

Ramon Santos Malaquias

**Um middleware baseado no padrão HL7 FHIR  
para Sistemas de Informação de Saúde**

Natal-RN

2022

Ramon Santos Malaquias

# **Um middleware baseado no padrão HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia da Informação.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN

Instituto Metr pole Digital – IMD

Programa de P s-Gradua o em Tecnologia da Informa o – PPGTI

Orientador: Prof. Dr. Itamir de Moraes Barroca Filho

Natal-RN

2022

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Malaquias, Ramon Santos.

Um middleware baseado no padrão HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde / Ramon Santos Malaquias. - 2022.

Of.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Instituto Metr pole Digital, Programa de P s-Gradua o em Tecnologia da Informa o, Natal, 2022.

Orientador: Dr. Itamir de Moraes Barroca Filho.

1. Healthcare - Disserta o. 2. Middleware - Disserta o. 3. Interoperabilidade - Disserta o. 4. EHR - Disserta o. 5. eHealth - Disserta o. 6. mHealth - Disserta o. I. Barroca Filho, Itamir de Moraes. II. T tulo.

RN/UF/BCZM

CDU 004.75

Dedico este trabalho a minha mãe, Imaculada, meu sobrinho, Pedro, que me ensinam de diferentes formas o verdadeiro significado da palavra “amor”.

# Agradecimentos

Agradeço ao Pai Celestial por tudo que ele tem feito na minha vida e na da minha família;

Agradeço aos meus pais, por todo o sacrifício que eles já fizeram e ainda fazem por mim;

Agradeço ao meu fiel parceiro de 4 patas, Tico, que me faz companhia em todos os momentos (inclusive está deitado ao meu lado enquanto escrevo esse agradecimento);

Agradeço a minha amada namorada, Mariane, pelo infundável apoio e torcida;

Agradeço a todos os meus amigos, em especial Hercelino, Hênio, João Paulo, Cássio, Clodoaldo, Jean, Lucas, Leão, Jacy, Cephas, Vilar, Tharles e Cezar, por estarem sempre comigo durante as diferentes fases e desafios da minha vida;

Agradeço ao meu orientador e grande amigo prof. Itamir, por todo o apoio, todos os conselhos e por acreditar no meu potencial;

Agradeço a Mateus, Joabson e Ítalo por terem contribuído com esta pesquisa;

Agradeço a natureza pelos dias em que o vento soprou durante a minha jornada no mestrado e eu pude encontrar refúgio e paz quando mais precisei;

Por fim, agradeço a mim mesmo por sempre acreditar que o sonho é possível e que o céu é o limite.

*Você é o único representante do seu sonho na face da Terra.  
Se isso não fizer você correr, nada vai.*

Emicida.

# Um middleware baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde

Autor: Ramon Santos Malaquias

Orientador: Prof. Dr. Itamir de Moraes Barroca Filho

## Resumo

A prestação de serviços de saúde está, cada vez mais, sendo apoiada por diferentes soluções tecnológicas, como por exemplo, Sistemas de Informação de Saúde (SIS), *Electronic Health Records* (EHR) ou soluções baseadas em *eHealth* e *mHealth*. Tais soluções trazem benefícios tanto do ponto de vista de gestão de Serviços de Saúde, quanto do acompanhamento clínico e do cuidado com pacientes e são utilizadas em diferentes ambientes, como hospitais, clínicas e laboratórios, dentre outros. Considerando a diversidade de tipos de soluções que podem ser utilizadas no contexto da saúde e o ganho potencial que se pode obter ao integrar dados dessas diferentes soluções, a criação de sistemas que facilitem a integração entre soluções, como as Plataformas de *Middleware*, surgem como opção. No entanto, a revisão do estado da arte realizada neste trabalho evidenciou que as Plataformas de *Middleware* para Sistemas de Informação de Saúde são focadas em áreas específicas e não utilizam padrões de interoperabilidade abertos que facilitem o desenvolvimento e a troca de informações de diferentes dados clínicos, como o *HL7 FHIR*. É com base nesse contexto que neste trabalho é descrito um *Middleware* Baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde. Neste sentido, ao longo do trabalho serão descritos os requisitos da solução, bem como detalhes de sua arquitetura e implementação, trazendo como resultados a realização de duas Provas de Conceito realizadas com 7 aplicações de saúde integradas a partir do *Middleware* desenvolvido.

*Palavras-chave:* *healthcare*; *middleware*; interoperabilidade; SIS; EHR; *eHealth*; *mHealth*.

# An HL7 FHIR Pattern-based middleware for Health Information Systems

Author: Ramon Santos Malaquias

Supervisor: Prof. Dr. Itamir de Moraes Barroca Filho

## Abstract

The provision of health services is increasingly being supported by different technological solutions, such as Health Information Systems (SIS), Electronic Health Records (EHR) or solutions based on eHealth and mHealth. Such solutions bring benefits both from the point of view of Health Services management, as well as clinical monitoring and patient care and are used in different environments, such as hospitals, clinics, and laboratories, among others. Considering the diversity of types of solutions that can be used in the health context and the potential gain that can be obtained by integrating data from these different solutions, the creation of systems that facilitate the integration between solutions, such as Middleware, appear as an option. However, the review of the state of the art carried out in this work showed that the Middleware Platforms for Health Information Systems are focused on specific areas and do not use open interoperability standards that facilitate the development and exchange of information from different clinical data, such as the *HL7 FHIR*. It is based on this context that this work describes a Middleware Based on the *HL7 FHIR* Standard for Health Information Systems. In this sense, throughout the work, the requirements of the solution will be described, as well as details of its architecture and implementation, resulting in the realization of two Proofs of Concept carried out with 7 health applications integrated from the Middleware developed.

*Keywords:* healthcare; middleware; interoperability; HIS; EHR; eHealth; mHealth.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Passos da metodologia utilizada no trabalho. . . . .	18
Figura 2 – Exemplo de mensagem HL7 V2 do tipo ADT. . . . .	26
Figura 3 – Representação, no formato <i>JSON</i> , de dados de um Paciente a partir de um recurso Patient do <i>HL7 FHIR</i> . . . . .	29
Figura 4 – Processo de extração, análise e seleção dos artigos. . . . .	33
Figura 5 – Representação conceitual do <i>Middleware</i> Baseado no Padrão <i>HL7 FHIR</i> para Sistemas de Informação de Saúde. . . . .	48
Figura 6 – Visão de módulos da solução e a maneira como eles se comunicam. . . . .	49
Figura 7 – Fluxo de integração dos dados de saúde . . . . .	51
Figura 8 – Diagrama de Implantação do <i>Middleware</i> baseado no padrão <i>HL7 FHIR</i> para Sistemas de Informação de Saúde. . . . .	53
Figura 9 – Página inicial da Plataforma SigSaúde. . . . .	54
Figura 10 – Página inicial da Plataforma de Assistência Remota - PAR. . . . .	55
Figura 11 – Página inicial do Sistema de Leitos. . . . .	56
Figura 12 – Página inicial do Sistema SUVIGE . . . . .	57
Figura 13 – Página inicial do Sistema de Gerenciamento de Exames . . . . .	58
Figura 14 – Diagrama de Implantação das Soluções envolvidas nas Provas de Conceito . . . . .	60
Figura 15 – <i>Dashboard</i> da interface <i>Web</i> de gerenciamento do <i>Middleware</i> . . . . .	61
Figura 16 – Formulário de cadastro de chave de acesso . . . . .	61
Figura 17 – Listagem de chaves de acesso cadastradas . . . . .	62
Figura 18 – <i>JSON</i> com dados do recurso paciente baseados em <i>HL7 FHIR</i> . . . . .	63
Figura 19 – Página com dados integrados de saúde integrados de um paciente (aba dados do Paciente) . . . . .	64
Figura 20 – Página com dados integrados de saúde integrados de um paciente (aba Exames do Paciente) . . . . .	64
Figura 23 – Tela de histórico de internações de um Paciente . . . . .	67
Figura 24 – Diagrama de implantação do ambiente de testes de desempenho . . . . .	73
Figura 25 – Documentação da API RESTful do <i>Middleware</i> . . . . .	88

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Tipos de mensagens HL7. . . . .	26
Tabela 2 – Plataformas de <i>Middlewarea</i> para sistemas de informação de saúde. . .	36
Tabela 3 – Principais requisitos para <i>middlewares</i> para sistemas de informação de saúde. . . . .	39
Tabela 4 – Relação entre os módulos do <i>Middleware</i> baseado no Padrão <i>HL7 FHIR</i> para Sistemas de Saúde e os requisitos que cada um deles contempla. . . . .	52
Tabela 5 – Quantidade de horas trabalhadas por cada desenvolvedor no desenvolvimento do Aplicativo ‘Meu Prontuário’. . . . .	70
Tabela 6 – Quantidade de horas trabalhadas por cada desenvolvedor em questões específicas da Linguagem de Programação Flutter e na integração . .	71
Tabela 7 – Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão para o tempo de resposta (latência) às requisições realizadas para o <i>Middleware</i> em cada bateria de testes. . . . .	75
Tabela 8 – Taxa de erro obtida e quantidade de requisições por segundo ( <i>throughput</i> ) realizadas a cada bateria de testes executada. . . . .	75

# Lista de Abreviaturas

- API** *Application Programming Interface*
- APIs** *Application Programming Interfaces*
- CNS** Cadastro Nacional de Saúde
- CPF** Cadastro de Pessoa Física
- EC** *Exclusion Criterion*
- EHR** *Electronic Health Records*
- FHIR** *Fast Healthcare Interoperability Resources*
- HD** *Hard disk drive*
- HL7** *Health Level Seven*
- HL7 FHIR** *Fast Healthcare Interoperability Resources*
- HTTP** *Hypertext Transfer Protocol*
- IHA** *Integrated Health Application*
- IMD** Instituto Metrópole Digital
- JSON** *JavaScript Object Notation*
- OMS** Organização Mundial da Saúde
- QA** *Quality Assessment*
- RQ** *Research Question*
- RPC** *Remote Procedure Call*
- SIS** Sistemas de Informação de Saúde
- SSD** Solid-state drive
- PAR** Plataforma de Assistência Remota
- POC** *Proof Of Concept*
- PPgTI** Programa de Pós-Graduação em Tecnologia da Informação
- UFRN** Universidade Federal do Rio Grande do Norte

