interoperabilidade técnica e semântica, promovendo a integração segura, confiável e escalável de sistemas em ambientes hospitalares.

Para melhor utilização destes recursos, um servidor de dados com interface API RESTful será de grande importância. Esta interface de programação de aplicações (API) poderá permitir tais integrações através de conexões de componentes, baseada no estilo arquitetônico REST de transferência de estado representacional, oferecendo flexibilidade para interpretar diferentes tipos de dados e sistemas. É fácil de ser implementada e oferece compartilhamento de recursos com eficácia e velocidade, de acordo com a representação da Figura 3.

Figura 3 – representação de troca de mensagens entre cliente/servidor, através de linguagens de programação, utilizando HL7



Fonte: InterOpera, (2025)

Através da análise dos estudos científicos em saúde, pode-se averiguar a comprovação de avanços nos serviços de saúde públicos, nos quais a pesquisa clínica assume um papel fundamental na geração de evidências de melhorias concretas na assistência. Entretanto, o tratamento dos dados oriundos desses estudos envolve diversos recursos e procedimentos, que necessitam de equipamentos técnicos e atores

interessados para a execução (Shortliffe; Cimino, 2014). A adequação da estrutura de redes e equipamentos de TIC nas unidades hospitalares é de grande relevância nesta situação, pelo fato de agilizar a troca de informações, principalmente com o uso de uma rede de dados lógica, barateando custos e com um nível de segurança elevado.

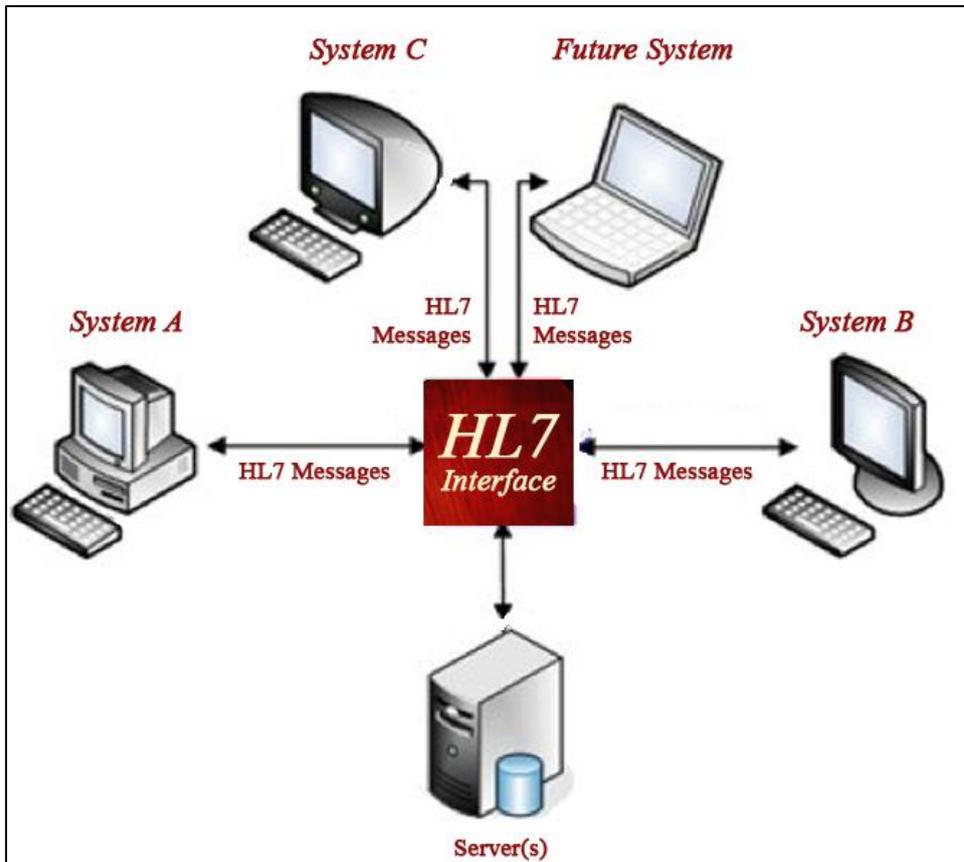
Para que se obtenha um ganho ágil de desempenho e continuidade, faz-se imperativo o uso de um manual do usuário, que precisará ser desenvolvido tomando como base todas as rotinas de usabilidade, com imagens das telas e caminhos de acesso, assim como os resultados das execuções das ações.

Atente-se a um padrão de troca de mensagens que foi desenvolvido em 1987 pelo Dr. Ed Hammond, da Duke University, mencionado no início desta dissertação, que fundou a Health Level Seven (HL7), organização sem fins lucrativos certificada pela American National Standards Institute (ANSI). A *HL7 International* é responsável pelo desenvolvimento de padrões, credenciada pela ANSI, e é a autoridade global em interoperabilidade para tecnologia da informação em saúde.

O padrão definido pelo HL7 é utilizado para a troca de informações entre aplicações de saúde, definindo o formato e o conteúdo das mensagens que as aplicações devem utilizar quando estiverem trocando dados entre si, sob circunstâncias clínicas ou administrativas (Kabachinski, 2006).

Ainda segundo Kabachinski (2006), o uso de HL7 permite uma comunicação fracamente acoplada entre aplicações independentes e que estão em rede compartilhada. Projetado para facilitar a troca de dados entre aplicações de forma confiável e segura, com uma interface que pudesse solucionar a falta de comunicação entre os sistemas nos hospitais que comportam diversas versões e módulos de sistemas para acompanhamento dos pacientes, como nos setores administrativo, logístico, equipamento, consultas, admissão, planejamento, finanças, automação laboratorial, dentre outros, conforme Figura 4.

Figura 4 – esquema de representação para troca de informação entre sistema distintos, utilizando HL7.



Fonte: Rades, 2025.

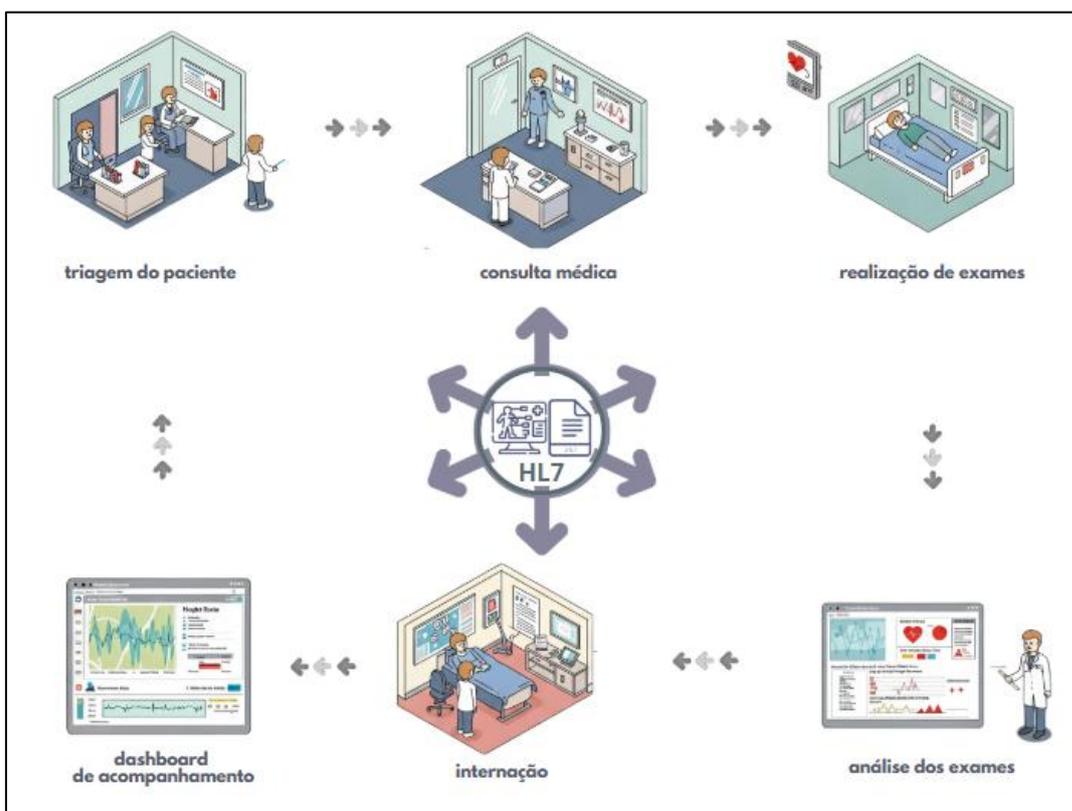
O padrão HL7 é a maior evidência de padronização, e mais reconhecido no campo da informática em saúde. O seu padrão mais recente, o HL7 FHIR, é um protocolo aberto, moderno e líder em interoperabilidade sendo, portanto, ideal para atuar como Fonte de inspiração e repositório das melhores práticas digitais em relação ao domínio clínico (Kilintzis et al., 2019).

HL7 FHIR tem o potencial de solucionar vários problemas de interoperabilidade que causam o longo impedimento da informática em atingir seu impacto na qualidade da saúde pública, na relação de custo-benefício e na segurança de dados. Isso ocorre devido à premissa de promover um acesso mais aberto e facilitado aos dados clínicos, com devidas permissões, além de oferecer o potencial do paciente agregar facilmente seus dados de saúde de quaisquer provedores que mantenham eles. Assim, o usuário pode gerenciar e utilizar esses dados em aplicações de sua preferência e na decisão de contribuir em pesquisas clínicas (Braunstein, 2018).

## 2.3 Arquitetura dos padrões HL7

Para um melhor entendimento sobre HL7, é essencial saber a respeito dos padrões já desenvolvidos. A interoperabilidade entre sistemas de informação em saúde é um requisito essencial para o aprimoramento na troca de informações, assim como para entender o melhor padrão a ser utilizado, preservando o compartilhamento e integridade dos dados clínicos. Por isso, a organização Health Level Seven International (HL7) desenvolveu padrões reconhecidos mundialmente, com o objetivo de possibilitar a comunicação eficiente entre sistemas heterogêneos no campo da saúde.

Figura 5 – representação do trâmite processual dos pacientes



Fonte: adaptado de BRAINLAB, (2025).

### 2.3.1 Padrão HL7 2.x

A versão HL7 2.x é um padrão que foi originalmente projetado para suportar os fluxos de trabalho corriqueiros de hospitais, abrangendo processos como admissão, alta, transferência de pacientes, resultados laboratoriais, exames, faturamento, entre outras rotinas.

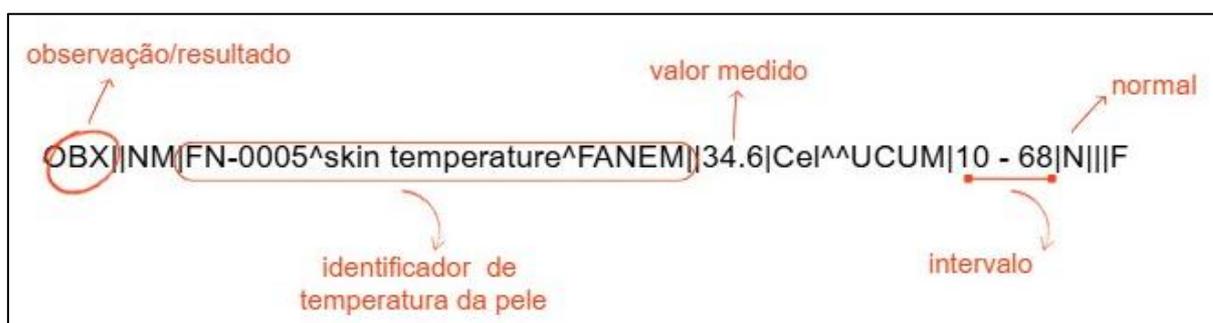


Uma das grandes características está associada a compatibilidade com versões anteriores, permitindo uma possibilidade mais simples de comunicação de sistemas legados, de tal forma, reduzindo custos de implementação e atualização.

Este padrão introduziu avanços no suporte a novos cenários clínicos e administrativos, como o aprimoramento no reporting de alergias, novas formas de codificação diagnóstica e funcionalidades ampliadas para segurança e privacidade de dados sensíveis, como no ambiente industrial, amplamente utilizado internacionalmente por indústrias de tecnologias de saúde, sendo especialmente relevante em contextos em que a interoperabilidade é fundamental em todo o processo.

Assim como o princípio do padrão HL7 2x, os delimitadores compõem cada linha da troca de mensagens identificando as ações de envio e recebimento das requisições, como melhor demonstrado na figura a seguir.

Figura 7 – detalhamento dos delimitadores de troca de mensagens HL7 v2.8



Fonte: autoria própria, 2025.

### 2.3.3 Padrão HL7 3.0

Representando um avanço em relação ao padrão 2.x, o padrão HL7 3.0 utiliza uma abordagem baseada em documentos e XML, com uma apresentação mais precisa dos dados clínicos. Comparando as duas versões, percebe-se que a HL7 3.0 sana algumas limitações da 2.x, tais como uma base conceitual única de mensagens utilizada no Modelo RIM (Reference Information) e XML (Extensible Markup Language) e utilizando um padrão de formatação de mensagens que facilita o processamento.

A evolução da versão HL7 3.0 também é percebida na utilização de serviços web e tecnologias afins, mostrando uma integração mais flexível através de protocolos

para troca de informações, como o SOAP (Simple Object Access Protocol). Este define um conjunto de regras para o formato das mensagens, assim como elas devem ser processadas e como a comunicação deve ocorrer, oferecendo mecanismos de segurança como criptografia e autenticação, chancelando uma entrega confiável das mensagens trocadas.

Importante mencionar também os perfis de mensagens, que especificam a utilização em determinados contextos, tornando-se um padrão mais robusto, semanticamente interoperável e capaz de suportar os fluxos de trabalho presentes na área da saúde. Outro ponto relevante reside nas características deste padrão, na sua metodologia orientada a objetos, que adota princípios para modelagem das informações, além de promover uma reusabilidade de componentes e facilitar sua manutenção.

No exemplo a seguir, visualizado na Figura 8, retrata-se uma troca de mensagens seguindo o padrão HL7 3.0 no formato XML, mostrando os dados do paciente, dos sistemas abordados e a identificação da mensagem.

Figura 8 – exemplo de troca de mensagens do padrão HL7 3.0

```
<PRPA_IN101001UV02 xmlns="urn:hl7-org:v3" ITSVersion="3.0">
  <id root="2.16.840.1.113883.1.6"/>
  <creationTime value="20250426110000"/>
  <interactionId root="2.16.840.1.113883.1.6" extension="PRPA_IN101001UV02"/>
  <processingCode code="P"/>
  <processingModeCode code="T"/>
  <acceptAckCode code="AL"/>
  <receiver typeCode="RCV">
    <device classCode="DEV" determinerCode="INSTANCE">
      <id root="1.2.3.4.5.6.7.8.9"/>
    </device>
  </receiver>
  <sender typeCode="SND">
    <device classCode="DEV" determinerCode="INSTANCE">
      <id root="9.8.7.6.5.4.3.2.1"/>
    </device>
  </sender>
  <controlActProcess classCode="CACT" moodCode="EVN">
    <subject typeCode="SUBJ">
      <registrationEvent classCode="REG" moodCode="EVN">
        <subject1 typeCode="SBJ">
          <patient classCode="PAT">
            <id extension="123456" root="2.16.840.1.113883.3.7.123.1"/>
            <statusCode code="active"/>
            <patientPerson classCode="PSN" determinerCode="INSTANCE">
              <name>
                <given>Marcus</given>
                <family>Paulo</family>
              </name>
              <administrativeGenderCode code="M"/>
              <birthTime value="19800115"/>
              <addr>
                <streetAddressLine>Rua flavio Ribeiro Coutinho, 500</streetAddressLine>
                <city>Joao Pessoa</city>
                <state>PB</state>
                <postalCode>58454000</postalCode>
                <country>BR</country>
              </addr>
              <telecom value="tel:+558350001234"/>
            </patientPerson>
          </patient>
        </subject1>
      </registrationEvent>
    </subject>
  </controlActProcess>
</PRPA_IN101001UV02>
```

### 2.3.4 Padrão HL7 FHIR

A versão HL7 FHIR representa a evolução mais recente do padrão, sendo mais leve, flexível e adaptada ao uso de tecnologias web. Além disso, oferece outros recursos importantes, como padrões conceituais (por exemplo, o HL7 RIM), padrões para documentos clínicos (como o HL7 CDA) e normas para integração de aplicações (como o HL7 CCOW) Health Level Seven International, 2021c.

Como forma de acompanhar a análise dos dados gerados, a adoção de soluções que possam gerar uma visualização em ambientes gráficos é de extrema importância, por exemplo através de dashboards. Isto permite o entendimento das métricas e indicadores de desempenho de forma visual e interativa, com a possibilidade de cruzar dados, como entrada de paciente com tempo de internação, mostrando a evolução medicamentosa durante o período, quantidade de cirurgias realizadas em pacientes de faixa de idade específica, propiciando rapidez na tomada de decisões e monitoramento preciso, conforme Figura 9.

Figura 9 – dashboard para acompanhamento e gestão de pacientes



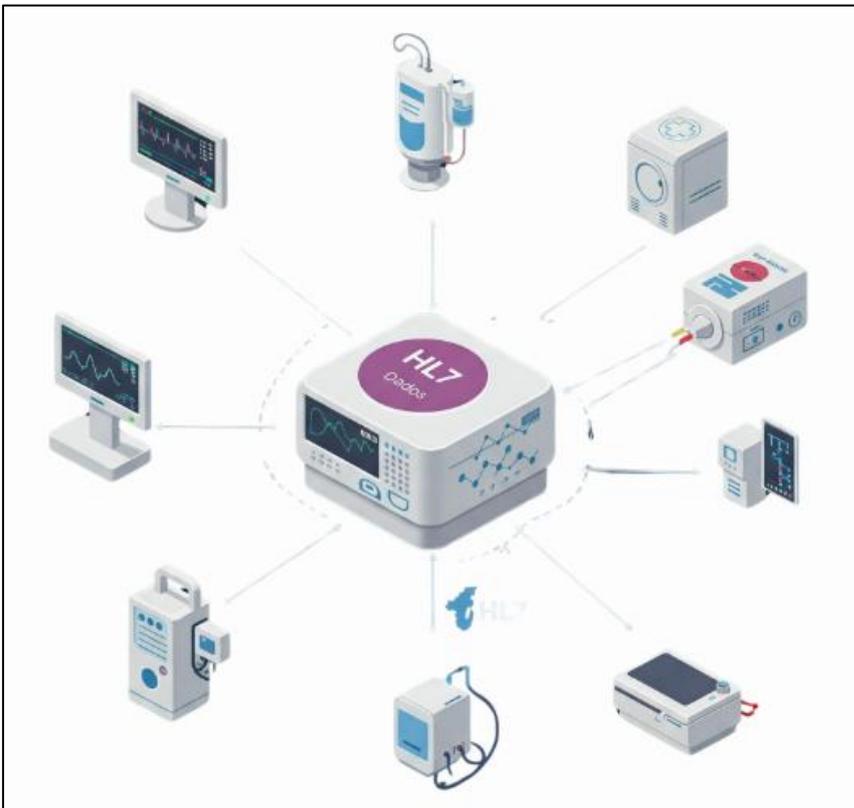
Fonte: Microsoft, 2023.

O padrão HL7 FHIR possui características distintas, com boa adaptação ao âmbito da saúde, sendo considerado pelos especialistas como o padrão mais promissor da HL7, com potencial para ampla aplicação. Suas principais características são flexibilidade e facilidade de implementação, um modelo simplificado para troca de dados, no qual o FHIR define tanto os protocolos de transmissão, como REST e SOAP, quanto os formatos de conteúdo, incluindo JSON, XML e RDF.

O tempo gasto para reunir os dados entre os sistemas distintos no HL7 FHIR é muito menor, já sendo adotado em larga escala pela indústria médica, o que mostra sua relevância. Destaca-se seu requisito funcional relevante, como o desenvolvimento ágil, que facilita o desenvolvimento de soluções de forma simples e rápida, reduzindo o tempo total.

Relacionado ao grande volume de dados e transações, entre diversos dispositivos vinculados a interpretadores otimizados, resulta em ganho significativa, para que não resulte em sobrecarga de caracteres de codificação, de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – representação da troca de mensagens, entre diversos dispositivos, utilizando o padrão HL7 FHIR.



Com relação à coleta de informações, ela está diretamente baseada em gatilhos, que permitem facilitar a comunicação entre parceiros comerciais e sistemas pré-estabelecidos com autenticação, facilitando uma gestão da interoperabilidade através da internet. Eles também fornecem uma visão holística para consultas em todos os recursos, viabilizando tomadas de decisões ágeis, oferecendo acesso a dados no nível de objeto em forma de recursos, o que simplifica a interação com diferentes tipos de dados em uma transação, com uma interoperabilidade facilitada. Desta forma, as organizações podem executar a interoperação de dados clínicos, financeiros e operacionais de maneira simplificada, utilizando um padrão único.

As principais vantagens do padrão HL7 FHIR incluem o estabelecimento de uma especificação comum para compartilhamento de informações entre profissionais de saúde.

Em linhas gerais, para que se possa suprir a necessidade de atualização das demandas crescentes das complexas trocas de informações em saúde, a adoção da versão HL7 3.0 torna-se viável, mas começa a perder espaço para a versão HL7 FHIR, o padrão mais recente, com uma abordagem flexível e leve. A Tabela 2 traz um comparativo entre as três versões HL7 mencionadas para melhor visualização das diferenças entre cada uma.

Tabela 2 - Comparação entre HL7 v2, HL7 v2.8, HL7 v3 e HL7 FHIR

Aspecto	HL7 v2	HL7 2.8	HL7 v3	HL7 FHIR
Ano de criação	1989	2011	Início dos anos 2000	2014
Formato de mensagem	Texto com delimitadores ( )	Delimitadores ( ), (^) e introdução a XML	XML estruturado	XML, JSON, RDF
Modelo de dados	Sem modelo unificado	Sem modelo unificado, mas mais flexível para novos dados clínicos	Baseado no RIM ( <i>Reference Information Model</i> )	Baseado em recursos reutilizáveis
Facilidade de uso	Simple, mas inconsistente	Melhor consistência e validação de mensagens	Complexo e difícil	Simple, moderno e intuitivo
Integração com web	Limitada	Integração inicial com XML	Limitada	Suporte nativo (REST APIs e OAuth2)
Extensibilidade	Manual	Extensibilidade maior, com suporte progressivo à personalização	Alta, porém complexa	Alta, com perfis personalizáveis
Interoperabilidade	Baixa a moderada	Moderada, melhorias na validação e rastreabilidade	Alta (teórica)	Alta (prática e eficiente)
Adoção na indústria	Amplamente usada, especialmente em sistemas legados	Muito utilizada em hospitais, laboratórios e ambientes clínicos	Pouca adoção prática	Crescente e moderna
Ferramentas de suporte	Limitadas	Suporte expandido para autenticação, validação e segurança	Complexas e específicas	Ferramentas modernas, com comunidade ativa
Validação automática	Limitada	Automatização ampliada e validações mais robustas	Possível, mas trabalhosa	Validação ampla e facilitada

Fonte: autoria própria, 2025.

## 2.4 Servidores RESTful e APIs em ambientes de saúde

A integração do padrão HL7 FHIR desempenha um papel central na interoperabilidade de sistemas de saúde, possibilitando a troca estruturada e padronizada de informações clínicas entre diferentes plataformas. Nesse contexto, é fundamental abordar os parâmetros que regem a troca de mensagens, na qual os dados clínicos são encapsulados em estruturas de requisições que se comunicam de maneira eficiente e segura.

Essas requisições, geralmente implementadas por meio de arquiteturas de APIs e servidores RESTful, permitem a interação fluida entre sistemas, utilizando serviços web que seguem os princípios de comunicação orientada aos recursos ofertados. A troca de mensagens ocorre predominantemente por meio dessas interfaces, que suportam operações como criação, leitura, atualização e exclusão de recursos clínicos, garantindo a interoperabilidade e a integridade dos dados em ambientes heterogêneos. Este processo é sustentado por padrões bem definidos, como o uso de formatos JSON ou XML para representação de dados, além de mecanismos de autenticação e autorização.

A título de esclarecimento, o termo Rest (REpresentational State Transfer) é um estilo arquitetural que foi proposto por Roy Thomas Fielding em 2000, em sua dissertação de PhD (Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures). Ele buscou criar uma arquitetura para sistemas distribuídos que fosse escalável, simples e que utilizasse os padrões da web de maneira eficaz, uma vez que Fielding foi um dos principais autores das especificações dos protocolos HTTP.

Os ideais que norteiam o Rest estão baseados em características principais, como no modelo Cliente-Servidor, onde a comunicação ocorre entre dois agentes, em rede, sendo um agente considerado cliente e outro considerado servidor. O cliente faz requisições ativamente que devem ser respondidas pelo servidor, embora, neste caso, tanto o agente servidor quanto o cliente podem implementar estratégias de caching, com vistas à melhoria da performance de rede, que é percebida pelo usuário.

O agente servidor não deverá manter nenhum tipo de estado entre duas ou mais requisições, uma única requisição deve conter todos os parâmetros necessários para ser atendida sem ter de contar com nenhum tipo de memória do agente servidor, e a comunicação entre cliente e servidor deve ocorrer através de camadas (arquitetura pipe-and-filter). Outras camadas podem ser adicionadas para melhorar a performance do sistema.

A troca de mensagens entre cliente e servidor deve ocorrer através de interfaces uniformes, ou assemelhadas, tanto em modo quanto em formato.

Uma API promove a conexão entre usuários e sistemas, sem a necessidade de estruturas de desenvolvimento, o que é demonstrado por alguns desses recursos, como implementação do padrão Restful.

O termo “\_include”, permite pesquisar instâncias e incluir nos resultados outros recursos referenciados pelas instâncias de destino, como em consultas de medicamento, limitando a um paciente específico.

Exemplo de consulta:

```
GET {{FHIR_URL}}/MedicationRequest?_include=MedicationRequest:patient
```

A utilização de modificadores de pesquisa são uteis para retornar pesquisas sem um valor determinado, como no caso de um paciente que, precisa identificar qual o sexo ou listar apenas pacientes do sexo masculino.

Exemplo de consulta:

```
GET {{FHIR_URL}}/Patient?gender:not=female
```

Um dos grandes avanços do FHIR está relacionado a utilização de APIs, usando o recurso de POST, com “\_search” como parâmetro, sendo possível realizar consultas dentro de um formulário.

Exemplo de consulta:

```
POST {{FHIR_URL}}/Patient/_search  
content-type: application/x-www-form-urlencoded  
name=Janio
```

Dentro do padrão FHIR, um dos formatos mais utilizados é o JSON, que são usualmente transmitidos, armazenados e consultados, especialmente em arquiteturas RESTful, por ter uma sintaxe simples e mais direta que o formato XML, apresentam menor sobrecarga computacional, permitindo uma troca de mensagens mais rápida e simples, além de fácil integração com APIs nativas.