**XML** *eXtensible Markup Language*

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema</b>	<b>16</b>
1.1.1	Objetivos	17
1.1.2	Metodologia	18
1.1.3	Organização do trabalho	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>SIS e EHR</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b><i>eHealth</i></b>	<b>21</b>
<b>2.3</b>	<b><i>mHealth</i></b>	<b>22</b>
<b>2.4</b>	<b><i>Middleware</i></b>	<b>23</b>
<b>2.5</b>	<b>O Padrão HL7</b>	<b>25</b>
2.5.1	HL7 V2	25
2.5.2	HL7 V3	26
2.5.3	<i>Fast Healthcare Interoperability Resources - HL7 FHIR</i>	27
<b>3</b>	<b>REVISÃO DO ESTADO DA ARTE</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodologia</b>	<b>30</b>
3.1.1	Objetivo e questões de pesquisa	30
3.1.2	Processo de pesquisa	31
3.1.3	Critérios de inclusão e exclusão	32
3.1.4	Avaliação de qualidade	32
3.1.5	Extração, análise e seleção dos artigos	32
<b>3.2</b>	<b>Resultados</b>	<b>33</b>
3.2.1	RQ1: Quais são as Plataformas de <i>Middleware</i> existentes para sistemas de informação de saúde?	34
3.2.2	RQ2: Quais são as principais características das Plataformas de <i>Middleware</i> para sistemas de informação de saúde?	37
3.2.3	RQ3: De que forma as Plataformas de <i>Middleware</i> são avaliadas?	41
3.2.4	RQ4: Quais são os desafios e oportunidades de se desenvolver um <i>middleware</i> para sistemas de informação saúde?	42
<b>3.3</b>	<b>Conclusão</b>	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>UM MIDDLEWARE BASEADO NO PADRÃO <i>HL7 FHIR</i> PARA SISTEMAS DE INFORMAÇÃO DE SAÚDE</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Requisitos da Solução</b>	<b>46</b>

4.1.1	Promover integração transparente de dados heterogêneos . . . . .	46
4.1.2	Possibilitar escalabilidade . . . . .	47
4.1.3	Prover segurança e privacidade . . . . .	47
4.1.4	Prover suporte para coleta de dados, “ <i>plug-and-play</i> ” . . . . .	47
<b>4.2</b>	<b>Arquitetura da Solução</b> . . . . .	<b>47</b>
4.2.1	<i>Middleware</i> . . . . .	49
4.2.2	Aplicações clientes . . . . .	52
<b>4.3</b>	<b>Estado Atual da Solução</b> . . . . .	<b>52</b>
4.3.1	Plataforma de Dados Clínicos - SigSaúde . . . . .	54
4.3.2	Plataforma de Assistência Remota - PAR . . . . .	55
4.3.3	Leitos - Sistema de informação baseado na <i>web</i> para o gerenciamento de leitos de UTI . . . . .	56
4.3.4	Sistema SUVEPI . . . . .	57
4.3.5	Sistema de Exames . . . . .	58
<b>4.4</b>	<b>Provas de Conceito</b> . . . . .	<b>59</b>
4.4.1	Módulo <i>Web</i> do <i>Middleware</i> baseado no Padrão <i>HL7 FHIR</i> para Sistemas de Informação de Saúde . . . . .	59
4.4.2	<i>Integrated Health Application</i> - IHA . . . . .	62
4.4.3	Meu Prontuário App . . . . .	64
<b>5</b>	<b>ESTUDOS SOBRE A UTILIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MIDDLEWARE</b>	<b>68</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise das Provas de Conceito</b> . . . . .	<b>68</b>
5.1.1	Metodologia . . . . .	68
5.1.2	Resultados Obtidos . . . . .	70
<b>5.2</b>	<b>Análise dos Testes de Desempenho</b> . . . . .	<b>72</b>
5.2.1	Especificação do ambiente de testes . . . . .	72
5.2.2	Metodologia . . . . .	73
5.2.3	Resultados Obtidos . . . . .	74
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>76</b>
<b>6.1</b>	<b>Contribuições</b> . . . . .	<b>77</b>
<b>6.2</b>	<b>Limitações</b> . . . . .	<b>77</b>
<b>6.3</b>	<b>Trabalhos Futuros</b> . . . . .	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A – DOCUMENTAÇÃO DA API RESTFUL DO MID- DLEWARE</b> . . . . .	<b>87</b>

**APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO SOBRE A EXPERIÊNCIA DE  
UTILIZAÇÃO DO MIDDLEWARE BASEADO NO  
PADRÃO *HL7 FHIR* PARA SISTEMAS DE SAÚDE 89**

# 1 Introdução

Iniciativas de TI na área da saúde estão buscando sempre maneiras de reduzir custos, aumentando sua eficiência e efetividade. Nos dias atuais, 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 de saúde, pacientes e gestores de clínicas e hospitais. Isso se dá, principalmente, pelas dificuldades trazidas pelos processos baseados em papel (SOYEMI; MISRA; NICHOLAS, 2015). Dados escritos à mão, por exemplo, geralmente não seguem um padrão de escrita e estrutura, tornando difícil o entendimento de terceiros e a recuperação do histórico de dados de saúde de um paciente, tornando o dado fragmentado (TIERNEY et al., 1987) (OVERHAGE et al., 2002). Para ajudar na solução desse problema, surgiram os Sistemas de Informação em Saúde (SIS) que, segundo Fatima et al. (MARIN, 2010), podem ser definidos como “um conjunto de componentes interrelacionados que coletam, processam, armazenam e distribuem a informação para apoiar o processo de tomada de decisão e auxiliar no controle de organizações de saúde”.

A utilização de SIS e o processo de diminuição da utilização de papel através da digitalização de processos no contexto da saúde possibilitam a criação de Registros Eletrônicos de Saúde, do inglês *Electronic Health Records* (EHR), que são definidos por Iakovids (IAKOVIDIS, 1998) como informações de saúde armazenadas digitalmente sobre a vida de um indivíduo com o objetivo de apoiar a continuidade dos cuidados, educação e pesquisa, garantindo a confidencialidade em todos os momentos. Dessa forma, a utilização de sistemas EHR permite que a equipe clínica acesse de maneira facilitada informações dos pacientes (SILVA et al., 2015). Portanto, a utilização de sistemas de saúde baseados em EHR possibilita a manutenção de registros dos dados de saúde, permitindo integrar serviços e fornecer informações para diferentes setores, reduzindo custos com o tratamento de saúde, evitando perdas de informações e contribuindo para uma melhor prestação do serviço de saúde (FILHO et al., 2020).

Soluções como SIS e EHR são soluções de *eHealth*. *EHealth* é o campo que surge como interseção entre a informática médica, saúde pública e negócios, referindo-se a serviços de saúde que são aprimorados por meio do uso de tecnologias que são utilizadas por meio da internet (EYSENBACH, 2001). Além disso, o avanço das comunicações móveis que, atualmente, suportam redes móveis de 3G, 4G e até 5G para transporte de dados, faz com que a computação móvel promova inúmeras possibilidades para criação de soluções para a área da saúde baseadas em computação móvel, trazendo à tona o conceito de *mHealth* (SILVA et al., 2015)(MATTOS; GONDIM, 2016). *MHealth* é a área que consiste na utilização da computação móvel e de tecnologias de comunicação na saúde (FREE et

al., 2010). Portanto, os sistemas baseados em *eHealth* e *mHealth* podem dar suporte no gerenciamento de dados clínicos e administrativos, sistemas preditivos, de monitoramento de sinais vitais e envio de alertas, gerenciamento de medicamentos, gerenciamento de exames e resultados, dentre outros.

## 1.1 Problema

Aplicações desenvolvidas para o domínio da saúde se propõem a resolver problemas que lidam com diferentes tipos de dados, tais como: dados gerenciais e administrativos, dados ambulatoriais ou até mesmo dados de monitoramento de sinais vitais de pacientes. Neste sentido, percebe-se que a natureza dos dados a serem tratados por aplicações de saúde pode ser distinta uma da outra e essa distinção pode ser notada de diversas maneiras, começando pela forma como os dados podem ser capturados e passando pela forma como são estruturados. Por exemplo, exames podem ser realizados e estruturados como arquivos ou em formato de imagens, o que pode levá-los a serem armazenados de maneiras diferentes.

Um ecossistema de soluções digitais para a área da saúde pode ser composto, por exemplo, por soluções voltadas tanto para sensoriamento e monitoramento de sinais vitais de pacientes, passando por soluções para gerenciamento de exames e resultados, dados gerenciais de hospitais e clínicas, dados epidemiológicos, dados pessoais e sociodemográficos dos pacientes, e assim por diante. Esses dados, se integrados, poderão promover um melhor suporte à tomada de decisão clínica e prestação de serviços de saúde, ajudando a reduzir custos nesse processo. No entanto, a heterogeneidade dos dados de saúde é um dos principais desafios no desenvolvimento de soluções integradas para essa área (JAYARATNE et al., 2019), juntamente com a interoperabilidade, qualidade dos dados e segurança e privacidade (KLIEM et al., 2014) (ZUEHLKE et al., 2009) (JI et al., 2014) (SHAND; RASHBASS, 2008).

Interoperabilidade consiste na capacidade que um sistema tem de transferir dados e na capacidade de interpretação dos dados transferidos para outros sistemas (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2013), estando o desafio da heterogeneidade está fortemente relacionado à interoperabilidade entre sistemas de informação de saúde. Nos dias atuais, o principal requisito para melhorar a qualidade do atendimento e do serviço prestado no domínio da saúde é promover a interoperabilidade entre as aplicações envolvidas nesse contexto, e para promover interoperabilidade é importante que sejam utilizados padrões que possibilitem uma integração que atenda aos requisitos da interoperabilidade. A utilização de padrões também pode reduzir custos no desenvolvimento de integrações entre soluções de saúde, da mesma maneira que irá aumentar a qualidade do atendimento prestado. No campo da saúde é possível listar alguns padrões e normas que promovem a interoperabilidade, tais como a ISO/13606 (IS, 2008), openEHR (OPENEHR, 2021), Health

Level Seven (*HL7*) (FOUNDATION, 2021) e o Fast Health Interoperability Standard (*HL7 FHIR*)(FOUNDATION, 2021).