Avaliando de forma macro, o formato JSON está presente em uma quantidade significativa de aplicações em saúde, demonstrando um padrão ideal para integrações de sistemas. A exemplo de uma estrutura de atributos do formato JSON, poderíamos citar “resourceType”, que indica o tipo de entidade atribuída, como por exemplo Patient ou Observation, etc, de acordo com a Figura 11.

Figura 11 – exemplo de código JSON em uma estrutura HL7 FHIR

```
{
  "resourceType": "Observation",
  "id": "example",
  "status": "final",
  "code": {
    "coding": [
      {
        "system": "http://uepb.edu.br",
        "code": "58036-820",
        "display": "Body Weight"
      }
    ]
  },
  "subject": {
    "reference": "patient/1504"
  },
  "valueQuantity": {
    "value": 99,
    "unit": "kg"
  }
}
```

Fonte: adaptado de ORACLE, (2022)

De modo geral, o padrão HL7 permanece amplamente presente no contexto clínico, sendo utilizado tanto em sistemas legados, que adotam as versões 2.x e 3.0, quanto em soluções mais recentes, baseadas no padrão FHIR. Sua aplicação é recorrente em uma diversidade de sistemas, como Laboratorial Information Systems (LIS), Electronic Health Records (EHR) e Hospital Information Systems (HIS), além de sistemas de Radiology Information System (RIS), evidenciando sua importância na integração entre diferentes plataformas de saúde.

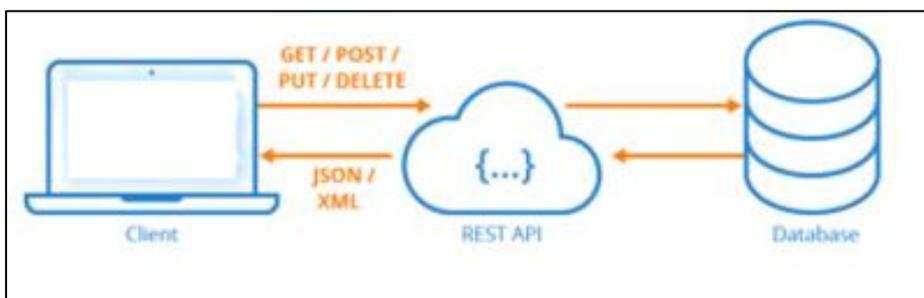
No que diz respeito à troca de mensagens, o HL7 facilita a configuração de diversas rotinas, abrangendo desde a triagem e o cadastro de pacientes, até etapas específicas como consulta médica, realização de exames, administração de medicamentos, internação, monitoramento em tempo real da situação clínica, atualização do quadro evolutivo e alta hospitalar, entre outras informações relevantes. Cada mensagem é composta por uma estrutura detalhada, projetada para atender às

particularidades do evento clínico correspondente, promovendo a interoperabilidade e o fluxo eficiente de informações entre distintos sistemas.

Servidores RESTful (Representational State Transfer) têm sido adotados em diversos sistemas de saúde, desde prontuários eletrônicos, farmacêuticos, aplicações de atendimento remoto, integrações hospitalares e soluções de saúde como um todo, viabilizando casos de uso de grande relevância, como percebidos no registro eletrônico de paciente acessível entre diferentes instituições, no compartilhamento de resultados laboratoriais em tempo real, além da sincronização de informações clínicas para pesquisa ou análises populacionais.

Este trabalho contará com suporte de linguagem de programação baseado em ambiente web, além de princípios RESTful, por sua crescente demanda no mercado de saúde, se mostrando essencial para recursos de interoperabilidade e integração ágil entre sistemas de informação em saúde, a adoção de arquiteturas baseadas em tais modelos de servidores, que se tornou uma tendência relevante no ecossistema HL7, aliado ao padrão FHIR.

Figura 12 - representação de consulta em ambiente RESTful API



Fonte: DIARIO DE UM ACD, (2023).

Um servidor RESTful no ambiente HL7 é uma aplicação capaz de receber, processar e responder a requisições de dados clínicos por meio de protocolos web padronizados, tais como HTTP, empregando formatos modernos como JSON e XML, fazendo menção a integrações com APIs (Interface de Programação da Aplicação), como ilustrado na Figura 11, que irão facilitar a integração dos sistemas baseados em arquiteturas web de forma modular e expansível, flexibilizando uma adoção gradual de implementações progressivas de forma constante e segura, integrando com diversos outros sistemas e padrões globais de forma padronizada, como o SNOMED CT

(Systematized Nomenclature of Medicine – Clinical Terms), por ser considerado no meio de saúde o sistema de codificação clínica mais abrangente e detalhado e o ICD (International Classification of Diseases), que padroniza os códigos para doenças, sinais, sintomas, causas externas, entre outros, facilitando estatísticas de morbidade e mortalidade mundial, para um melhor entendimento, elencamos na Tabela 3, um comparativo entre esses dois padrões.

Tabela 3 – principais diferenças entre os padrões SNOMED CT e ICD.

	<b>SNOMED CT</b>	<b>ICD</b>
<b>Tipo</b>	Terminologia clínica detalhada	Classificação de doenças mais ampla
<b>Finalidade</b>	Registro clínico, interoperabilidade	Relatórios, estatísticas, faturamento
<b>Detalhamento</b>	Altamente granular	Categorias e subcategorias resumidas
<b>Organização</b>	Associação Internacional SNOMED	OMS (Organização Mundial da Saúde)

Fonte: autoria própria, 2025.

A flexibilidade, escalabilidade e compatibilidade proporcionadas por servidores RESTful facilitam à integração entre sistemas legados e aplicações contemporâneas, promovendo o intercâmbio de informações de maneira mais segura, estruturada e em tempo real.

No contexto do HL7 FHIR, os servidores RESTful desempenham papel fundamental ao disponibilizar, de forma modular e padronizada, diferentes tipos de recursos de saúde — como pacientes, profissionais, exames, prescrições e eventos clínicos — tornando à interoperabilidade mais acessível, acelerando o desenvolvimento de soluções inovadoras e fortalecendo a conectividade entre instituições de saúde.

No que diz respeito ao transporte dos dados, uma variedade de protocolos pode ser empregada conforme as particularidades do ambiente de saúde e os requisitos de integração. Protocolos tradicionais como TCP/IP, frequentemente combinados com o MLLP (Minimal Lower Layer Protocol), são amplamente utilizados, sobretudo na transmissão de mensagens HL7 em integrações hospitalares clássicas, assegurando uma comunicação confiável entre sistemas.

Além dessas alternativas, métodos de transporte mais modernos, como HTTP, HTTPS e SMTP, vêm sendo adotados, especialmente em soluções baseadas em HL7 FHIR que se beneficiam da arquitetura RESTful.

Dessa forma, a escolha do protocolo de transporte mais apropriado deve considerar não apenas a compatibilidade tecnológica e a performance, mas também aspectos críticos de segurança e conformidade normativa, de acordo com as necessidades específicas do cenário clínico e dos dados a serem integrados.

## **2.5 Tecnologias de rede hospitalar (Ethernet, cabeamento estruturado)**

Toda empresa de grande e médio porte e muitas empresas pequenas têm uma dependência vital de informações computadorizadas. A maioria das empresas tem registros de clientes, estoques, contas a receber, extratos financeiros, informações sobre impostos e muitas outras informações on-line. Se todos os computadores de um banco sofressem uma pane, ele provavelmente não duraria mais de cinco minutos. Uma instalação industrial moderna, com uma linha de montagem controlada por computadores, não duraria nem isso. Hoje, até mesmo uma pequena agência de viagens ou uma firma jurídica com três pessoas depende intensamente de redes de computadores para permitir aos seus funcionários acessarem informações e documentos relevantes de forma instantânea (Tanenbaum; Wetherall; Vieira, 2011).

O avanço das redes de computadores transformou profundamente os processos que dependem de comunicação, exigindo que operações de diferentes naturezas estejam integradas em uma infraestrutura de rede unificada. Esse cenário abrange desde atividades cotidianas, como o trabalho de um corretor de imóveis que utiliza a conectividade para cadastrar e ofertar imóveis online, até profissionais da saúde, como fisioterapeutas, que dependem de sistemas interconectados para consultar guias e autorizações de planos de saúde. A relevância das redes de computadores é ainda mais evidente em contextos de serviços essenciais, como nas unidades hospitalares, onde a comunicação eficiente entre setores é crucial. Por exemplo, a recepção realiza o primeiro atendimento, encaminhando o paciente ao setor de triagem e, posteriormente, ao consultório médico específico. Esse fluxo, aliado às recomendações médicas subsequentes, depende de uma rede de dados robusta e integrada para garantir a execução fluida e eficaz dos serviços, promovendo agilidade, precisão e interoperabilidade em ambientes complexos, interligados por uma rede Ethernet.

Dentro do conceito de rede de dados, o padrão Ethernet é uma tecnologia que permite disponibilizar uma conexão física entre computadores, switches, roteadores, impressoras, equipamentos médicos e dispositivos fins em uma rede local, através de

cabos de rede com a vantagem de ser escalável dependendo da quantidade de dispositivos conectados.

A tecnologia Ethernet foi criada nos anos 1970 na Xerox em Palo Alto Reserch Center (PARC) na Califórnia, pelos engenheiros Robert Metcalfe e David Boggs para facilitar a comunicação entre os computadores da empresa, baseado em um projeto anterior desenvolvido pela Universidade do Havaí, que utilizava uma rede de dados via rádio, para comunicação entre os habitantes da ilha.

Inicialmente a taxa de transmissão de dados chegava ao máximo a 3 Mbps, apesar de uma velocidade modesta comparada aos padrões atuais, foi um grande avanço à época e serviu como base para o desenvolvimento da evolução dos padrões de Ethernet como o 10BASE-T e demais padrões evolutivos.

Com o avanço das redes de comunicação, padrões foram desenvolvidos e institutos de regulação criados (Tabela 4), como o IEEE (Institute of Electrical Eletronics Engineers) que mantém atualiza e revisa as especificações do padrão Ethernet, definindo conjuntos de regras de rede com e sem fio, incluindo protocolos e velocidades de transmissão, topologias, meios físicos e outros aspectos relacionados.

Tabela 4 – padrões de rede Ethernet

<b>Padrão Ethernet</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Ano de Introdução</b>	<b>Uso Comum</b>
10BASE-T	10 Mbps	Original (1980s)	Redes LAN básicas
Fast Ethernet (100BASE-T)	100 Mbps	1995	Expansão de redes LAN
Gigabit Ethernet (1000BASE-T)	1 Gbps	1999	Padrão para redes modernas
2.5GBASE-T	2.5 Gbps	2016	Redes empresariais
5GBASE-T	5 Gbps	2016	Redes empresariais
10GBASE-T	10 Gbps	2002	Redes de alta performance
25/40/50/100/400 Gigabits Ethernet	25-400 Gbps	Variados (2010s em diante)	Datacenters e telecomunicações

Fonte: adaptado de Tanenbaum; Wetherall; Vieira, 2011.

Associado ao padrão Ethernet, o planejamento meticuloso do cabeamento estruturado é essencial para garantir a estabilidade, segurança e confiabilidade de uma rede de dados em unidades hospitalares. Esse planejamento deve estar

intrinsecamente alinhado a um sistema de cabeamento estruturado bem definido, que siga normas e práticas internacionais para organizar a infraestrutura de rede. Tal abordagem permite suportar múltiplas aplicações, como sistemas de gestão hospitalar e troca de dados clínicos, além de possibilitar expansões futuras sem a necessidade de modificações significativas na infraestrutura. Em um ambiente hospitalar, qualquer ajuste na rede representa um procedimento crítico, dado o impacto potencial na operação e na segurança dos processos, o que reforça a importância de uma implementação robusta e estrategicamente planejada.

Segundo Oliviero e Woodward (2014), o cabeamento estruturado é projetado para ser independente de tecnologias específicas, o que o torna adaptável a diferentes protocolos e equipamentos. Essa característica é crucial em um cenário onde a evolução tecnológica é constante, como destacado por Stallings (2016), que enfatiza a importância de sistemas de cabeamento que atendam às demandas de largura de banda crescentes.

A adoção do cabeamento estruturado destaca-se como uma estratégia fundamental para otimizar o desempenho, a adaptabilidade e a segurança das redes de comunicação em unidades hospitalares. Sua concepção e implementação, quando realizadas com rigor técnico, representam investimentos estratégicos que asseguram a sustentabilidade e a evolução tecnológica da infraestrutura de rede. Esse sistema possibilita um fluxo contínuo e confiável de troca de informações entre os setores hospitalares, promovendo maior eficiência operacional e suportando a integração de tecnologias avançadas, como sistemas de gestão hospitalar e comunicação de dados clínicos, em um ambiente onde a confiabilidade e a agilidade são imprescindíveis.

## **2.6 Plataformas de monitoramento clínico e integração com dispositivos**

As plataformas de monitoramento clínico representam uma evolução significativa na área da saúde, permitindo o acompanhamento contínuo de pacientes por meio da integração de dispositivos médicos e tecnologias de informação. Essas plataformas combinam sensores, dispositivos vestíveis (*wearables*), sistemas de software e conectividade em rede cabeada para coletar, processar e analisar dados clínicos em tempo real. Dentro do ambiente hospitalar as plataformas de monitoramento interligam os dispositivos médicos, como monitores de frequência cardíaca, oxímetros,

dispositivos de eletrocardiograma, sensores de glicose e demais índices a sistema que armazenam e processam essas informações para análise clínica.

A norma HL7 e o padrão FHIR são amplamente utilizados para garantir a interoperabilidade entre dispositivos e plataformas de monitoramento, conforme destacado por Braunstein (2018). Esses padrões permitem que dados coletados por dispositivos heterogêneos sejam integrados em sistemas de prontuários eletrônicos e plataformas de monitoramento clínico, facilitando o acesso por profissionais de saúde. Além disso, a integração com dispositivos vestíveis, como smartwatches e pulseiras inteligentes, tem expandido o monitoramento e controle dos índices dos pacientes dentro do ambiente de saúde.