No que se refere a estratégias para integração, plataformas de *middleware* são soluções para aplicações distribuídas que tornam transparentes os detalhes de rede e protegem detalhes de implementação de funcionalidades, fornecendo interfaces para integração entre os clientes (LIU; MA; LIU, 2012). No entanto, estudos apontam que o desenvolvimento de plataformas de *middleware* para a área da saúde ainda apresentam limitações, como o não uso de padrões abertos como o *HL7 FHIR*. Na revisão da literatura através de um Mapeamento Sistemático (KITCHENHAM et al., 2009), relatada por Malaquias et. al, foram analisadas cerca de 14 plataformas de *middleware* para a área da saúde e nenhuma delas apresentou uma solução totalmente baseada em um padrão de comunicação aberto e preparado para troca de dados entre serviços *web*, como o *HL7 FHIR*, para promover interoperabilidade (MALAQUIAS et al., 2021). Dessa forma, a criação de um *middleware* que atenda os requisitos de interoperabilidade, baseado em padrões abertos e que possibilitem a troca de dados entre aplicações *web* como *HL7 FHIR*, pode facilitar o desenvolvimento e diminuir o custo para promover integração entre soluções tecnológicas de saúde de diferentes tipos.

### 1.1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral propor, desenvolver e validar uma plataforma de *middleware* para promover a interoperabilidade entre sistemas de informação de saúde. Baseado nesse objetivo principal, têm-se os seguintes objetivos específicos:

- Investigar e entender o estado da arte das plataformas de *middleware* para sistemas de informação de saúde;
- Propor uma plataforma de *middleware* para sistemas de informação de saúde baseada em um padrão aberto e já consolidado, para promover a interoperabilidade entre sistemas de informação de saúde;
- Descrever o processo de implementação da solução proposta em suas diferentes fases, sendo eles: definição de requisitos da solução, arquitetura de *software* proposta e desenvolvimento da solução;
- Realizar a integração entre diferentes sistemas de informação de saúde que são independentes e já estão consolidados;
- Descrever e aplicar o processo de validação da solução proposta, baseado na realização de duas provas de conceito a partir dos dados integrados e disponibilizados pelo *middleware*.

## 1.1.2 Metodologia

Este trabalho foi realizado no contexto do IMD, Unidade Acadêmica Especializada da UFRN, que tem a missão de fomentar a criação de um Polo Tecnológico em Tecnologia da Informação no estado do RN, abrangendo iniciativas dos setores público, privado e acadêmico. Neste sentido, o IMD possui, além das iniciativas educacionais e acadêmicas, uma série de ações voltadas para o desenvolvimento de soluções tecnológicas, através de projetos desenvolvidos por meio de parcerias tanto com a iniciativa pública, quanto privada.

Como já descrito neste trabalho, o problema geral emergiu da indústria, mas identificamos também a necessidade de integração entre soluções tecnológicas voltadas para a saúde que foram desenvolvidas a partir do próprio IMD. Portanto, o processo de desenvolvimento deste trabalho, por sua vez orientado à ação, envolveu a pesquisa e o entendimento do problema aplicado ao contexto dos sistemas desenvolvidos pelo IMD, para posterior desenvolvimento de uma solução. Os passos da metodologia utilizada no trabalho estão descritos na Figura 1 e são detalhados a seguir.

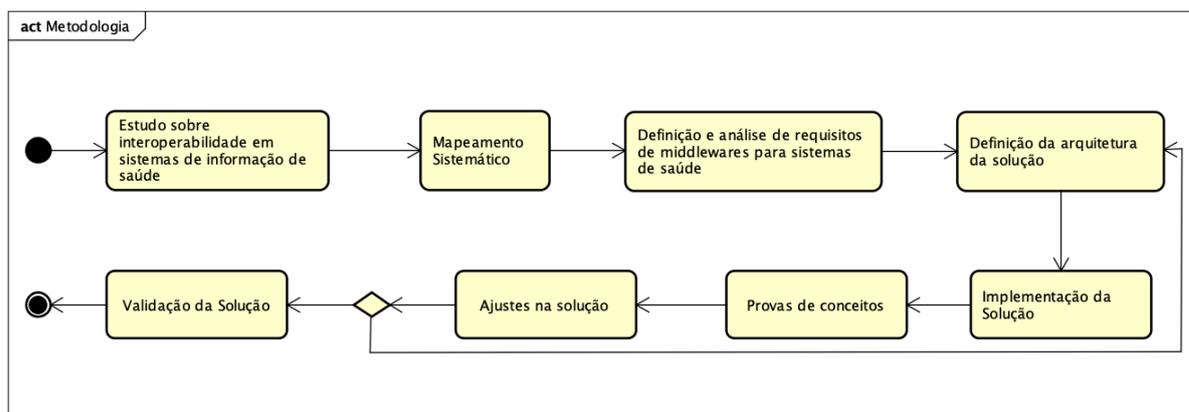


Figura 1 – Passos da metodologia utilizada no trabalho.

Inicialmente foi realizado um estudo, de maneira exploratória, sobre interoperabilidade entre sistemas de saúde (*Estudo sobre interoperabilidade em sistemas de saúde*). Nesse estudo, identificou-se que a utilização de *middleware* surge como uma tendência na academia. Em seguida, realizou-se um Mapeamento Sistemático, com o objetivo de entender o estado da arte das plataformas de *middleware* para o contexto de saúde (*Mapeamento Sistemático*). Com a realização do Mapeamento Sistemático, foi possível identificar desafios e oportunidades no desenvolvimento de soluções desse tipo e, assim, foram analisados e definidos os principais requisitos para *middleware* para sistemas de informação de saúde (*Definição e análise de requisitos de middleware para sistemas de informação de saúde*). Uma vez que os requisitos da solução foram definidos, foi a vez de definirmos, de maneira arquitetural, como a solução deve ser construída, a fim de satisfazer os requisitos identificados (*Definição da arquitetura da solução*). A partir daí, deu-se início

ao processo de codificação da solução (*Implementação da Solução*) e a realização de provas de conceito, que nos levaram a realizar eventuais ajustes necessários (*Ajustes na solução*) para que possamos realizar a validação da solução desenvolvida (*Validação da Solução*).

### 1.1.3 Organização do trabalho

O restante deste documento encontra-se organizado da seguinte maneira:

- O Capítulo 2 trata dos conceitos relacionados e da fundamentação teórica para o entendimento deste trabalho;
- O Capítulo 3 descreve o estado da arte sobre as plataformas de *middleware* para Sistemas de Informação de Saúde, através da realização de um Mapeamento Sistemático e a discussão sobre seus resultados;
- O Capítulo 4 descreve a solução proposta neste trabalho, definindo os requisitos da solução, bem como as definições de arquitetura de *software* e os detalhes de implementação do *middleware*. Além disso, detalha o estado atual da solução e as Provas de Conceito realizadas;
- O Capítulo 5 descreve o processo de validação e avaliação do *Middleware* detalhando a maneira como a solução foi avaliada, descrevendo a metodologia utilizada e discutindo os resultados obtidos no processo de avaliação;
- Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais e conclusões deste trabalho, tratando das contribuições, limitações e trabalhos futuros previstos.

## 2 Fundamentação Teórica

Este capítulo descreve os principais conceitos básicos para o desenvolvimento da solução de *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde, descrita no Capítulo 4 deste trabalho, sendo eles SIS, EHR, *eHealth*, *mHealth*, *Middleware* e o Padrão *HL7*.

### 2.1 SIS e EHR

Os Sistemas de Informação em Saúde (SIS) são definidos como o conjunto de componentes de *software* que coletam, processam, armazenam e disponibilizam a informação para apoiar o processo de tomada de decisão e auxiliar o controle das organizações de saúde (MARIN, 2010). Portanto, os SIS se configuram como estruturas capazes de garantir a obtenção e a transformação de dados de saúde em informação, permitindo a otimização de processos gerenciais e assistenciais no cuidado direto ou indireto ao paciente (FERREIRA et al., 2020).

Já os Registros Eletrônicos de Saúde (EHR) são definidos por Iakovids (IAKOVIDIS, 1998) como informações de saúde armazenadas digitalmente sobre a vida de um indivíduo com o objetivo de apoiar a continuidade dos cuidados, educação e pesquisa, garantindo a confidencialidade em todos os momentos. Dessa forma, assim como nos SIS, a utilização de sistemas EHR permite que a equipe clínica acesse de maneira facilitada informações dos pacientes (SILVA et al., 2015).

Portanto, Sistemas de Informação em Saúde e sistemas baseados em EHR podem até ser entendidos como sinônimos (MARIN, 2010) e têm como objetivo final manter um registro dos dados de saúde ao longo da vida do indivíduo, processando, armazenando e disponibilizando esses dados - seja para usuários finais ou até mesmo para integração em diferentes soluções (FILHO et al., 2020). Neste sentido, é importante citar exemplos de diferentes tipos de soluções, tais como: sistemas ambulatoriais, de farmácia, de monitoramento de sinais vitais de pacientes e até mesmo administrativos, como sistemas contábeis, dentre outros. Esses sistemas, uma vez integrados, podem otimizar processos e diminuir custos com o tratamento de saúde, aumentando, por consequência, a qualidade do serviço prestado (MARIN, 2010).

Por outro lado, uma vez que um contexto de Sistemas de Informação em Saúde e sistemas baseados em EHR é composto por diferentes tipos de soluções, surgem fontes variadas de dados, que são utilizados com diferentes propósitos e por diferentes usuários, trazendo à tona a heterogeneidade, característica predominante nos dados clínicos. Neste

sentido, iniciativas e soluções que se proponham a resolver o problema da heterogeneidade dos dados clínicos, como por exemplo a criação de *middlewares*, podem facilitar e promover a integração entre Sistemas de Informação em Saúde.

## 2.2 *eHealth*

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), *eHealth* é o “uso seguro e com boa relação custo-benefício das tecnologias da informação e comunicação em apoio à saúde e aos campos relacionados à saúde, incluindo serviços de saúde, vigilância em saúde, literatura sobre saúde e educação, conhecimento e pesquisa em saúde” (WHO, 2021b).

*EHealth* é o campo que surge como interseção entre a informática médica, saúde pública e negócios, referindo-se a serviços de saúde que são aprimorados por meio do uso de tecnologias que são utilizadas por meio da internet. No entanto, o termo “*eHealth*” aparentemente não foi utilizado primeiramente no âmbito acadêmico, mas sim por líderes da indústria e pelo pessoal do *marketing*, que na tentativa de transmitir promessas e princípios em torno do comércio eletrônico para a área da saúde, seguiram a linha dos termos “*e-words*”, tais como “*e-commerce*”, “*e-business*”, “*e-solutions*”, dentre outros (EYSENBACH, 2001). Dessa forma, as soluções de *eHealth* devem promover uma série de melhorias e características no contexto de soluções de saúde, tais como:

- Eficiência;
- Melhoria da qualidade do serviço de saúde;
- Promover intervenções baseadas em evidência;
- Empoderar pacientes e consumidores no geral;
- Encorajar novos relacionamentos entre pacientes e equipe clínica;
- Educar os profissionais de saúde;
- Permitir troca de informação através da comunicação padronizada entre estabelecimentos de saúde;
- Estender o escopo do tratamento de saúde para além das fronteiras existentes;
- Garantir o atendimento à questões éticas;
- Garantir igualdade no acesso aos cuidados de saúde.

De acordo com OMS, o avanço das tecnologias digitais que obedecem cada vez mais as características supracitadas, tornaram as soluções de *eHealth* essenciais para a vida

diária e a população mundial nunca esteve tão interconectada. Neste sentido, a inovação está acontecendo em uma escala sem precedentes. No entanto, a aplicação de iniciativas inovadoras na área da saúde permanece amplamente inexplorada e ainda há uma lacuna para o desenvolvimento e utilização de soluções digitais de saúde (WHO, 2021a).

## 2.3 *mHealth*

De acordo com o relatório apresentado pela GSMA, o número de pessoas no mundo que utilizam algum aparelho móvel pode chegar a até 5,8 bilhões no ano de 2025 (GSMA, 2021). Ainda segundo o mesmo relatório, no ano de 2021 cerca de 49% da população mundial está conectada, acessando serviços da internet através de um dispositivo móvel. Neste sentido, as tecnologias móveis têm o potencial de revolucionar a forma como as populações interagem com os serviços de saúde.

A área que consiste na utilização da computação móvel e de tecnologias de comunicação na saúde é chamada de *mHealth* (FREE et al., 2010). Segundo a OMS, *mHealth* nada mais é do que a utilização de tecnologias móveis sem fio para a saúde pública, fazendo parte integrante das soluções de *eHealth* (WHO et al., 2016).

O avanço das comunicações móveis que, atualmente, suportam redes móveis de 3G, 4G e até 5G para transporte de dados, faz com que a computação móvel promova inúmeras possibilidades para criação de soluções para a área da saúde baseadas em computação móvel (SILVA et al., 2015)(MATTOS; GONDIM, 2016) e, de acordo com a OMS, as soluções baseadas em *mHealth* demonstraram aumentar o acesso à informações, serviços e habilidades de saúde, promovendo mudanças positivas nos comportamentos de saúde para prevenir o aparecimento de doenças agudas e crônicas (WHO et al., 2016).

Ainda de acordo com a OMS, a disseminação de soluções digitais, principalmente soluções de *mHealth*, têm um potencial gigantesco para aumentar a garantia de acesso a serviços de saúde de qualidade (WHO et al., 2016). Neste sentido, o aumento da implementação e utilização de soluções baseadas em *eHealth* e *mHealth* pode contribuir em diversos pontos, tais como:

- *Aumentar o acesso a serviços de saúde de qualidade.* A utilização de soluções de *mHealth* pode promover o compartilhamento eficaz e oportuno de dados de saúde. A capacidade de conectar dispositivos e sensores, junto com a capacidade de conectividade utilizando tecnologias móveis, aumenta seu alcance e poder no diagnóstico, monitoramento, gerenciamento e pesquisa clínica;
- *Aumentar o acesso aos serviços de saúde sexual e reprodutiva; redução da mortalidade materna, infantil e neonatal.* O objetivo de integrar a saúde móvel em todo o âmbito da saúde reprodutiva, materna, neonatal e infantil concentra-se no fortalecimento da

qualidade, cobertura e acessibilidade das intervenções de saúde validadas através do registro eletrônico de dados dos pacientes, avaliações e monitoramento daqueles que precisam dos serviços, acompanhando e respondendo aos eventos de saúde em tempo hábil, melhorando resultados e reduzindo a mortalidade;

- *Reduzir a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis e comorbidades com doenças não transmissíveis.* As oportunidades de reduzir a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis envolvem desde iniciativas de conscientização, até atividades que apoiem o diagnóstico e o rastreamento dessas doenças, possibilitando o gerenciamento geral dessas condições crônicas;
- *Aumentar a segurança global da saúde.* A utilização de soluções de *mHealth* pode contribuir com a coleta de informações e dados sobre epidemias e indicadores de saúde diretamente das populações afetadas ou outras partes interessadas, por meio de abordagens como “*crowdsourcing*” ou relatórios da comunidade;
- *Aumentar a segurança e a qualidade do atendimento.* As tecnologias móveis permitem que os indivíduos tenham acesso a seus próprios registros de saúde resumidos e dão aos médicos acesso oportuno a esses registros, o que é particularmente importante quando os pacientes procuram atendimento fora de seus ambientes normais de atendimento.

Assim como as soluções de *eHealth*, ainda há muito espaço para o desenvolvimento de soluções para a área da saúde que sejam baseadas na computação móvel, ou seja, soluções de *mHealth*. Além disso, faz-se necessário que essas soluções prevejam e tenham capacidade de integração com outras soluções digitais da área da saúde.

## 2.4 *Middleware*

Segundo Bakken (BAKKEN, 2001), um *middleware* é a camada de *software* que está acima do sistema operacional, mas abaixo da aplicação e que provê uma abstração de programação comum através de sistemas distribuídos. Plataformas de *Middleware* auxiliam no gerenciamento da complexidade e da heterogeneidade presentes nos sistemas distribuídos, possibilitando que detalhes de desenvolvimento de baixo nível sejam abstraídos, facilitando o desenvolvimento e fazendo com que o programador possa focar nos requisitos funcionais do sistema (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010) (BRUNEO; PULIAFITO; SCARPA, 2007). Por promover abstrações de alto nível para os programadores, eles facilitam etapas da integração entre sistemas heterogêneos, aumentando a produtividade da equipe de desenvolvimento e diminuindo a quantidade de erros no processo de integração.

Portanto, plataformas de *middleware* têm como objetivo promover a interoperabilidade entre diferentes sistemas e aplicações, fazendo com que detalhes de suas imple-

mentações se tornem invisíveis aos desenvolvedores (LIU; MA; LIU, 2012). Neste sentido, Emmerich (EMMERICH, 2000) divide as Plataformas de *Middleware* em 4 categorias diferentes, sendo elas: *Middleware* Transacional, *Middleware* Orientado à Mensagens, *Middleware* Baseado em Procedimentos e *Middleware* Orientados a Objetos. Essas categorias serão descritas a seguir:

- *Middleware* Transacional: Plataformas de *Middleware* transacionais dão suporte à transações envolvendo componentes que são executados em ambientes distribuídos, utilizando um protocolo de confirmação de duas fases para implementar transações distribuídas. Plataformas de *Middleware* dessa categoria são utilizados quando transações precisam ser coordenadas e sincronizadas usando bancos de dados múltiplos;
- *Middleware* Orientado à Mensagens (MOM): MOM são baseados em mensagens e filas de mensagens, dando suporte à comunicação entre componentes de sistemas distribuídos facilitando a troca de mensagens entre eles. Como exemplos de soluções que são suporte à MOM, podemos citar o *Java Message Service* (JMS) (ORACLE, 2021a);
- *Middleware* Baseado em Procedimentos: Plataformas de *Middleware* dessa categoria são baseados em Chamadas de Procedimentos Remotos, do inglês *Remote Procedure Call* (RPC). Dessa forma, *middleware* baseados em RPC realizam chamadas de funções remotas de forma que elas pareçam que são funções locais. RPC é baseado no modelo cliente/servidor para comunicação entre as aplicações, portanto, há uma interação síncrona (*request/reply*) entre clientes e servidores, trazendo um forte acoplamento entre eles;
- *Middleware* Orientado a Objetos (OOM): OOM fazem com que princípios de orientação a objetos, como identificação de objetos por meio de referências, interfaces, encapsulamento e herança, estejam disponíveis para o desenvolvimento de sistemas distribuídos. Dessa forma, objetos remotos são vistos como locais. Podemos citar como exemplos o *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA) (OMG, 2017) e o *Java Remote Method Invocation* (Java RMI) (ORACLE, 2021b).

Na área da saúde, um levantamento realizado por Malaquias et al. (MALAQUIAS et al., 2021), mostrou que há soluções para integração de dados de saúde de diferentes tipos, mas principalmente, os *middlewares* criados para esse contexto são *Middleware*s Orientados à Mensagens ou *Middleware*s de Objetos Distribuídos. No entanto, poucas são as soluções que utilizam padrões abertos, como *HL7 FHIR*, para promover interoperabilidade entre sistemas de informação de saúde.

## 2.5 O Padrão HL7

*Health Level - 7* (HL7) é um padrão internacional baseado na camada 7 do modelo *Open System for Intercommunication* (OSI), que contém um conjunto de normas para a transferência de dados clínicos e administrativos entre aplicativos de software usados por organizações da área da saúde (BEZERRA; ARAÚJO; UNITPAC-ARAGUAÍNA, 2019).

O nome HL7 faz alusão ao nível mais alto do modelo de comunicações da Organization for Standardization (ISO) para o modelo OSI e o padrão HL7 é mantido por uma organização sem fins lucrativos (a *Health Level Seven International*) e tem como objetivo viabilizar o desenvolvimento de soluções que lidem com os desafios da interoperabilidade em sistemas de saúde (BEZERRA; ARAÚJO; UNITPAC-ARAGUAÍNA, 2019). A *HL7 International* é uma organização de desenvolvimento de padrões, credenciada pela ANSI, e é a autoridade global em interoperabilidade para tecnologia da informação em saúde. (INTERNATIONAL, 2021d).

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 (KABACHINSKI, 2006), o uso de HL7 permite uma comunicação fracamente acoplada entre aplicações independentes e que estão em rede compartilhada. No entanto, HL7 não descreve, nem define, como os dados vão ser transferidos de uma aplicação a outra na rede.

Como previamente explicado, a *HL7 International* fornece uma estrutura (e padrões relacionados) para a troca, integração e compartilhamento e recuperação de informações eletrônicas de saúde. Esses padrões apoiam a prática clínica e o gerenciamento de serviços de saúde, e são agrupados em algumas categorias de referência, tais como: HL7 Versão 2 (V2), HL7 Versão 3 (V3) e FHIR - *Fast Healthcare Interoperability Resources* (INTERNATIONAL, 2021e). Estes padrões serão descritos nas subseções a seguir:

### 2.5.1 HL7 V2

O padrão de mensagens da versão 2 (V2) do HL7 é um dos principais padrões utilizados para a troca de dados clínicos entre sistemas e é um dos padrões mais implantados para integração de sistemas de saúde no mundo. Por ser um padrão desenvolvido para a troca de dados clínicos entre sistemas, o HL7 V2 pode ser utilizado para sistemas que envolvem os cuidados com o paciente, principalmente em ambientes mais distribuídos, compostos por sistemas de departamentos de um contexto de saúde, tais como: sistemas farmacêuticos, de exames laboratoriais, monitoramento de sinais vitais de pacientes e até prontuários eletrônicos (INTERNATIONAL, 2021b).