A integração de dispositivos médicos com plataformas de monitoramento clínico oferece benefícios significativos, pelo fato do monitoramento contínuo permitir a detecção precoce de anomalias, como arritmias cardíacas ou picos de glicose, possibilitando intervenções rápidas, gerando um ambiente preciso para coleta e tratativa das informações geradas por cada paciente, pois como os dados coletados são específicos, permitindo ajustes em tempo real nos planos de tratamento e acompanhamento, proporcionando uma redução de custos e a melhoria na eficiência do processo em saúde do hospital.

O monitoramento remoto reduz a necessidade de internações frequentes e consultas presenciais, especialmente para pacientes com doenças crônicas, como diabetes e hipertensão. (Bates, 2014). Por essa razão, o uso de dispositivos médicos portáteis possui grande utilidade no acompanhamento do desempenho em saúde dos pacientes, tanto internos como fora do ambiente hospitalar, mostrando que a integração entre esses serviços configurasse como um fator relevante de avanço e prospecção dessas ferramentas.

Por fim, às plataformas de monitoramento clínico, integradas a dispositivos médicos, estão revolucionando o cuidado em saúde, promovendo monitoramento contínuo, personalização do tratamento e maior eficiência no ambiente hospitalar, apesar dos desafios relacionados à segurança, interoperabilidade e usabilidade, os avanços em padrões como FHIR e tecnologias de conectividade estão pavimentando o caminho para soluções mais robustas e acessíveis.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Especificações do sistema proposto

Este estudo foi realizado em ambiente hospitalar, onde simuladores de dispositivos médicos foram interconectados por meio de uma rede lógica, possibilitando a comunicação eficiente com um servidor central de dados, com saída gráfica das informações em painel de monitoramento.

A referida infraestrutura visa otimizar a coleta, o compartilhamento e o aproveitamento dos índices clínicos dos pacientes internados, para promover maior agilidade, segurança e precisão no monitoramento e na gestão das informações de saúde.

#### 3.2 Arquitetura geral e diagrama de blocos

O delineamento do estudo, para sua arquitetura geral, foi caracterizado como uma pesquisa tecnológica centrada no desenvolvimento e validação de um ambiente de integração simulada, contemplando levantamento bibliográfico, análise de padrões HL7, identificação de requisitos técnicos e validação do modelo de simulador proposto em ambiente hospitalar simulado, dentro da estrutura de unidade hospitalar, em áreas específicas ilustradas na planta baixa da Figura 13.

Figura 13 - planta baixa de áreas específicas de unidade hospitalar



Fonte: autoria própria, 2025.

A pesquisa foi embasada em revisão bibliográfica, com o levantamento de publicações sobre integração de dispositivos médicos e padrões HL7, com uma análise documental, baseado no estudo de manuais técnicos dos dispositivos e especificações dos sistemas hospitalares, para que pudesse ser aplicado o dispositivo simulador HL7 em questão.

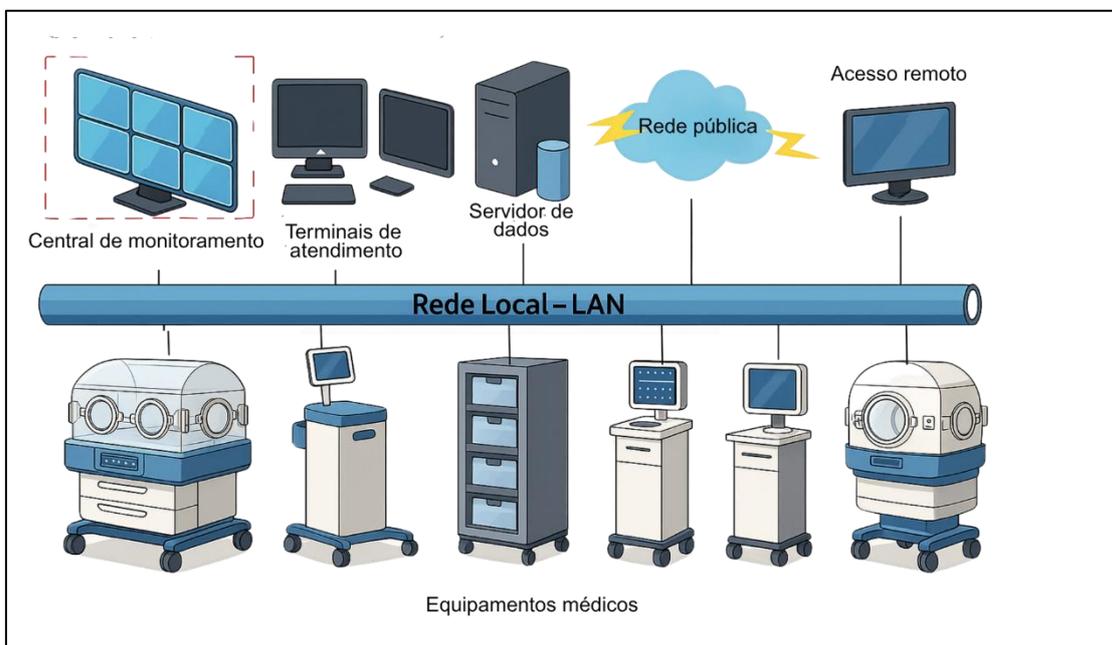
Após o início da implementação, os resultados foram avaliados considerando o simulador, a infraestrutura de rede e as instalações, além dos dados estatísticos dos pacientes, organizados em diferentes seções de acordo com a fase de implantação.

Para viabilizar a coleta dos dados, o estudo previu um hardware vinculado aos leitos hospitalares, processando informações por meio de software específico para monitorar os principais indicadores dos pacientes, tais como glicemia, saturação de oxigênio, parâmetros sanguíneos e temperatura. Esse sistema permitiu a geração de uma base de dados consolidada, que foi apresentada em um dashboard único em videowall de interface intuitiva e de fácil interpretação, aprimorando o acompanhamento do estado clínico dos pacientes pela equipe de saúde. Todo esse ecossistema foi tratado com foco em equipamentos de baixo custo, sem prejuízo de qualidade.

Relacionada ao diagrama de blocos, a plataforma desenvolvida serviu de base para integrar as informações de outros equipamentos e processos existentes na unidade hospitalar, como por exemplo, berços aquecidos, incubadoras, fototerapias, aspiradores, câmaras de conservação, centrífugas, entre outros produtos existentes.

O equipamento trabalhado possui módulo de comunicação que fornece dados que podem ser regulados sobre o funcionamento, informações e sinais coletados do paciente através de controles manuais. Estas informações são coletadas, estruturadas e disponibilizadas para a equipe assistencial que acompanha os pacientes, sendo visualizadas de maneira centralizada, por exemplo, no posto de enfermagem. Neste sentido, o sistema apresentado oferece uma solução para o desenvolvimento de uma plataforma centralizada de informações oriundas de dispositivos médicos e apresenta os dados necessários para o seguimento do enfermo com o devido respeito aos requisitos da LGPD. A prototipagem tem uma arquitetura simplificada, como mostra a imagem da Figura 14, que demonstra a relação e conexão entre os aparelhos médicos e a Central de Monitoramento.

Figura 14 – detalhamento dos dispositivos médicos conectados e Central de monitoramento.



Fonte: adaptado de FANEM, (2023).

### 3.3 Desenvolvimento do módulo simulador do dispositivo médico

A crescente digitalização dos sistemas de saúde tem impulsionado a necessidade de interoperabilidade entre dispositivos médicos e plataformas de gestão clínica, especialmente em ambientes hospitalares onde a troca de informações é crítica para a eficiência operacional e a segurança do paciente. Nesse contexto, o padrão HL7, com seus formatos e protocolos, garantem a comunicação padronizada entre sistemas heterogêneos. Com foco nesse cenário, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um dispositivo médico simulador, concebido para gerar e transmitir dados clínicos simulados no padrão HL7, possibilitando a validação de integrações em ambientes controlados antes da implementação em cenários reais.

Este simulador tem como objetivo replicar o comportamento de equipamentos médicos reais, como monitores de sinais vitais, em um ambiente de teste, permitindo a análise de fluxos de dados, a verificação de conformidade com o protocolo HL7 e a avaliação de desempenho de sistemas hospitalares.

O dispositivo simulador é composto por componentes específicos que, em conjunto, asseguram a geração, o processamento e a transmissão de dados clínicos simulados de maneira estruturada e compatível, sem precisar se dirigir ao ambiente

hospitalar para realizar os testes. A seguir, iremos detalhar os principais componentes que integram o simulador.

Figura 15 – imagem do simulador



Fonte: NUTES, (2023)

Figura 16 – imagem do simulador, com ênfase nas conexões de rede e força



Fonte: NUTES, (2023)

### 3.3.1 Fonte de Alimentação

A Fonte de alimentação é o componente responsável por fornecer energia elétrica estável e contínua ao dispositivo simulador, assegurando seu funcionamento ininterrupto nos ambientes de testes.

Para o dispositivo médico simulado, foi utilizado uma Fonte de alimentação com entrada bivolt entre 127V e 220V e saída regulada de 5V, com um conector de entrada padrão P4.

Figura 17 – Fonte de alimentação 5V com conector P4



Fonte: autoria própria, 2015.

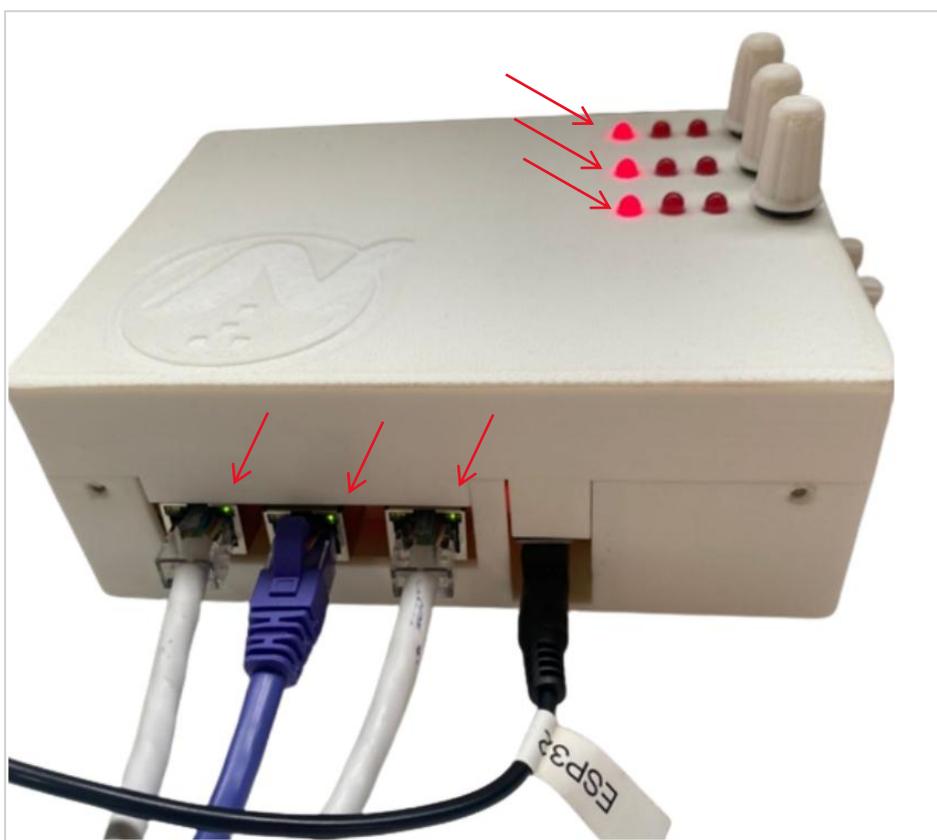
Figura 18 – ênfase para entrada de alimentação de força do simulador padrão P4



Fonte: NUTES, (2023)

Como resultado da alimentação da força ao simulador, os leds vermelhos localizados na parte superior ficarão acessos e os leds verdes que fazem parte da estrutura da saída dos conectores RJ 45 também serão ativados, indicando que existe conexão com o roteador.

Figura 19 – conectores de rede RJ45 e leds de status indicando o funcionamento do simulador



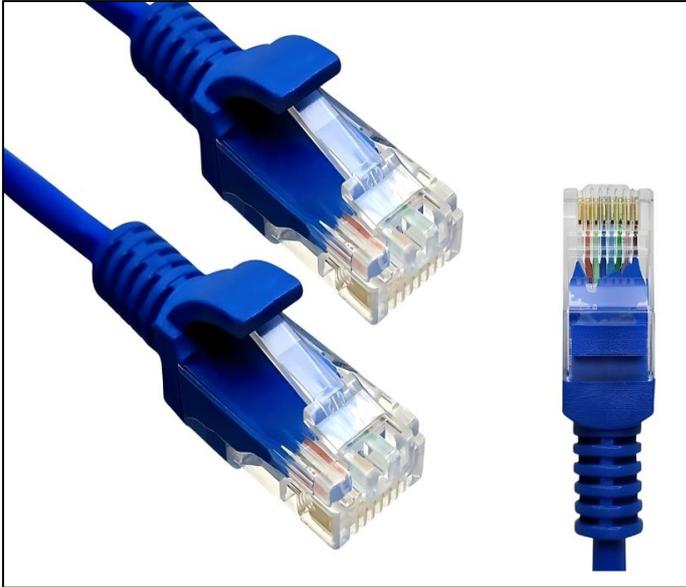
Fonte: NUTES, (2024)

### 3.3.2 Cabos de rede de dados

Para realizar a conexão de dados entre o simulador e a rede local, foram utilizados conectores RJ45, com cabos de rede categoria 5e, para que a latência e a perda de pacotes fossem mínimas.

É importante observar que o cabeamento estruturado foi devidamente planejado para conectar o simulador a roteadores, evitando interferências eletromagnéticas que pudessem comprometer a integridade dos dados.

Figura 20 – cabos de rede de dados cat. 5e e conectores RJ45



Fonte: autoria própria, 2025.

Figura 21 - portas RJ 45 do simulador para conexão dos cabos de rede



Fonte: NUTES, (2024)

### 3.3.3 Roteador de rede

O roteador de rede complementa a conectividade entre os dispositivos, permitindo ao simulador operar na rede local, o que é vantajoso em ambientes hospitalares

onde a estabilidade de rede precisa ser constante. O roteador utilizado ofereceu largura de banda suficiente e suporte a múltiplos dispositivos, sendo ideal para simulações que envolvam acesso local ou integração com terminais móveis.

Figura 22 – roteador de rede de dados



Fonte: TPLINK, (2024)

Figura 23 – equipamento simulador conectado ao roteador de rede

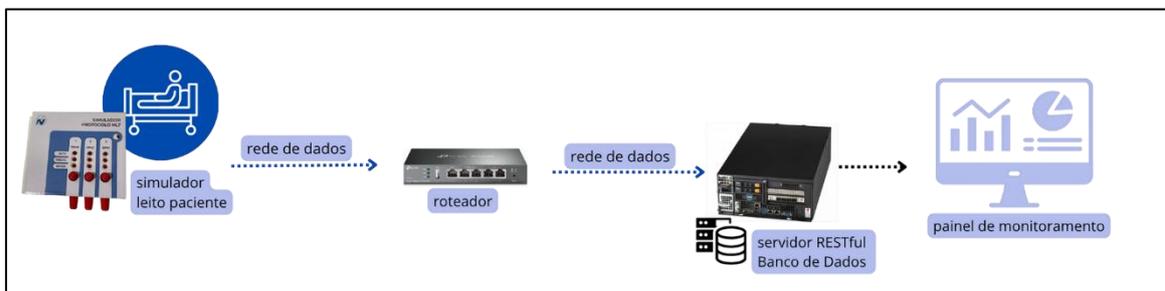


Fonte: NUTES, (2024)

### 3.3.4 Conexão com o computador

A conexão com o computador será estabelecida através do roteador de rede, fazendo uso dos cabos interligados a LAN até o servidor, onde fará a tratativa dos dados e realizará o monitoramento dessas informações captados pelo simulador.

Figura 24 – simulador, rede de dados, switch, servidor e painel de monitoramento



Fonte: autoria própria, 2025.

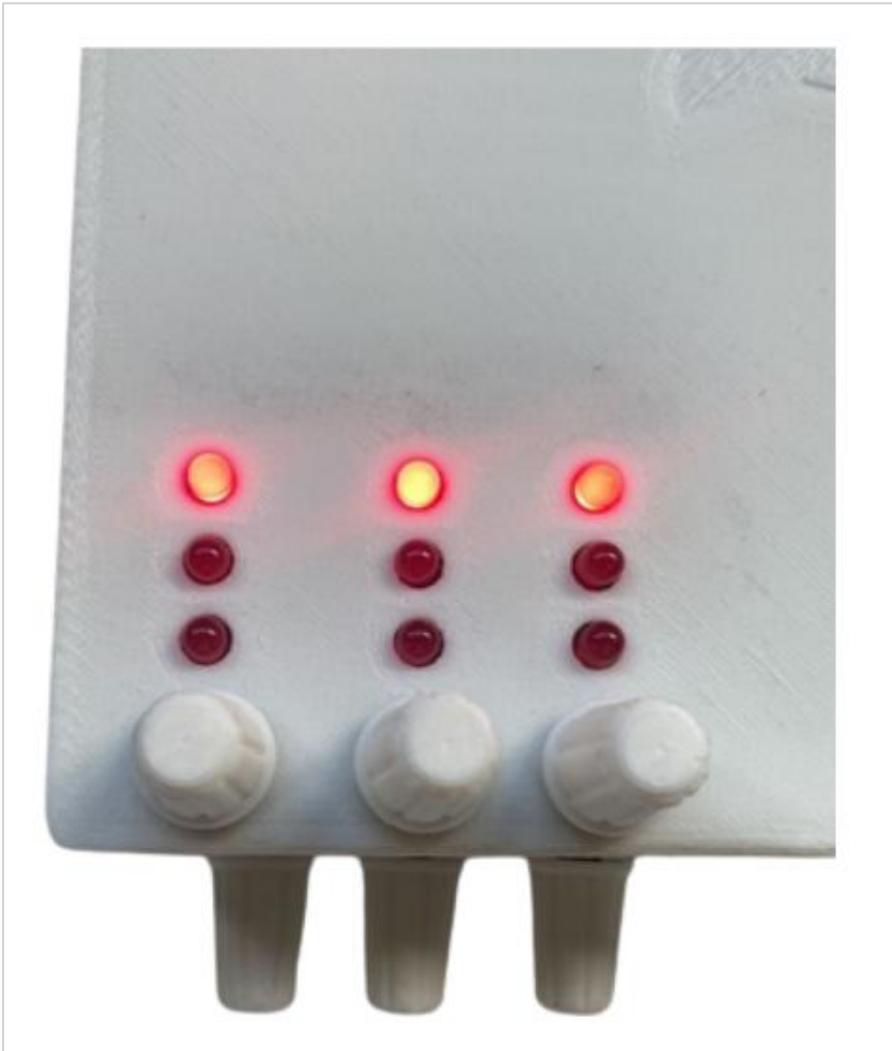
### 3.3.5 Interface de controle

A interface de controle é o ponto de interação com o simulador, que permite a configuração de parâmetros de mensagens, frequências de envio e cenários clínicos simulados, como por exemplo as variações de sinais vitais.

O simulador é dotado de botões para iniciar/parar simulações, campos de entrada para personalização de dados e operação em dois modos distintos de envio de dados para cada incubadora simulada: o modo de envio padrão e o modo de alarme, ambos configuráveis por meio de controles físicos integrados ao simulador, com variações das ações de cada modo.

No modo de envio padrão, o simulador permite a transmissão contínua de dados clínicos simulados, representando o funcionamento típico de monitores de incubadoras neonatais. Nesse modo, os valores dos parâmetros clínicos — temperatura da pele, saturação de oxigênio (SpO2) e frequência cardíaca (BPM) — são ajustados manualmente por meio de potenciômetros posicionados na parte frontal do dispositivo. Essa funcionalidade oferece ao operador a capacidade de personalizar os dados enviados, simulando variações realistas dentro de intervalos clinicamente plausíveis. Durante a operação nesse modo, os leds vermelhos localizados na parte superior do simulador permanecem acesos de forma contínua, sem piscar, variando a quantidade de leds acessos de acordo com a requisição realizada, indicando o funcionamento estável do sistema (conforme ilustrado na Figura 25).

Figura 25 – interface de controle do simulador



Fonte: NUTES, (2024)

Cada incubadora simulada transmite os dados a intervalos regulares de 4 segundos, garantindo um fluxo constante de informações que pode ser utilizado para testar a capacidade de sistemas hospitalares de processar e armazenar dados em tempo real.

Em relação aos modos embarcados, o modo de alarme foi desenvolvido para simular situações críticas, permitindo a geração de alertas em três níveis de gravidade, alto, médio e baixo para cada incubadora. A ativação desse modo é realizada

por meio de uma chave encode situada na parte superior do simulador, onde o operador pode girar a chave para selecionar o nível de alarme desejado, que é indicado por leds específicos: ao selecionar um nível, o led correspondente acende, e, ao pressionar o encode, o modo de alarme é ativado, fazendo com que o led pisque continuamente para sinalizar o estado ativo. Nesse modo, o simulador ajusta os dados enviados para refletir condições clínicas anormais, permitindo a avaliação da resposta de sistemas hospitalares a eventos de alarme.

A especificidade dos alarmes varia conforme a configuração de cada incubadora; na Incubadora 1, os alarmes referem-se exclusivamente à temperatura da pele; na Incubadora 2, à saturação de oxigênio (SpO<sub>2</sub>); e na Incubadora 3, à frequência cardíaca (BPM). Essa configuração modular possibilita a simulação de cenários clínicos diversificados, contribuindo para a validação de sistemas de monitoramento e notificação em ambientes hospitalares.

### **3.4 Implementação do servidor RESTful com suporte a HL7 FHIR**

A implementação de servidores RESTful com suporte ao padrão FHIR, é um componente central para viabilizar ecossistemas de saúde interoperáveis, tais servidores atuam como repositórios de dados de saúde estruturados, acessíveis por meio de interfaces de programação de aplicações (APIs) bem definidas, permitindo que diferentes sistemas, como prontuários eletrônicos, sistemas departamentais, aplicativos móveis de saúde, plataformas de pesquisa, troquem e utilizem informações de forma padronizada e segura, projetada para integrar-se ao dispositivo médico simulador, que gera dados clínicos simulados, como temperatura da pele, saturação de oxigênio, frequência cardíaca, enviando esses dados ao servidor por meio de requisições POST ao endpoint /Patient, encapsulando as informações em recursos FHIR. Por exemplo, os dados de um paciente simulado podem ser enviados como uma mensagem FHIR contendo um recurso "Patient" associado a observações clínicas como o recurso Observation, permitindo que o servidor armazene e processe essas informações para posterior consulta por sistemas hospitalares.

De tal forma, o servidor RESTful foi utilizado para realizar a troca de mensagens FHIR para manter a comunicação do simulador de mensagens HL7, através da rede local, até a central de monitoramento, como por exemplo a utilização do recurso

Patient, que representa informações básicas de pacientes, como nome, data de nascimento e gênero.

Para implementação do servidor, foram estruturadas rotas RESTful e as funções para manipulação dos recursos FHIR, utilizando o código que utiliza a biblioteca `fhir.resources` para garantir a conformidade com o padrão FHIR, gerenciando requisições HTTP e as respostas em formato JSON, por sua leveza e por ser um dos formatos primários para troca de dados no FHIR. Para simular a persistência, os dados são armazenados em um arquivo JSON, com funções auxiliares para leitura e escrita.

Além de sua eficiência, o JSON destaca-se pela facilidade de leitura e escrita, sendo útil em contextos como registros de saúde, onde a representação de relações hierárquicas e interconectadas entre os dados é crucial (BENDER; GRIEVE, 2019). Sua compatibilidade com a web e independência de linguagem o torna a escolha preferencial para APIs, incluindo aquelas que adotam o modelo RESTful utilizado pelo FHIR (FIELDING, 2000).

Através da biblioteca `fhir.resources` que garante que os recursos manipulados estejam em conformidade com o padrão HL7 FHIR, foi possível avaliar a função `Patient` da biblioteca realizando validações automáticas, assegurando que os dados fornecidos, como exemplo: `resourceType`, `id`, `name` seguissem as especificações do padrão. As requisições HTTP, retornando códigos de status apropriados, como por exemplo 201 para criação, 404 para recurso não encontrado e respostas em formato JSON, que é um dos formatos padrões para troca de dados FHIR.

A representação desses recursos é feita através do formato FHIR Specification, uma estrutura de código aberto baseada em JSON e XML, projetada para ser intuitiva e prática no uso. Exemplos de recursos no HL7 FHIR utilizados como `Patient`, que simboliza um indivíduo recebendo cuidados de saúde, `Condition`, refletindo um diagnóstico médico, `Procedure`, representando uma intervenção médica executada em um paciente e `MedicationRequest`, denotando uma prescrição médica, de acordo com a Figura 24.

Estes recursos do HL7 FHIR desempenham um papel crucial na simplificação da troca de informações de saúde entre diversos sistemas (Bender; Grieve, 2019), sendo um componente vital do padrão FHIR. Eles são amplamente adotados por uma variedade de organizações de saúde ao redor do mundo, refletindo sua importância e eficácia no campo da saúde digital, motivo pelo qual, foram adotados neste trabalho.

Figura 26 – exemplo de recurso JSON

```
{ "resourceType": "Patient",
  "id": "example-patient-1",
  "identifier": [
    { "system": "http://example.org/patient-ids",
      "value": "123456" } ],
  "name": [
    { "use": "official",
      "family": "Smith",
      "given": [ "John", "Doe" ] }
  ], "gender": "male",
  "birthDate": "1980-01-15",
  "address": [ {
    "use": "home",
    "line": [
      "123 Main St"],
    "city": "Anytown",
    "state": "CA",
    "postalCode": "12345" } ],
  "telecom": [
    { "system": "phone",
      "value": "(123) 456-7890",
      "use": "home" },
    { "system": "email", "value": "johndoe@example.com",
      "use": "home" } ] }
```

Fonte: repositório Uninfesp

Os serviços em um servidor FHIR são expostos usando a arquitetura REST isso inclui operações básicas de CRUD (Create, Read, Update, Delete) para os recursos (FIELDING, 2000). Além disso, o FHIR suporta operações complexas como transações, busca em lote, e interações específicas de recursos por exemplo, busca de todos os diagnósticos de um paciente (FIELDING, 2000).

Por fim, a implementação do servidor RESTful com suporte ao HL7 FHIR representa um passo fundamental, para a comunicação de dados do simulador, através de uma infraestrutura capaz de promover a interoperabilidade em saúde dentro dos testes dos equipamentos hospitalares.

### **3.5 Infraestrutura de rede e integração de dispositivos**

A infraestrutura de rede utilizada para os testes com o simulador, foi projetada para atender aos requisitos de baixa latência, alta disponibilidade e segurança, considerando o volume e a criticidade dos dados clínicos que serão transmitidos, como monitores de sinais vitais, sistemas de prontuários eletrônicos (EHR), administrativos que dependem de uma rede bem estruturada para enviar e receber mensagens que contêm informações sensíveis, como registros de pacientes, resultados de exames e alertas clínicos.