A estrutura do HL7 V2 é baseada em mensagem e foi projetada para garantir

que o significado dos dados seja transmitido e diferentes tipos de mensagens podem ser enviados utilizando HL7. A Tabela 1 descreve exemplos de tipos de mensagens tratadas pelo HL7 V2 e a Figura 2 mostra o exemplo de uma mensagem do tipo ADT, onde MSH é o segmento do cabeçalho, PID é a identidade do paciente e PV1 é a informação da visita do paciente. O quinto campo no segmento PID se trata do nome do paciente seguindo a seguinte ordem: sobrenome, nome, segundo nome (ou suas iniciais), sufixo, e assim por diante.

Tipo de Mensagem	Descrição
HL7 ADT	Admissão, alta e transferência de pacientes
HL7 ORM	Pedido de entrada
HL7 ORU	Resultado de observação
HL7 MDM	Gerenciamento de documentos médicos
HL7 DFT	Transações financeiras detalhadas
HL7 BAR	Registros de faturamentos de contas
HL7 SIU	Informações de agendamentos não solicitadas
HL7 RDS	Farmácia / Dispensa de tratamento
HL7 RDE	Farmácia / Ordem de tratamento
HL7 ACK	Mensagem de confirmação

Tabela 1 – Tipos de mensagens HL7.

```
MSH|^~\&|MegaReg|XYZHospC|SuperOE|XYZImgCtr|20060529090131-0500||ADT^A01^ADT_A01|01052901|P|2.5
EVN||200605290901|||200605290900
PID||56782445^^^UAREg^PI||KLEINSAMPLE^BARRY^Q^JR||19620910|M||2028-9^^HL70005^RA99113^^XYZ|260 GOODWIN CREST
DRIVE^^BIRMINGHAM^AL^35209^^M-NICKELL'S PICKLES^10000 W 100TH AVE^BIRMINGHAM^AL^35200^^O|||||0105I30001^^^99DEF^AN
PV1||I|W^389^1^UABH^^^3||||12345^MORGAN^REX^J^^MD^0010^UAMC^L||67890^GRAINGER^LUCY^X^^MD^0010^UAMC^L|MED||||A0||13579^POTTER^SHERMAN^T^
^^MD^0010^UAMC^L|||||200605290900
OBX|1|NM|^Body Height||1.80|m^Meter^ISO+||||F
OBX|2|NM|^Body Weight||79|kg^Kilogram^ISO+||||F
AL1|1|^ASPIRIN
DG1|1||786.50^CHEST PAIN, UNSPECIFIED^I9||||A
```

Figura 2 – Exemplo de mensagem HL7 V2 do tipo ADT.

## 2.5.2 HL7 V3

A Versão 3 (V3) do HL7 (Edição normativa) consiste em um conjunto de especificações baseadas no Modelo de Informação de Referência (RIM) do HL7 e provê um recurso simples que permite que desenvolvedores que trabalham com HL7 V3 tenham acesso a um conjunto completo de mensagens, tipos de dados e terminologias necessárias para desenvolver um sistema completo para a área da saúde.

O HL7 V3 representou uma nova abordagem para a troca de dados clínicos, comparado ao HL7 V2, onde o HL7 V3 é baseado em uma metodologia orientada por modelos, produzindo mensagens e documentos baseados na sintaxe XML (INTERNATIONAL, 2021c) e, ao contrário do HL7 V2 - onde há uma maior flexibilidade para a troca de mensagens entre os sistemas envolvidos - a especificação do HL7 V3 oferece um padrão definido e testável, sendo baseada em domínios derivados do RIM e descritores de mensagem

hierárquica (HMDs). Dessa forma, a implementação de soluções com nas especificações da V3 depende de especificações normativas para tipos de dados, especificações técnicas XML e protocolos de transporte.

A seguir, segue um exemplo de uma mensagem em HL7 V3 de um evento de observação, que é o elemento pai da mensagem. Os elementos filhos especificam o tipo da observação, o ID, o tempo da observação, o status e os resultados. Esse tipo de evento pode ser utilizado para o registro e troca de informações sobre exames, por exemplo.

```
<observationEvent>
  <id root="2.16.840.1.113883.19.1122.4" extension="1045813"
    assigningAuthorityName="GHH LAB Filler Orders"/>
  <code code="1554-5" codeSystemName="LN"
    codeSystem="2.16.840.1.113883.6.1"
    displayName="GLUCOSE^POST 12H CFST:MCNC:PT:SER/PLAS:QN"/>
  <statusCode code="completed"/>
  <effectiveTime value="200202150730"/>
  <priorityCode code="R"/>
  <confidentialityCode code="N"
    codeSystem="2.16.840.1.113883.5.25"/>
  <value xsi:type="PQ" value="182" unit="mg/dL"/>
  <interpretationCode code="H"/>
  <referenceRange>
    <interpretationRange>
      <value xsi:type="IVL_PQ">
        <low value="70" unit="mg/dL"/>
        <high value="105" unit="mg/dL"/>
      </value>
      <interpretationCode code="N"/>
    </interpretationRange>
  </referenceRange>
</observationEvent>
```

### 2.5.3 Fast Healthcare Interoperability Resources - HL7 FHIR

*HL7 FHIR* é um padrão de interoperabilidade que tem como objetivo facilitar a troca de informações de saúde entre prestadores de serviços de saúde, pacientes, cuidadores, fornecedores, pagadores, pesquisadores e quaisquer outros atores envolvidos no ecossistema da prestação de serviços de saúde. *FHIR* é baseado em um modelo de conteúdo na forma de recursos e disponibiliza os dados em diferentes formatos, como *XML* e *JSON*, permitindo

a criação de interfaces RESTful para a troca de dados em tempo real ([INTERNATIONAL, 2021a](#)).

*FHIR* foi desenvolvido para simplificar ainda mais a troca de dados entre sistemas de saúde ([SARIPALLE; RUNYAN; RUSSELL, 2019](#)), focado em serviços *web* leves utilizando APIs RESTful que disponibilizam os dados tanto em *JSON* quanto em *XML* ([SARIPALLE, 2019](#)) ([FOUNDATION, 2021](#)). São diversos os modelos de dados tratados em *FHIR*, chamados de recursos. Esses recursos são relacionados a diferentes categorias inseridas no contexto de saúde. Neste sentido, podemos citar alguns exemplos de recursos disponibilizados no *HL7 FHIR* ([INTERNATIONAL, 2017](#)):

- Pessoas;
- Pacientes;
- Participantes;
- Organizações de saúde;
- Serviços de saúde;
- Agendamentos;
- Compromissos;
- Procedimentos;
- Diagnósticos;
- Medicamentos;
- Imunização;
- Cobranças;
- Pagamentos;
- Notificações de pagamentos;
- Pesquisas acadêmicas.

Todos os elementos de saúde e outros dados relacionados (por exemplo, consultas, medicamentos, reclamações, paciente, procedimentos, etc.) são expressos como recursos que são gerenciados usando sua API, pois os recursos são expostos a sistemas ou clientes externos como serviços da *web*. A Figura 3 ilustra um exemplo de um recurso com dados anonimizados de um Paciente real, no padrão *FHIR* e disponibilizado no formato *JSON*.

```

1- {
2   "resourceType": "Patient",
3   "identifier": [
4     {
5       "value": "7025063XXXXXXXXX4"
6     },
7     {
8       "value": "052XXXXXXXXX4"
9     }
10  ],
11  "name": [
12    {
13      "given": [
14        "MARIAXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX"
15      ]
16    }
17  ],
18  "gender": "female",
19  "birthDate": "1980-05-18",
20  "address": [
21    {
22      "line": [
23        "RuaXXXXXXXXXXXX",
24        "CamXXXXXXXXXX",
25        "59XXXXXXXXXX",
26        "aptXXXXXXXXXXXX D",
27        "Natal",
28        "35",
29        "Brasil",
30        "Rio Grande do Norte"
31      ]
32    }
33  ]
34 }

```

Figura 3 – Representação, no formato *JSON*, de dados de um Paciente a partir de um recurso Patient do *HL7 FHIR*.

A utilização de *HL7 FHIR* para promover a interoperabilidade entre sistemas de informação de saúde está em alta, sendo essa uma tecnologia utilizada por gigantes da tecnologia como Apple, Microsoft e Google (INTERNATIONAL, 2021a). Isso se dá, principalmente, pelo fato de que o *HL7 FHIR* apresenta características que facilitam a implementação e integração a partir de serviços *web* simples, disponibilizando os dados em diferentes formatos como *XML* e *JSON*.

A possibilidade de integração a partir de API RESTFul trazida pela utilização do *HL7 FHIR* pode simplificar o compartilhamento de dados e reduzir o tempo de integração de novos sistemas e dispositivos na troca de dados, principalmente se comparado à versões anteriores do *HL7* (V2 e V3), que possuem protocolos mais rígidos e exigem uma curva de aprendizado maior dos desenvolvedores no processo de implementação. Além disso, a utilização de *HL7 FHIR* oferece o potencial de maior interoperabilidade entre a ampla gama de sistemas e dispositivos no contexto da saúde, incluindo não apenas Sistemas de EHR, mas também aplicativos e dispositivos móveis, como os *wereables*. Essas características credenciaram *HL7 FHIR* como o padrão a ser utilizado no *Middleware* descrito neste trabalho.

## 3 Revisão do Estado da Arte

Antes de propor uma solução de *Middleware* para Sistemas de Informação de Saúde, descrita no Capítulo 4, foi realizado um Mapeamento Sistemático da Literatura, com o objetivo de compreender o estado atual da arte, lacunas, desafios e tendências de pesquisa e desenvolvimento de Plataformas de *Middleware* para Sistemas de Informação de Saúde.

Na seção 3.1 será descrita a Metodologia adotada para a realização do Mapeamento Sistemático, abordando pontos como: o objetivo e as questões de pesquisa do mapeamento; a descrição do processo de pesquisa; os critérios de inclusão e exclusão de trabalhos na revisão; e o processo de extração, análise e seleção dos artigos. Em seguida, na seção 3.2 são apresentados os resultados da análise detalhada dos trabalhos selecionados, focando nas respostas à cada questão de pesquisa e, por fim, são apresentadas as conclusões obtidas a partir da revisão realizada.

### 3.1 Metodologia

Segundo Kitchenham et al. (KITCHENHAM et al., 2009), um Mapeamento Sistemático é um tipo de estudo secundário que tem como objetivo identificar todas as pesquisas relacionadas a um tópico específico, ou seja, responder a questões mais amplas relacionadas à evolução da investigação, onde tais questões podem ser classificadas como exploratórias. E, segundo Petersen et al. (PETERSEN et al., 2008), um estudo de Mapeamento Sistemático fornece uma estrutura do tipo de relatórios de pesquisa e resultados que foram publicados, categorizando-os.

Portanto, a execução desta pesquisa foi realizada com base nas diretrizes recomendadas por Petersen et al. (PETERSEN et al., 2008). Nesta seção, são apresentados os detalhes mais importantes do protocolo definido e validado para o Mapeamento Sistemático, tais como: objetivo e questões de pesquisa; processo de pesquisa; definição dos critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos; avaliação de qualidade; e o processo de extração análise e seleção dos artigos.

#### 3.1.1 Objetivo e questões de pesquisa

O objetivo do Mapeamento Sistemático foi compreender o estado atual e as tendências futuras de Plataformas de *Middleware* para aplicações de *eHealth* e *mHealth*, e também encontrar áreas para futuras investigações. Para isso, foram definidas as seguintes Questões de Pesquisa (**RQ**) que serão utilizadas na investigação dos artigos:

- **RQ1:** Quais são as Plataformas de *Middleware* existentes para sistemas de informação de saúde?

A RQ1 tem como objetivo identificar quais são as principais plataformas de *middleware* para sistemas de informação de saúde descritas na literatura e entender como essas soluções promovem interoperabilidade.

- **RQ2:** Quais são as principais características das plataformas de *middleware* para sistemas de informação de saúde?

A RQ2 tem como objetivo possibilitar o mapeamento sobre as principais características e requisitos que plataformas de *middleware* para a área da saúde devem atender.

- **RQ3:** De que forma as Plataformas de *Middleware* são avaliadas nos trabalhos analisados?

Através da RQ3 pretendemos compreender sob quais métricas as Plataformas de *Middleware* são avaliados do ponto de vista de atributos de qualidade como performance e disponibilidade, para identificar possíveis gargalos no desenvolvimento de *middleware* o contexto da saúde.

- **RQ4:** Quais são os desafios e oportunidades de desenvolver um *middleware* para sistemas de informação de saúde?

RQ4 tem como objetivo analisar os principais desafios presentes no desenvolvimento de Plataformas de *Middleware* para soluções da área da saúde e, através disso, identificar oportunidades e lacunas para futuras investigações e desenvolvimento de Plataformas de *Middleware* para o contexto da saúde.

### 3.1.2 Processo de pesquisa

O engenho de busca definido para a seleção dos estudos foi a Plataforma *Scopus*, da Elsevier (BOYLE; SHERMAN, 2006). Essa Plataforma indexa as principais bases de estudos científicos na área de Ciência da Computação, tais como: ACM Digital Library (LIBRARY, 2021), IEEE Explorer (DURNIAK, 2000), Science Direct (SCIENCEDIRECT, 2021) e Springer Link (NATURE, 2021) e por esse motivo foi escolhida para executarmos a *string* de busca definida no protocolo e realizarmos a coleta dos trabalhos.

A *string* de busca foi construída a partir da concatenação de termos presentes nas questões de pesquisa e, para fins de busca, foram considerados os títulos, *abstract* e palavras-chave dos trabalhos. Portanto, no Mapeamento Sistemático foi utilizada a seguinte *string* de busca: “Middleware” AND (“Health” OR “Healthcare”).

### 3.1.3 Critérios de inclusão e exclusão

Nesta revisão foram incluídos estudos publicados em qualquer ano, desde que escritos na língua inglesa. Os Critérios de Exclusão (**EC**) definidos foram:

- **EC1:** Trabalhos duplicados;
- **EC2:** Artigos derivados do mesmo autor e pesquisa;
- **EC3:** Trabalhos que não apresentarem plataformas de *middleware*;
- **EC4:** Trabalhos que não apresentam plataformas de *middleware* para sistemas de informação de saúde;
- **EC5:** Trabalhos sem disponibilidade para *download*;
- **EC6:** Trabalhos que não responderem nenhuma questão de pesquisa.

### 3.1.4 Avaliação de qualidade

Cada estudo selecionado foi avaliado de acordo com as seguintes questões de Avaliação para Qualidade (**QA**):

- **QA1:** O trabalho possui uma declaração clara dos objetivos da pesquisa?
- **QA2:** O trabalho descreve bem o contexto em que a pesquisa foi realizada?
- **QA3:** Os resultados obtidos estão claros?

As questões de avaliação da qualidade foram pontuadas da seguinte forma: -1 - em caso de não atendimento aos critérios; 0 - no caso de atendimento parcial dos critérios; e 1 - caso atenda integralmente os critérios. A avaliação está disponível em uma planilha eletrônica que pode ser acessada através do seguinte *link*: <<http://bit.ly/mapeamento-sistematico>>.

### 3.1.5 Extração, análise e seleção dos artigos

Os dados extraídos de cada estudo foram: Ano de publicação, *link* para acesso, quantidade de citações, título, *abstract*, características e requisitos da solução proposta, protocolos utilizados, desafios e comentários adicionais. Dessa forma, o processo de extração, análise e seleção dos artigos se deu por meio de 3 fases, descritas a seguir:

- Fase 1 - Execução da *string* de busca no engenho de busca: Nessa fase, a pesquisa na Plataforma Scopus (considerando o título, o *abstract* e as palavras-chave dos trabalhos) e retornou 1.142 trabalhos;

- Fase 2 - Análise de título e resumo dos trabalhos obtidos na Fase 1: A análise foi feita com base nos critérios de inclusão e exclusão definidos. Após a realização dessa fase, foram selecionados 142 artigos;
- Fase 3 - Análise de introdução e conclusão dos artigos selecionados na Fase 2: Foi realizada a leitura dos artigos selecionados na Fase 2 a fim de identificar e selecionar os artigos que respondem à pelo menos duas questões de pesquisa definidas no protocolo. Nessa fase foram selecionados 34 para leitura detalhada e análise final.

A Figura 4 mostra o processo de extração, análise e seleção dos artigos, bem como o quantitativo de trabalhos que foram selecionados após a execução de cada fase.

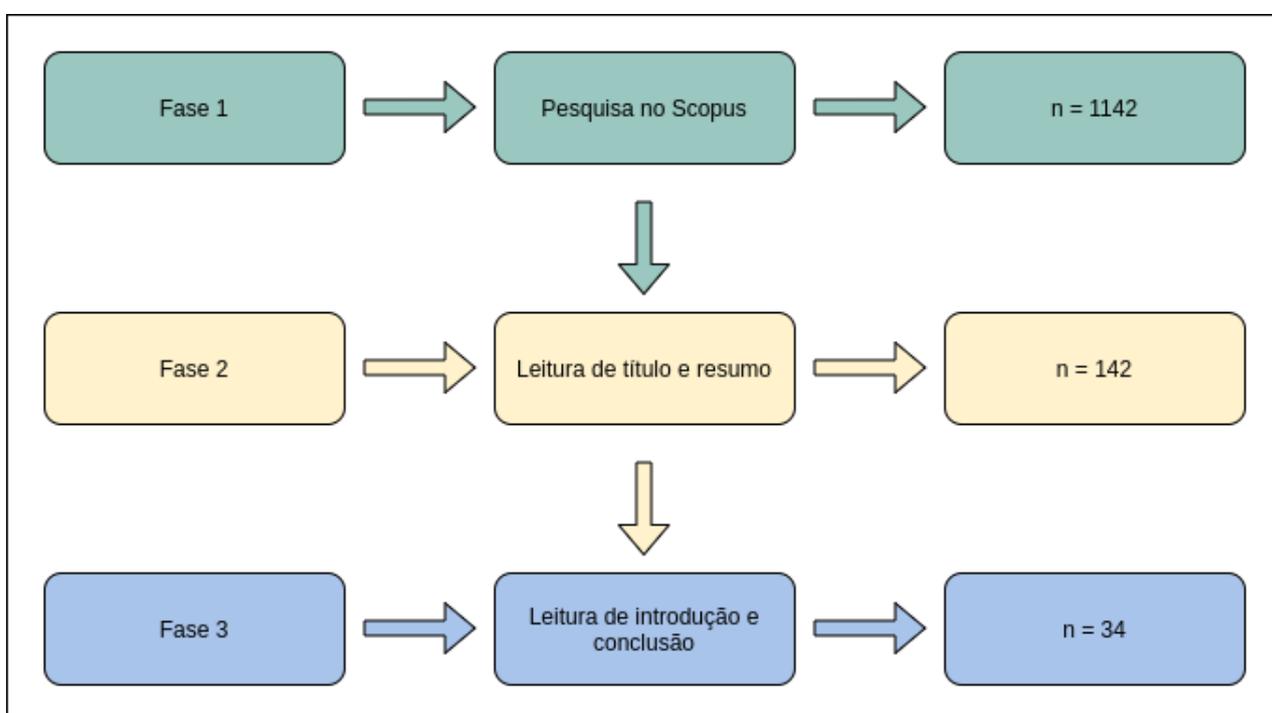


Figura 4 – Processo de extração, análise e seleção dos artigos.

## 3.2 Resultados

A Fase 3 do processo de extração, análise e seleção resultou em 34 artigos, que foram lidos de maneira detalhada e atenciosa, com o intuito de entender como cada um dos trabalhos responde às questões de pesquisa definidas no protocolo de pesquisa. Esta seção relata a análise desses artigos do ponto de vista de cada questão de pesquisa definida. Foi utilizada uma planilha *online* para melhor controle da análise dos trabalhos, que está disponível no seguinte *link*: <<http://bit.ly/mapeamento-sistematico>>.

### 3.2.1 RQ1: Quais são as Plataformas de *Middleware* existentes para sistemas de informação de saúde?

Após a leitura e análise dos artigos selecionados foram encontradas 14 plataformas de *middleware*, sendo os trabalhos focados em definir novos ou em analisar soluções já existentes. De uma maneira geral, como alternativa para promover interoperabilidade entre sistemas de saúde, Pervez et al. (PERVEZ et al., 2016) cita plataformas de *middleware* para interoperabilidade entre dispositivos (DIM), afirmando que essas soluções têm mostrado potencial para resolver tal problema. Ainda, plataformas de *middleware* orientados a mensagens (MOM) também são utilizados (MELAMENT et al., 2011).