A utilização do cabeamento estruturado garantiu uma conexão confiável e velocidade constante na troca de dados entre dispositivos, com a adoção do padrão Ethernet, utilizando cabos de rede de Categoria 5e, por ser um padrão essencial para a transmissão de mensagens HL7, com transmissões de dados que podem variar em tamanho e frequência, especialmente em cenários de monitoramento em tempo real, como no simulador proposto nesta dissertação.

Com o uso do roteador de dados, foi possível realizar a comunicação entre o simulador e o servidor, permitindo a conectividade entre estes dispositivos, para que o servidor atue como ponto centrais de comunicação, recebendo dados do simulador, para utilizar em outros sistemas, como EHRs ou sistemas de triagem, através de uma comunicação por meio de requisições HTTP, utilizando métodos como POST para enviar dados e GET para consultas, com as mensagens HL7 codificadas em JSON.

A infraestrutura de rede suportou a carga de requisições de forma satisfatória, mostrando a eficiência nas implementações futuras em grandes hospitais, com centenas de dispositivos conectados simultaneamente, mostrando-se com um desempenho proveitoso.

A integração do simulador na infraestrutura da rede hospitalar foi realizada por meio de protocolos de comunicação padronizados, para gerar dados clínicos simulados no padrão HL7, conectado à rede local, transmitindo simulação de dados como temperatura da pele, saturação de oxigênio (SpO2) e frequência cardíaca (BPM).

Uma das grandes vantagens na adoção dos dispositivos clínicos, percebidos pelo simulador, está na escalabilidade da infraestrutura, que permite a adição de novos dispositivos sem a necessidade de reconfigurações significativas, um aspecto crucial em hospitais que frequentemente expandem suas operações. A conformidade com o padrão HL7 garante que os dados sejam interoperáveis, possibilitando a integração com sistemas externos, como planos de saúde ou laboratórios, o que otimiza fluxos de trabalho e reduz erros manuais.

### **3.6 Banco de dados e persistência das mensagens clínicas**

Em relação a persistência no contexto de mensagens clínicas, o foco esteve em guardar informações geradas nas interações de saúde, como dados de Patient (paciente), Observation (observação clínica), Appointment (agendamento) exames, prescrições e comunicações entre médicos de forma acessível, organizando essas informações em blocos de dados, para que esses dados sejam armazenados sem erros ou perdas, para que os profissionais envolvidos pudessem recuperar essas informações a qualquer momento, e ainda sim, a possibilidade de serem interpretados por qualquer sistema da unidade de saúde, apenas pela integração de uma API REST, e acima de tudo, levando em consideração a Lei Geral de Proteção de Dados.

Sobre o banco de dados, foi utilizado o PostgreSQL, pela necessidade dos dados estruturados, com viabilidade de análises complexas e controle de acesso e backup bem estabelecido, isso pela peculiaridade do FHIR em produzir muitos dados por rotina, exigindo um banco de dados escalável, devido a sensibilidade dos dados clínicos, de tal forma, foi incluído neste projeto, um controle de acesso e criptografia embarcados.

No contexto do simulador, os dados estatísticos gerados como SpO2 e BPM, através das mensagens ao servidor, também permitiu a análise retrospectiva desses dados, por exemplo, no modo de alarme, mensagens com valores anormais, como exemplo SpO2 < 90% são registradas com timestamps, possibilitando a avaliação da resposta do sistema a eventos críticos, onde esses índices no campo timestamp facilitam a ordenação cronológica dos dados.

### **3.7 Painel de monitoramento das leituras e eventos**

O Painel de monitoramento de eventos, tem como objetivo fornecer um visual gráfico para exibir leituras clínicas de temperatura da pele, saturação de oxigênio SpO2, frequência cardíaca BPM e eventos críticos, como alarmes de valores anormais gerados pelos dispositivos médicos, como no simulador desenvolvido neste projeto, com essas informações representadas por recursos Observation e mensagens de alerta, que são persistidos no banco de dados PostgreSQL e acessados via servidor RESTful FHIR.

Uma das principais características, é permitir a exibição em tempo das leituras clínicas geradas pelo simulador a cada 4 segundos, ou poderíamos ter ajustado uma quantidade de tempo maior ou menor de leitura ou em resposta aos eventos no modo de alarme, por exemplo com um índice de BPM > 100, alarme gerado que seria facilmente interpretado pela equipe médica para as devidas providências.

A usabilidade do painel foi desenvolvida com um layout intuitivo e acessível a qualquer profissional de saúde ser de fácil interpretação, com cores claras e intuitivas, embarcado de gráficos sugestivos, projetado em cima de uma aplicação web, sendo visualizada via browser em tela cheia, utilizando para front-end HTML, CSS e JavaScript (com a biblioteca React para uma interface dinâmica), conectada via rede ao servidor RESTful FHIR via requisições HTTP, para visualização dos dados gerados pelo simulador.

Toda a estrutura de visualização do painel, foi desenvolvida de forma modular com os principais componentes dispostos de formas usuais, como o cabeçalho que exibe as informações gerais de data e hora atual e o status do sistema, se ativo ou desativado.

Para tela principal de exibição, dividimos em seções retangulares simétricas com os índices de cada incubadora numeradas, exibindo as leituras em tela real, como SpO2: 95%, BPM: 75 e indicadores de alarme, led vermelho piscando para valores críticos, como visualizado na Figura 27.

Figura 27 – Painel de monitoramento das ações



Fonte: NUTES, (2025)

Os gráficos, incluem as visualizações de tendências, como um gráfico de linha para a frequência cardíaca ao longo do tempo, atualizado dinamicamente e o log de

eventos para registro das ações críticas como a notificação do alarme de SpO2 baixo às 11:32 que será notificado em tela.

Para visualização dos dados produzidos pelo simulador, configurado a 4 segundos para cada leitura dos índices, como exemplo SpO2: 96%, BPM: 78, que são persistidas no banco de dados e exibidas no painel de monitoramento, sendo que, no modo de alarme, o simulador ativa níveis de alarme alto, médio e baixo, sendo representados, respectivamente, pelas cores vermelho, amarelo e ciano. Isto em consonância com a norma 60601-1-8 da ABNT, que compõe os requisitos gerais para segurança básica e desempenho do sistema de alarme em equipamento eletromédico, moldado para parâmetros específicos, como temperatura da pele na Incubadora 1, SpO2 na Incubadora 2, BPM na Incubadora 3, e o painel reflete esses eventos com alertas visuais e registros no log. Essa integração valida a capacidade do sistema de suportar cenários clínicos realistas, ajudando na tomada de decisões das equipes médicas diante dos dados gerados pelo simulador.

### **3.8 Procedimento de validação**

O procedimento de validação é essencial para verificar a interoperabilidade e a precisão dos dados clínicos simulados, assim como a robustez do sistema frente a cenários realistas. A conformidade com o HL7 FHIR garante que as mensagens e recursos gerados pelo simulador estejam de acordo com as especificações deste padrão, assegurando que todos os componentes (simulador, servidor, banco de dados e painel de monitoramento) operem de forma integrada e confiável.

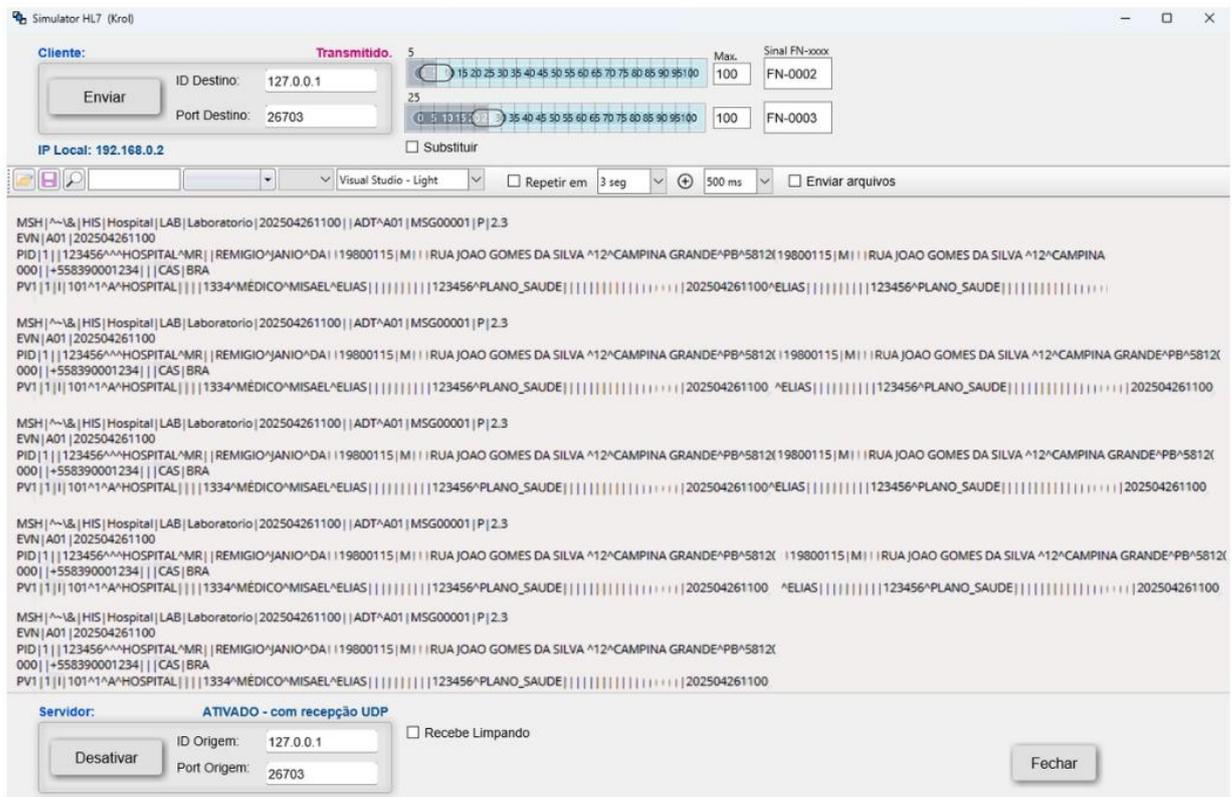
A utilização dos procedimentos de validação foi focada na verificação de campos obrigatórios, como resourceType, status e estrutural valueQuality, submetendo mensagens simuladas, como exemplo, Observation com SpO2: 21%, BPM: 120, para verificar o resultado submetido no ambiente de saída de dados, ou seja, no painel de monitoramento.

Outros testes foram aplicados para avaliar o desempenho e escalabilidade do simulador, submetendo uma bateria de envios simultâneos de 500 requisições, partindo de 5 dispositivos, com resultados atingindo uma taxa de sucesso de 96.2%, com latência média de 300ms e picos de 700ms. O banco de dados lidou com 1.200

mensagens, mas a latência subiu para 450ms após 3.000 mensagens, indicando necessidade de otimizações, como caching, para assegurar um melhor desempenho.

Testes de usabilidade foram aplicados, simulando profissionais de saúde, como médicos e enfermeiros realizando tarefas cotidianas de seu ofício, como avaliar e identificar de forma clara os alarmes, interpretação dos status de SpO2, BPM e leitos vinculados a cada um dos índices apresentados no painel, mostrando um bom resultado na interpretação dos usuários.

Figura 28 – software simulador de troca de mensagens HL7



Fonte: NUTES, (2024)

Para o ambiente de servidor – roteador - painel de monitoramento, foram realizados testes através de software específico, desenvolvido em Firemonkey-FMX da Embarcadero Technologies, como visualizado na Figura 28.

Onde tais testes, foram demasiadamente satisfatórios, mostrando um bom desempenho da rede de dados, os tráfegos de rota do roteador, com um resultado do envio de altos índices de requisições, apresentando uma uma escala de sucesso no

recebimento no servidor de 98.7%, com latência média da rede de dados aceitável para os testes.

A utilização do software de testes auxilia no ganho de tempo em relação ao simulador, mostrando as principais deficiências que podem ser visualizadas durante o processo de análise.

## **4 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS**

### **4.1 Aplicação do sistema em ambiente simulado**

A aplicação do sistema no ambiente simulado, através do simulador HL7 FHIR, utilizando uma rede Ethernet a um servidor RESTful, com um banco de dados persistente e um painel de monitoramento, serviu para validar sua funcionalidade, interoperabilidade e usabilidade no contexto de cuidados de saúde, antes de sua implementação em cenários reais.

Essa abordagem permite testar o sistema em condições controladas, replicando dinâmicas hospitalares, como o monitoramento contínuo de sinais vitais e a integração com padrões HL7 FHIR em uma unidade hospitalar, com múltiplos leitos avaliando a geração e transmissão dos dados no modo padrão. Com o simulador, foram geradas leituras contínuas enviadas ao servidor via rede simulada - por exemplo, o Leito 3 exibindo um pulso de 120 BPM e uma temperatura de 36.5°C, conforme capturado no painel de monitoramento – e foi avaliado o resultado da integração com o roteador, que assegurou que os dados fossem transmitidos sem perdas, com tempos de resposta médios de 150ms.

### **4.2 Resultados da comunicação entre módulos (módulo → servidor → painel)**

A comunicação entre os módulos do ambiente simulado, entre o servidor RESTful FHIR, simulador FHIR e painel de monitoramento, foi ancorado em garantir a interoperabilidade, a eficiência e a confiabilidade da troca de dados clínicos simulados, os testes realizados demonstraram o desempenho da cadeia de comunicação, desde a geração de dados pelo simulador, passando pela rede de dados até sua exibição no painel, passando pelo processamento e persistência no servidor.