Soluções baseadas no padrão *HL7* (FOUNDATION, 2021) são citadas como opções para o desenvolvimento de plataformas de *middleware* para sistemas de saúde (LIU; HUANG, 2012). Além disso, em Zhang et al. (ZHANG; THUROW; STOLL, 2014) são citadas algumas soluções ditas como “padrões” pelos autores, tais como: “*Medical Tele-monitoring System*” que consiste em um método de envio de informações fisiológicas e médicas de forma remota através da internet para um centro de análises e diagnóstico; além do *middleware* descrito no próprio artigo, o “*Mobile Context and Ontology-based Reasoning/Feedback (MCOM)*”, um sistema que monitora o estado de saúde dos pacientes usando o *Smartphone*.

No trabalho de Alonso et al. (ALONSO et al., 2018), foi realizado um estudo de várias plataformas de *middleware*, dentre elas o Kura, um *middleware* proposto pelo consórcio Eclipse e que foi projetado para ser instalado em *gateways*; o AllJoyn, proposto pela Fundação Linux, que fornece uma versão para recursos restritos e também fornece APIs diferentes para desenvolvedores; o Macchina.io, que segundo o autor, é bastante modular e extensível implementando um protocolo de mensagens baseados no modelo de publicação/assinatura. Na linha de aplicações que utilizam esse modelo, Almadani et al. (ALMADANI; SAEED; ALROUBAIY, 2016) propõe um *Middleware Real-Time Publish Subscribe (RTPS)* e Singh et al. (SINGH et al., 2008) que apresentam um modelo de *middleware* para controlar o compartilhamento de informações em um ambiente baseado em publicação/assinatura.

O *My – AHA* é descrito por Madureira et al. (MADUREIRA et al., 2019) e trata-se de um *middleware* multiplataforma projetado para integrar perfeitamente diferentes soluções de saúde e envelhecimento ativo, visando o bem-estar. Segundo os autores, a arquitetura proposta para *My – AHA* é uma arquitetura de sistema multi-módulo, totalmente escalável e facilmente implementável, focando em ajudar os cuidadores e os próprios idosos a melhorar sua condição atual, considerando mudanças nos parâmetros cognitivos, físicos, sociais e psicológicos.

Uma estrutura para interoperabilidade entre sistemas de saúde é proposta por

Ryan et al. (RYAN; EKLUND, 2010). Trata-se do *Health Service Bus (HSB)*, uma solução baseada na arquitetura de *software de middleware Enterprise Service Bus (ESB)*, que fornece uma abordagem fracamente acoplada e altamente distribuída para integração de sistemas corporativos. Outro exemplo de *middleware* é o *SALSA*, proposto por Rodriguez et al. (RODRIGUEZ; FAVELA, 2008) e que permite aos desenvolvedores criarem agentes autônomos que reagem aos elementos contextuais do ambiente médico e se comunicam com outros agentes, usuários e serviços disponíveis no ambiente.

O *POStCODE (POstmarket SurveillanCe Of DEvices)* é um *middleware* proposto por Chaudhry et al. (CHAUDHRY et al., 2018) que fornece os detalhes operacionais, tomando cuidado para excluir os dados privados dos pacientes, dos dispositivos diretamente aos fabricantes. Assim, possibilitando o monitoramento e manutenção dos dispositivos médicos por partes dos fabricantes. Na linha de sincronização dos dados médicos, temos também a solução proposta por Lomotey et al. (LOMOTY et al., 2016a), um *middleware* para *mHealth (mobile health)* que facilita o processo eficiente de sincronização de dados médicos, e com latência mínima.

O *SBUS* é um *middleware* apresentado por Singh et al (SINGH; BACON, 2011). O *SBUS* é uma solução que permite múltiplas formas de comunicação que são reconfiguráveis de maneira dinâmica. Ele garante que os tipos de mensagem dos terminais correspondam e que cada transmissão (mensagem) esteja em conformidade com o esquema de tipo. Além disso, *SBUS* suporta vários métodos de comunicação, incluindo cliente-servidor (solicitação-resposta e RPC) e *streaming* de mensagens *push/pull*.

Algumas iniciativas para promover interoperabilidade entre sistemas de saúde a nível de continente ou de um país também foram identificadas na literatura. Como por exemplo, Ferrara (FERRARA, 1998) propõe o *DHE (Distributed Healthcare Environment)*, que se trata de um *middleware* em conformidade com a proposta de Arquitetura de Sistema de Informação de Saúde Padrão Europeu, implementando um repositório distribuído para todas as informações clínicas, organizacionais e gerenciais da estrutura de saúde, para disponibilizá-las quando e onde necessário para todas as aplicações no sistema de informação de saúde. Já AlZghoul et al. (ALZGHOUL; AL-TAEE; AL-TAEE, 2016) descreve uma arquitetura de *middleware* para ajudar os provedores de saúde na Jordânia a acessar o dados eletrônicos de saúde que residem em um banco de dados nacional de saúde.

Aplicações para a área de saúde lidam com uma série de arquivos multimídia, principalmente exames em formato de imagens. Nesse sentido, Kallepalli et al. (KALLEPALLI et al., 2003) descrevem um *middleware* de segurança para imagens *DICOM* que fornece controle de acesso refinado, gerenciamento de políticas, filtragem demográfica e manutenção de registros restritos ao Canadian-Manitoban PHIA e ao padrão DICOM. Outra solução de *middleware* proposta para utilização em ambientes de dados de saúde é

o *CORBA* (*Common Object Request Broker Architecture*), que foi utilizado nos trabalhos de Murshed et al. (MURSHED et al., 2012), Waluyo et al. (WALUYO et al., 2009) e Blobel and Holena (BLOBEL; HOLENA, 1997).

Uma série de tecnologias, sistemas e padrões são utilizados por Hsieh et al. (HSIEH et al., 2006) para caracterizar uma solução de *middleware*, sendo elas: um *Single Sign-On Server* (SSOS) em um Portal Corporativo de Informações de Saúde (HEIP) e um sistema de informações de saúde (HIS). Esse conjunto de soluções foi implantado na infraestrutura de rede do *National Taiwan University Hospital* (NTUH).

Por fim, uma série de plataformas de *middleware* foram citadas nos trabalhos analisados, sendo elas *MiThrillNGN*, o *MyHearth* e o *X73uHealth* (JI et al., 2014), o *ANGELAH* (AssistiNG ELders At Home) - proposto em Taleb et al. (TALEB et al., 2009) e o *HYDRA*, uma solução que permite que dispositivos diferentes sejam incorporados às aplicações por meio de uma interface de serviços simples.

A Tabela 2 sintetiza as principais Plataformas de *Middleware* para sistemas de informação de saúde propostos nos trabalhos analisados, indicando os autores, bem como uma breve descrição de cada solução.

Tabela 2 – Plataformas de *Middleware* para sistemas de informação de saúde.

<b>Autor</b>	<b>Middleware</b>	<b>Descrição</b>
Zhang et al.	Mobile Context and Ontology-based Reasoning/Feedback (MCOM)	Sistema de monitoramento do estado de saúde dos pacientes utilizando o <i>smartphone</i>
Kura	Proposto pelo consórcio Eclipse e que foi projetado para ser instalado em <i>gateways</i>	
	AllJoyn	Proposto pela Fundação Linux, que fornece uma versão para recursos restritos e também fornece APIs diferentes para desenvolvedores
	Macchina.io	<i>Middleware</i> que implementa um protocolo de mensagens baseado em publicação/assinatura
Almadani et al.	<i>RTPS</i>	Apresenta um modelo de <i>middleware</i> para controlar o compartilhamento de informações em um ambiente baseado em publicação/assinatura.

Madureira et al.	<i>My – AHA</i>	Solução multiplataforma baseada em uma arquitetura de sistema multi-módulo, para integração de diferentes soluções de saúde e envelhecimento ativo
Ryan et al.	Health Service Bus ( <i>HSB</i> )	Solução baseada na arquitetura de <i>software</i> de <i>middleware</i> Enterprise Service Bus (ESB), que fornece uma abordagem fracamente acoplada e altamente distribuída para integração de sistemas corporativos
Rodriguez et al.	<i>SALSA</i>	Solução baseada na criação de agentes autônomos que reagem aos elementos contextuais do ambiente médico e se comunicam com outros agentes, usuários e serviços disponíveis no ambiente
Chaudhry et al.	<i>POStCODE</i> (Post-market SurveillanCe Of DEvices)	Um <i>middleware</i> que fornece os detalhes operacionais, tomando cuidado para excluir os dados privados dos pacientes, dos dispositivos diretamente aos fabricantes
Lomotey et al.	<i>Middleware</i> para <i>mHealth</i>	Solução focada no processo de sincronização dos dados e na diminuição de latência
Singh et al.	<i>SBUS</i>	Solução que permite múltiplas formas de comunicação que são reconfiguráveis de maneira dinâmica, suportando vários métodos de comunicação, como por exemplo: cliente-servidor e <i>streaming</i> de mensagens
Ferrara	<i>DHE</i> (Distributed Healthcare Environment)	<i>Middleware</i> em conformidade com a proposta de Arquitetura de Sistema de Informação de Saúde Padrão Europeu, implementando um repositório distribuído para todas as informações clínicas, organizacionais e gerenciais da estrutura de saúde
Kallepalli et al.	<i>Middleware</i> de segurança para imagens DICOM	Fornecer controle de acesso refinado, gerenciamento de políticas, filtragem demográfica e manutenção de registros restritos ao Canadian-Manitoban PHIA e ao padrão DICOM

### 3.2.2 RQ2: Quais são as principais características das Plataformas de *Middleware* para sistemas de informação de saúde?

Os trabalhos citam as principais características e requisitos das Plataformas de *Middleware* para sistemas de informação em saúde. Rodriguez and Favela ([RODRIGUEZ](#);

FAVELA, 2008) dizem que as principais características de um *middleware* para saúde são: prover integração de dados entre diversos dispositivos e artefatos, mobilidade de dados entre os médicos, pacientes, usuários; e mobilidade de documentos e equipamentos.

Segundo Ferrara (FERRARA, 1998), um *middleware* para sistemas de saúde deve: (i) fornecer um suporte otimizado às necessidades específicas dos centros e unidades individuais (que são intrinsecamente diferentes dos pontos de vista organizacional, clínico e logístico), permitindo que diferentes fornecedores ofereçam aplicações especializadas e permitindo que os usuários selecionem as soluções mais eficazes para suas necessidades; (ii) permitir que os diferentes centros e unidades cooperem com base em uma substancial consistência funcional e informativa, capaz de assegurar aquela consistência geral da organização de saúde, que é necessária para aumentar a eficácia e a confiabilidade do atendimento clínico, administrativo, atividades epidemiológicas e de gestão realizadas tanto a nível local como territorial.