A configuração de comunicação entre simulador → servidor, foi norteadada no envio de dados clínicos, como temperatura de 24.2°C, oxigênio de 0.974, pulso de 120 BPM, a cada 4 segundos no modo padrão, utilizando requisições HTTP POST /Observation no formato HL7 FHIR.

A conexão foi estabelecida via rede simulada, mediada por um roteador TP-Link, com uma latência média de 50ms, com picos de 105ms durante testes de carga com simulador, indicando uma comunicação eficiente na transmissão inicial de dados.

Para os módulos de servidor → painel de monitoramento, a exibição dos dados no painel de monitoramento, resultou em uma latência média de 90ms, totalizando um tempo de resposta global, entre o simulador ao painel de monitoramento de aproximadamente 150ms em condições normais, sob alta carga 3.200 mensagens em 1 hora, a latência subiu para 450ms após 15.000 mensagens, sugerindo um gargalo no servidor, demonstrando que seria necessária uma escalabilidade maior para otimizar o servidor.

### **4.3 Análise da eficácia da troca de mensagens via HL7 FHIR**

Avaliando a taxa de eficácia na entrega de mensagens, esta foi de 99.2% durante os testes de estresse, com 0.8% de perdas atribuídas a picos de tráfego na rede simulada, especificamente no roteador, que, após ajustes na configuração, obteve uma taxa estabilizada de 99.8% em condições otimizadas, com um desempenho satisfatório para os testes práticos.

A troca de mensagens demonstrou alta eficácia na transmissão e exibição de dados, com ótima integração entre o simulador e o painel de monitoramento via servidor, resultando em uma conformidade que garante a interoperabilidade com sistemas externos, um dos objetivos deste projeto na prática.

A exibição em tempo real no painel foi bem recebida, embora 20% dos usuários sugeriram ajustes visuais, como maior contraste para facilitar a leitura em ambientes com bastante luz direta.

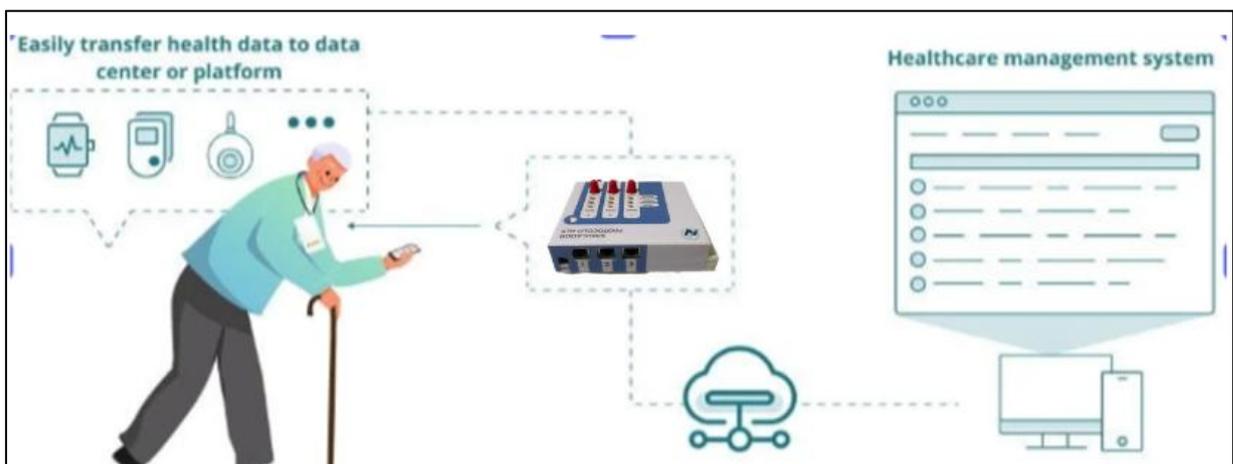
## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Potenciais aplicações clínicas e operacionais

O simulador desenvolvido neste trabalho, está interligado com outros módulos que comprovaram um ambiente favorável para área de saúde, como o servidor RESTful FHIR, o banco de dados persistente e o painel de monitoramento, apresentam um vasto potencial para aplicações clínicas e operacionais em ambientes de saúde, com foco em interoperabilidade HL7 FHIR, ele foi validado em um ambiente simulado e demonstra capacidade de suportar o monitoramento contínuo de sinais vitais e a integração de dados clínicos.

O uso do simulador no ambiente clínico, traria grandes benefícios no monitoramento contínuo de pacientes em UTI, acompanhando as variações de sinais vitais, como temperatura, oscilando entre 35.5° em níveis normais à oscilações de 38.8° para notificações de alarme no painel de monitoramento, assim como a detecção precoce de variações críticas, como queda de SpO2 com variação de -1.0, com ganhos satisfatório com a redução do tempo de resposta clínica, com testes de usabilidade indicando identificação de alarmes em média em 4 segundos, e integração com EHRs para registros históricos, auxiliando na tomada de decisão em pacientes críticos, como neonatos em incubadoras ou pacientes pós-operatórios.

Figura 29 – monitoramento remoto de dispositivos médicos



Fonte: adaptado de CNSS, (2024)

Considerando-se um ambiente ainda mais dinâmico, o uso em equipamentos de monitoramento clínico remoto proporcionaria um ganho expressivo no acompanhamento dos indicadores de status clínico de uma gama maior de equipamentos, em diversas unidades hospitalares, centralizados em um único painel de monitoramento. Assim, a equipe de profissionais de saúde especializada pode tomar as melhores providências, direcionando o atendimento sem a necessidade da presença física, além de configurar alertas que possam ser acompanhados por ambos os lugares.

## **5.2 Limitações do estudo**

Durante os testes do simulador e demais módulos, como o servidor RESTful, rede de dados, roteador e painel de monitoramento, foram identificadas limitações, as quais impactam a generalização dos achados e a aplicação direta em cenários clínicos reais antes de estudos mais precisos e detalhados.

O uso em ambiente controlado demonstrou resultados satisfatórios, mas, partindo para uma simulação de uma quantidade maior de simuladores simultâneos em determinados casos, aventa-se a possibilidade de o sistema não suportar eficientemente ambientes hospitalares com dezenas ou centenas de dispositivos, como UTIs de grande porte, com uma latência significativamente alta, limitando a escalabilidade com quantidade maior de dispositivos. Pela ausência de uma quantidade maior disponível de simuladores para realizar testes em uma escala real de um hospital de grande porte, tal situação não pôde ser descartada.

Todos os testes foram conduzidos em ambiente controlado, utilizando simuladores em vez de dispositivos médicos reais, sendo que fatores como interferências eletromagnéticas, falhas de hardware ou variações ambientais, como temperatura e umidade, não foram plenamente considerados, pela ausência de prática real.

Os resultados podem superestimar a confiabilidade do sistema, pois condições reais, como oscilações na rede hospitalar ou falhas de energia, não foram simuladas, assim como a falta de validação em um ambiente clínico real limita a robustez do sistema frente a desafios práticos.

### **5.3 Propostas de melhoria e continuidade**

Para dirimir os problemas e limitações encontrados no estudo, um ponto crucial a ser equalizado é a latência na transferência dos dados. Novas pesquisas devem ser executadas para aprofundamento na análise do comportamento das redes de dados, roteador, painel de monitoramento e o simulador desenvolvido.

Novos estudos podem ser direcionados para a redução da latência, assim como a redundância de rede e a implementação de protocolos de recuperação automática de rede, para que o roteador possa desempenhar um papel estável com aumento da taxa de sucesso na troca de dados.

O painel de monitoramento pode sofrer ajustes estilísticos, com uma maior variação de contraste nas cores, para melhor compreensão dos usuários. É importante a realização de testes com pessoas dotadas de deficiências visuais ou motoras, para serem identificadas adaptações necessárias, garantindo a acessibilidade.

## **6 CONCLUSÃO**

### **6.1 Considerações finais**

O estudo desenvolvido nesta dissertação propôs e validou um sistema integrado, composto por um simulador de equipamentos médicos, a ser utilizado em unidades hospitalares para monitoramento dos pacientes, além de um servidor de dados RESTful FHIR, banco de dados persistente, rede de dados Ethernet, roteadores de rede e um painel de monitoramento para acompanhamento das informações coletadas pelo dispositivo, com o objetivo de promover a interoperabilidade em saúde baseada no padrão HL7 FHIR.

Os resultados obtidos no ambiente simulado demonstraram a viabilidade do sistema para o monitoramento contínuo de sinais vitais dos pacientes, assim como a integração dos dados e o suporte a aplicações clínicas e operacionais. Contudo, foram identificadas limitações e medidas para melhoria e continuidade, que indicam um caminho claro para a evolução do projeto.

### **6.2 Contribuições do trabalho**

Uma das grandes contribuições do trabalho foi a integração bem-sucedida com o padrão FHIR, através do simulador HL7, que posiciona o conjunto de todo o sistema abordado como uma solução promissora para estabelecer facilidade na troca de informações entre equipamentos de unidades hospitalares e a interoperabilidade com sistemas legados.

Suas aplicações potenciais, como monitoramento remoto, gestão de recursos e manutenção preventiva, podem transformar a eficiência operacional e a qualidade dos cuidados, especialmente em contextos críticos como os que são vivenciados no Sistema Único de Saúde – SUS devido à alta taxa de atendimento e internação de pacientes, desafogando as equipes de saúde no monitoramento dos equipamentos utilizados pelos que são assistidos.

O painel de monitoramento exibiu dados que estavam sendo gerados pelo simulador vinculado aos pacientes em tempo real, permitindo um acompanhamento dos sinais vitais com maior precisão, como pulso, oxigênio, temperatura e a detecção de alarmes a cada 4 segundos, promovendo uma segurança aos profissionais de saúde

em acompanhar o desempenho de cada paciente monitorado com acurácia diante de seus olhos, sem a necessidade do deslocamento a cada um dos leitos.

### **6.3 Trabalhos futuros**

Para os trabalhos futuros, a aplicação com maior detalhamento em áreas específicas, como nas unidades de terapia intensiva – UTI, será de grande importância, com a finalidade de estudar o ambiente relacionado, analisando possíveis interferências eletromagnéticas e variações ambientais dos setores.

Estudos relacionados ao desempenho do equipamento, como latência, taxa de sucesso e usabilidade pelos profissionais envolvidos no uso do equipamento, também serão de grande valia.

Por último, poderá ser operacionalizada a adoção de autenticação Auth2.0 e recursos de IA, para analisar os índices avaliados e enviar notificações mais precisas através de notificações PUSH ao App no ambiente móvel do profissional responsável pelo monitoramento.

## REFERÊNCIAS

- BASS, Len; CLEMENTS, Paul; KAZMAN, Rick. Software architecture in practice. 3 ed. Massachusetts: **Addison-Wesley Professional**, 2012. 640 p.
- Bates, D. W., Saria, S., Ohno-Machado, L., Shah, A., & Escobar, G. **Big data in health care: Using analytics to identify and manage high-risk and high-cost patients**. Health Affairs, 2014.
- BENDER, D.; SARTIPI, K. HL7 FHIR: An agile and RESTful approach to healthcare information exchange. **Proceedings of CBMS 2013** - 26th IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems, p. 326-331, 2013. DOI: 10.1109/CBMS.2013.6627810
- BENSON; Grieve. **Principles of Health Interoperability: FHIR, HL7 and SNOMED CT**. 2021.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Estratégia de Saúde Digital para o Brasil 2020-2028**. 1. ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde, Departamento De Informática do SUS, 2020.
- BRASIL - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Integração de Sistemas de Informação em Saúde – e-SUS AB e HL7 FHIR**. Brasília: Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: [www.gov.br](http://www.gov.br). Acesso em: 12 de abril de 2025.
- BRAUNSTEIN, M. L. **Health Informatics on FHIR: How HL7's New API is Transforming Healthcare**. Cham: Springer International Publishing, 2018.
- CARDOSO, Davi. **O impacto da interoperabilidade nos sistemas de saúde**. FBH – Federação Brasileira de Hospitais, 2022. Disponível em: <https://fbh.com.br/o-impacto-da-interoperabilidade-nos-sistemas-de-saude/>. Acesso em: 14 de maio de 2025.
- CASTAÑEDA, W. **Novo paradigma de engenharia clínica na integração de TIC's, para criação de ambientes ubíquos e de interoperabilidade na saúde**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 128 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/95329?show=full>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- CHEN, M. et al. **Applications of HL7 FHIR in Integrating Medical Devices and Systems for Remote Patient Monitoring**. Journal of Medical Systems, v. 44, n. 7, 2020.
- FHIR - **HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources**. Disponível em: <[https://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=491](https://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=491)> Acesso em: 12 de novembro de 2023.
- FIRELY. **Introduction to FHIR and Profiling**. [S.l.], 2021a. Disponível em: <<https://simplifier.net/guide/profilingacademy/IntroductiontoFHIRandprofiling>> Acesso em: 12 de janeiro de 2024.

FONSECA, D. **Análise do padrão HL7 para sistemas de informação hospitalares**. Porto Alegre, 2008.

GAMBI, E. FERREIRA, J; GALVÃO, M. A transição do prontuário do paciente em suporte papel para o prontuário eletrônico do paciente e seu impacto para os profissionais de um arquivo de instituição de saúde. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação & Inovação em Saúde**, vol. 7, n. 2. Rio de Janeiro, 2013.

**Get starter with FHIR service**. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/healthcare-apis/fhir/get-started-with-fhir>> Acesso em: 12 de janeiro de 2024.

GUIOTTI, R. **Guia de implementação de HL7 de entrada e saída**. Guarulhos, 2023.

HEALTH LEVEL SEVEN INTERNATIONAL. **Common Data Models Harmonization FHIR Implementation Guide**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<http://hl7.org/fhir/us/cdmh/2019May/index.html>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2024.

**HL7 Version 2 Product Suite**. Disponível em: <[https://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=185](https://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=185)> Acesso em: 12 de novembro de 2023.

**HL7 Version 3 Product Suite**. Disponível em: <HL7 Standards Product Brief - HL7 Version 3 Product Suite | HL7 International> Acesso em: 12 de novembro de 2023.

HOLMES.APP. **Conheça os principais problemas hospitalares que afetam a gestão de instituições de saúde**. Disponível em: <https://holmes.app/blog/problemas-hospitalares> Acesso em: 08 fev. 2025.

HOWARD, S. **HL7 for BizTalk**. Chicago, 2014.

IBM. **O que é interoperabilidade na saúde?** 2025. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/interoperability-in-healthcare#O+que+%C3%A9+interoperabilidade+na+sa%C3%BAde%3F>. Acesso em: 14 de abril de 2025.

IEEE - Inst of Elect & Electronic. **IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries**. IEEE Press, 1991, 217 p. ISBN: 1559370793.

JAYARATNE, Menuka; MORT, Maree Gillian Sullivan; D'SOUZA, Clare. Sustainability Entrepreneurship: From Consumer Concern Towards Entrepreneurial Commitment. **Sustainability**, n. 11, 2019. DOI:10.3390/su11247076

KABACHINSKI, J. What is health level 7? **Biomedical instrumentation & technology, Allen Press Publishing Services**, v. 40, n. 5, p. 375, 2006.

KILINTZIS, V. et al. Supporting integrated care with a flexible data management framework built upon Linked Data, HL7 FHIR and ontologies. **Journal of Biomedical Informatics**, Elsevier, v. 94, Apr., jun. 2019.

LEROUX, H.; METKE-JIMENEZ, A.; LAWLEY, M. J. Towards. Achieving semantic interoperability of clinical study data with FHIR. **Journal of Biomedical Semantics**, Journal of Biomedical Semantics, v. 8, n. 41, 2017.

MANDEL, J. C. et al. **SMART on FHIR: A Standards-Based, Interoperable Apps Platform for Electronic Health Records**. *Journal of the American Medical Informatics Association*, v. 23, n. 5, p. 899–908, 2016.

OLIVIERO, A; WOODWARD, B. **Cabling: The Complete Guide to Copper and Fiber-Optic Networking**. 5th ed. Sybex, 2014.

OVERHAGE, J. M. et al. **A randomized, controlled trial of clinical information shared from another institution**. *Annals of emergency medicine*, Elsevier, v. 39, n. 1, p. 14–23, 2002.

QIU, D.; LI, B; LEUNG, H. Understanding the API usage in Java. **Information and Software Technology**, 2016.

**Regulamenta o uso de padrões de interoperabilidade e informação em saúde para sistemas de informação em saúde no âmbito do Sistema Único de Saúde, nos níveis Municipal, Distrital, Estadual e Federal, e para os sistemas privados e do setor de saúde suplementar**. Disponível em:

<[https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2073\\_31\\_08\\_2011.html](https://bvsmis.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2073_31_08_2011.html)>  
Acesso em: 18 de novembro de 2023.

**RESTful API**. Disponível em: <https://hl7.org/fhir/http.html> Acesso em: 26 de novembro de 2023.

SHORTLIFFE, E. H.; CIMINO, J. J. **Biomedical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine**. 4ª ed. London: Springer London, 2014.

SILVA, L. F.; OLIVEIRA, R. A.; SOUZA, A. C. **Adoção de Padrões FHIR em Hospitais Brasileiros: Desafios e Benefícios**. *Revista Brasileira de Informática em Saúde*, v. 18, n. 1, p. 45–60, 2022.

SOYEMI, J., MISRA, S., NICHOLAS, O. (2015). Towards e-Healthcare Deployment in Nigeria: The Open Issues. In: Intan, R., Chi, CH., Palit, H., Santoso, L. (eds) *Intelligence in the Era of Big Data*. ICSIIT, 2015. **Communications in Computer and Information Science**, v. 516, p. 588-599, 2015. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-46742-8\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-662-46742-8_54)

STALLINGS, W. **Data and Computer Communications**. 10th ed. Pearson, 2016.

TANENBAUM, Andrew S.; WETHERALL, David; VIEIRA, Daniel. **Rede de Computadores**. 5ª ed. Amsterdam: Editora Pearson, 2011, 604 p.

TIERNEY, W. M. et al. **Computerized display of past test results: effect on outpatient testing**. *Annals of internal medicine*, American College of Physicians, v. 107, n. 4, p. 569–574, 1987.

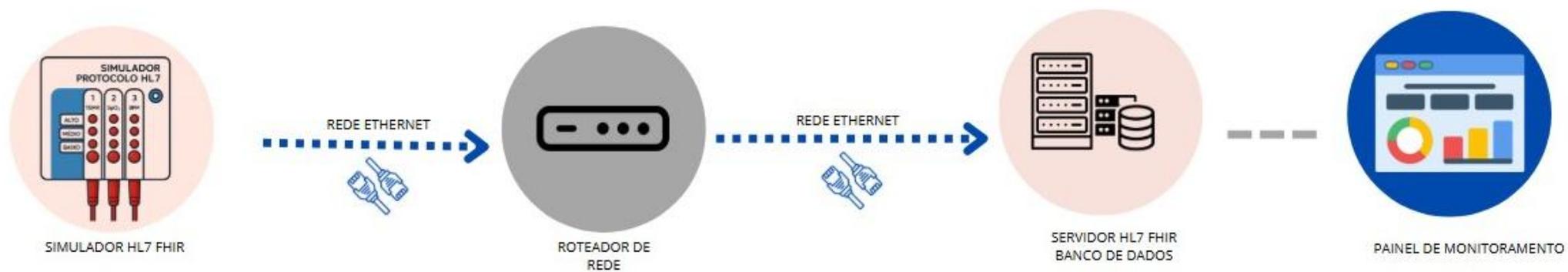
TRILLIUM BRIDGE. **Bridging EU and US Patient Summary Exchange – Trillium Bridge Project Final Report**. 2016. Disponível em: [www.trilliumbridge.eu](http://www.trilliumbridge.eu). Acesso em: 01 de abril de 2025.

**Um brasileiro morre a cada 6 horas por erro médico.** Disponível em: <https://portalhospitaisbrasil.com.br/um-brasileiro-morre-a-cada-6-horas-por-erro-medico/> Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

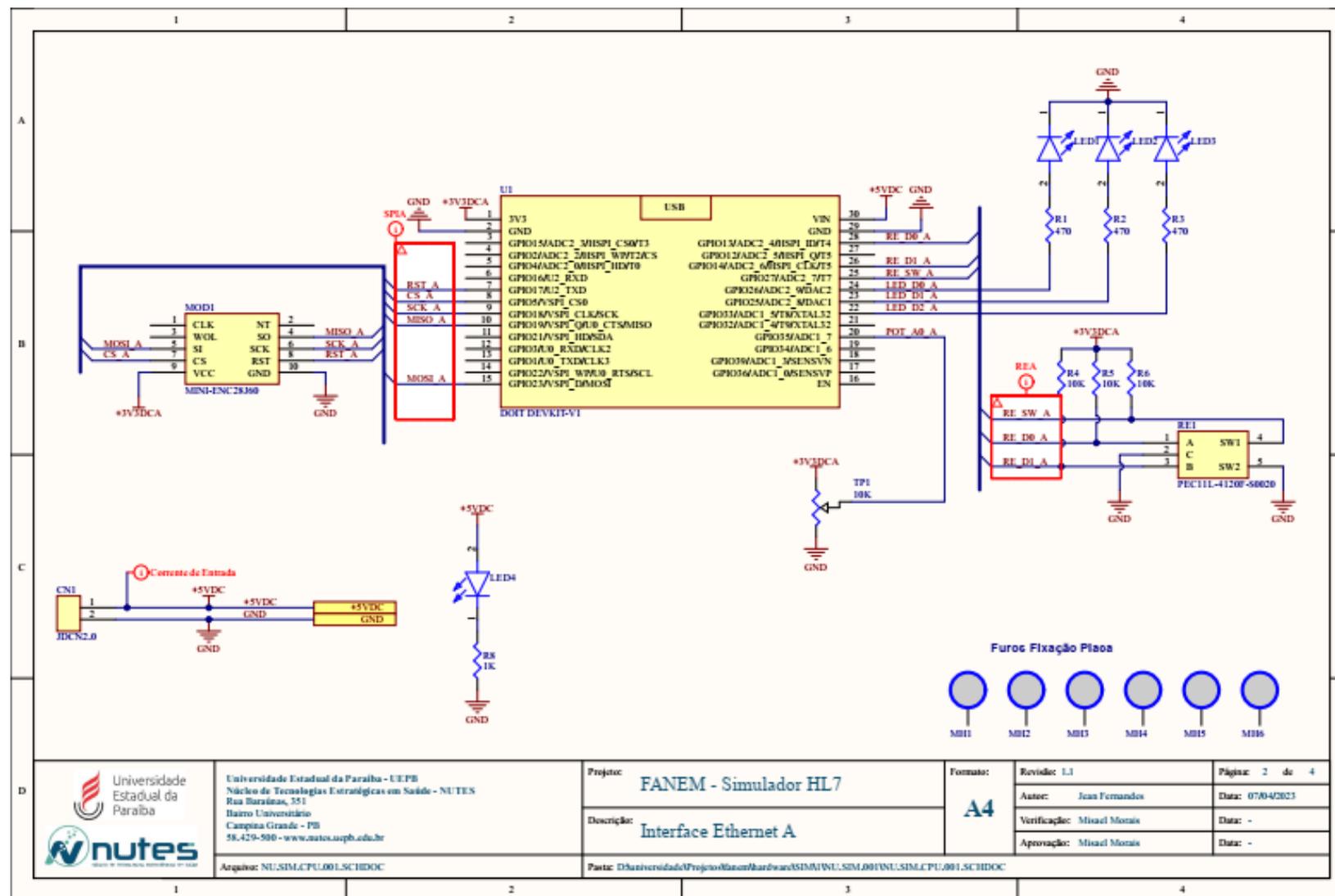
US REALM STEERING COMMITTEE. **HL7 FHIR® US Core Implementation Guide STU3 Release 3.1.1**, 2020. Disponível em: <https://www.hl7.org/fhir/us/core/>. Acesso em: 5 abr. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION; INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. **Digital Health Platform Handbook: Building a Digital Information Infrastructure (Infostructure) for Health**. Geneva, 2020.

## APÊNDICE A – DIAGRAMA DO SISTEMA PROPOSTO



## APÊNDICE B – INTERFACE DO MÓDULO SIMULADOR



## APÊNDICE C – EXEMPLO DE MENSAGEM HL7 V2.8 UTILIZADA

```

MSH|^~\&|UNIDADE HÍBRIDA DUETTO 2386^NAS004261^FANEM| |HL7|FANEM|20221215135536|FANEM^74|ORU^R01^ORU_R01|FNM135536|P|2.8
OBR|11965|||UNIDADE HÍBRIDA DUETTO 2386^NAS004261|||20221215135536|||||||||||||OTH|||||||||||||||||||||PID|1|||^\
OBX||NM|FN-0001^incubator air temperature^FANEM||36.0|Cel^^UCUM|10 - 68|N|||F
OBX||NM|FN-0002^air set point^FANEM||36.0|Cel^^UCUM|20 - 39|N|||F
OBX||NM|FN-0003^high air temperature limit^FANEM||1.0|Cel^^UCUM|0 - 1|N|||F
OBX||NM|FN-0004^low air temperature limit ^FANEM||429496728.6|Cel^^UCUM|-3 - 0|H|||F
OBX||NM|FN-0005^skin temperature^FANEM||34.6|Cel^^UCUM|10 - 68|N|||F
OBX||NM|FN-0006^skin set point^FANEM||34.0|Cel^^UCUM|34 - 38|N|||F
OBX||NM|FN-0007^high skin temperature limit^FANEM||1.0|Cel^^UCUM|0 - 1|N|||F
OBX||NM|FN-0008^low skin temperature limit^FANEM||429496728.6|Cel^^UCUM|-1 - 0|H|||F
OBX||NM|FN-0009^auxiliary skin temperature^FANEM||35.2|Cel^^UCUM|10 - 68|N|||F
OBX||NM|FN-0091^highest alarm for SpO2^FANEM||0|||F
OBX||NM|FN-0092^highest alarm for PR^FANEM||0|||F
OBX||NM|FN-0093^highest alarm for PI or SatSec^FANEM||0|||F
OBX||NM|FN-0094^highest alarm for weight^FANEM||0|||F
PV1||NEO

```

## APÊNDICE D – EXEMPLO DE MENSAGEM HL7 FHIR

```
<Patient xmlns="http://hl7.org/fhir">
  <id value="13445"/>
  <meta>
    <versionId value="1"/>
    <lastUpdated value="2018-09-14T23:24:11.779+00:00"/>
  </meta>
  <text>
    <status value="generated"/>
    <div xmlns="http://www.w3.org/1999/xhtml">
      <div class="hapiHeaderText">Dua
        <b>LIPA </b>
      </div>
      <table class="hapiPropertyTable">
        <tbody>
          <tr>
            <td>Address</td>
            <td>
              <span>Londres </span>
              <span>Inglaterra </span>
            </td>
          </tr>
        </tbody>
      </table>
    </div>
  </text>
  <name>
    <family value="Lipa"/>
    <given value="Dua"/>
  </name>
  <address>
    <city value="Londres"/>
    <postalCode value="62358"/>
    <country value="Inglaterra"/>
  </address>
</Patient>
```