No trabalho de Alonso et al. (ALONSO et al., 2018) um conjunto de requisitos de *middleware* com base em uma análise de implantações de *Structural Health Monitoring* (SHM) e recursos desejáveis de *middleware* é definido, trazendo os seguintes itens: heterogeneidade, nível de abstração alto, otimização de energia, escalabilidade, segurança, Qualidade de Serviço (*QoS*), confiabilidade e tolerância a falhas.

A necessidade de transparência na integração dos dados é citada por Martínez et al. (MARTÍEZ et al., 2010). Nesse sentido, Taleb et al. (TALEB et al., 2009) dizem que um *middleware* para sistemas de saúde deve garantir que a integração dos dispositivos e o uso do próprio *middleware* permita prover rápida ação de resposta para assegurar a segurança dos usuários. Já Oliveira et al. (OLIVEIRA et al., 2015) afirma que o *middleware* deve ser capaz de fornecer o compartilhamento e a integração de informações entre aplicativos terceiros, prover suporte para coleta de dados e ser capaz de integrar com outros dispositivos e aplicativos *mobile*.

No que diz respeito a integração com demais dispositivos, surge a característica da flexibilidade e dinamicidade (ou seja, que novos componentes possam ser adicionados ou removidos sem modificar o aplicativo existente) em diferentes contextos e ambientes, diminuindo a carga do desenvolvedor no desenvolvimento de novos recursos (KALLEPALLI et al., 2003) (ZHANG; THUROW; STOLL, 2014). A importância dessa característica também é afirmada por Pereira et al. (PEREIRA et al., 2014) que diz que as Plataformas de *Middleware* devem ser capazes de prover flexibilidade, adaptabilidade e segurança para o monitoramento de dispositivos de saúde.

A adaptabilidade é uma característica importante para Plataformas de *Middleware* focados no contexto de saúde. Segundo Kliem et al. (KLIEM et al., 2014), tais soluções devem ser capazes de lidar com dispositivos padrão e proprietários; adaptáveis para lidar com os requisitos que mudam rapidamente; permitir lidar com todos os dispositivos médicos

existentes e preservar a interoperabilidade no nível do aplicativo se eles forem substituídos (o que estende a integração com um desafio de migração).

Segundo Waluyo et al. (WALUYO et al., 2009), as características que o *middleware* deve prover dizem respeito a aquisição de dados, ao sistema de ‘*plug-and-play*’ dinâmico, segurança, ser leve e de fácil reconfiguração, e possuir gerência controle de recursos. Já Prados-Suarez et al. (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑA-YAÑEZ, 2020) cita, além da integração, o controle de acesso. Nesse sentido, o autor inclui uma camada de controle de acesso que garante a proteção da privacidade e adaptação e cumprimento de normas. Além disso, possui uma camada de acesso especialmente desenhada para facilitar o desenvolvimento de funções de acesso externo, com base no princípio da reutilização. A necessidade de controle de acesso aos dados é citada também por Singh et al. (SINGH et al., 2008), deixando clara a necessidade de disponibilidade desses dados para aqueles que prestam cuidados, mas a sensibilidade das informações médicas significa que elas também devem ser protegidas.

Ainda no que diz respeito à segurança, AlZghoul et al. (ALZGHOUL; AL-TAEE; AL-TAEE, 2016) diz que Sistemas de Registro Eletrônico de Dados de Saúde contêm dados privados que devem ser protegidos de qualquer acesso indesejado e separar o banco de dados de dados pessoais do banco de dados de dados médicos pode preservar os dados pessoais do paciente e manter os dados médicos úteis sem afetar a privacidade. Nesse sentido, prover soluções para controle de acesso nas Plataformas de *Middleware* é uma característica importante (FERRARA, 1998).

Por fim, a Tabela 3 sintetiza os principais requisitos para sistemas de saúde apontados nos trabalhos analisados.

Tabela 3 – Principais requisitos para *middlewares* para sistemas de informação de saúde.

Requisito	Descrição	Referência(s)
Integração transparente de dados	Possibilitar integração transparente de dados entre diversos dispositivos e aplicativos <i>mobile</i> , mobilidade de dados entre os médicos, pacientes, usuários; e mobilidade de documentos e equipamentos.	(RODRIGUEZ; FAVELA, 2008) (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑA-YAÑEZ, 2020) (ALONSO et al., 2018) (TALEB et al., 2009) (MARTÍEZ et al., 2010) (OLIVEIRA et al., 2015)

---

Heterogeneidade dos dados	Fornecer meios de tratar dados heterogêneos com um alto nível de abstração flexibilidade e dinamicidade em diferentes contextos e ambientes.	(FERRARA, 1998) (ALONSO et al., 2018) (KALLEPALLI et al., 2003) (ZHANG; THURROW; STOLL, 2014) (PEREIRA et al., 2014)
Flexibilidade e dinamicidade	Fornecer um suporte otimizado e flexível às necessidades específicas dos centros e unidades individuais.	(FERRARA, 1998) (ALONSO et al., 2018) (KALLEPALLI et al., 2003) (ZHANG; THURROW; STOLL, 2014) (PEREIRA et al., 2014)
Escalabilidade	Fornecer meios onde as aplicações possam escalar sem comprometer a Qualidade de Serviço ( <i>QoS</i> ).	(KLIEM et al., 2014) (WALUYO et al., 2009) (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑAYÁÑEZ, 2020) (SINGH et al., 2008) (ALZGHOUL; AL-TAEE; AL-TAEE, 2016) (FERRARA, 1998) (ALONSO et al., 2018)
Confiabilidade	Permitir que dados de diferentes centros e unidades sejam integrados, assegurando a confiabilidade dos dados envolvidos.	(FERRARA, 1998) (ALONSO et al., 2018)

---

---

Segurança	Garantir a proteção e privacidade dos dados utilizados por médicos, pacientes, usuários principalmente através de controle de acesso.	(KLIEM et al., 2014) (WALUYO et al., 2009) (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑAYÁÑEZ, 2020) (SINGH et al., 2008) (ALZGHOUL; AL-TAEE; AL-TAEE, 2016) (FERRARA, 1998)
-----------	---	---

---

### 3.2.3 RQ3: De que forma as Plataformas de *Middleware* são avaliadas?

As Plataformas de *Middleware* são avaliadas, principalmente, do ponto de vista de performance e desempenho, custos diretos e indiretos e eficácia em termos da confiabilidade e desempenho da solução. O *ANGELAH*, por exemplo, foi avaliado com base em métricas de sistemas de avaliação de performance, que utilizaram cálculos probabilísticos para tal e determinaram um resultado satisfatório para o protótipo desenvolvido (TALEB et al., 2009).

O *middleware* proposto em Lomotey et al. (LOMOTHEY et al., 2016b) é utilizado por um aplicativo móvel e foi avaliado sob duas perspectivas: (i) O tempo de processamento das transações clínicas que são relatados dos dispositivos dos usuários; e (ii) o custo indireto de comunicação. No segundo caso, a avaliação é feita estudando os dados coletados em três categorias diferentes: 1) menos carga, 2) carga média e 3) carga máxima. A categorização é baseada na utilização do sistema de informação de saúde (HIS).

O *Device Nimbus* teve sua performance avaliada através de uma série de testes que utilizou diferentes fontes de dados e atingiu as expectativas de coleta, integração e análise de dados (OLIVEIRA et al., 2015). Já no trabalho de Almadani et al. (ALMADANI; SAEED; ALROUBAIY, 2016), para avaliar o *middleware*, foi utilizado um modelo de testes práticos com dispositivos consumindo e enviando dados ao *middleware*, a fim de conferir o tempo de resposta, a qualidade da resposta e os dados através de diversos cenários.

Em Waluyo et al. (WALUYO et al., 2009), o *middleware* foi avaliado quanto a sua performance, nos quesitos tempo de transmissão de dados sem fio, performance em tempo real (com e sem segurança) e a espera na fila. Já o *BioMIMS* foi validado por

pesquisadores do Instituto Ortopédico Rizzoli, no qual pesquisadores analisaram dados providos por eles mesmos relativos a dois tipos de doenças (Multiple Osteochondromas (MO) and Osteogenesis Imperfecta (OI)), e por análise empírica os pesquisadores conseguiram comprovar a eficácia do uso da solução (MELAMENT et al., 2011) .

No trabalho de Pervez et al. (PERVEZ et al., 2016), foi utilizado um verificador de modelo probabilístico chamado PRISM para analisar a confiabilidade e desempenho dos sistemas. Foi utilizado o Processo de Decisão Markov (MDP) para encontrar a probabilidade de falhas e a Cadeia de Tempo Contínuo Markov (CTMC) para modelar o fluxo de trabalho em tempo real e avaliar a probabilidade de falhas também em tempo real. Concluiu-se que esta abordagem de análise de confiabilidade é mais escalonável em comparação com as técnicas de análise baseadas em simulações tradicionais.

Kim et al. (KIM; JO; KANG, 2017) montou um ambiente de testes para a avaliação do *middleware* proposto. Foram avaliados através de testes: o tempo de início do serviço em uma rede pública, o jitter médio (atraso entre os pacotes com o aumento do número de terminais de recebimento) e a conectividade em uma rede privada.

Por fim, de uma maneira geral, do ponto de vista de performance e desempenho, evidencia-se que as principais métricas investigadas são tempo de transmissão e processamento de dados em tempo real (com e sem segurança); No que diz respeito aos custos são considerados custos diretos e indiretos; e no que diz respeito à eficácia, as Plataformas de *Middleware* são avaliadas principalmente por meio de análise empírica e também através de abordagens probabilísticas para analisar a confiabilidade e desempenho das soluções, por exemplo, avaliando a probabilidade de falhas em tempo real.

### 3.2.4 RQ4: Quais são os desafios e oportunidades de se desenvolver um *middleware* para sistemas de informação saúde?

Em geral, o cenário de saúde é caracterizado por um grande número de aplicativos diferentes, heterogêneos e mutuamente incompatíveis, que já estão instalados e operacionais nos centros individuais, para apoiar necessidades específicas de grupos específicos de usuários (FERRARA, 1998).

Segundo Schweiger et al. (SCHWEIGER; BÜRKLE; DUDECK, 1997), a integração de aplicativos autônomos é uma tarefa difícil, pois geralmente representam informações semelhantes em diferentes esquemas de dados e qualquer comunicação requer um acordo do remetente e do destinatário sobre uma representação de dados comum. Já Kliem et al. (KLIEM et al., 2014) diz que a interoperabilidade semântica é um desafio importante para o *middleware* de integração e o domínio *eHealth* em geral, pois permite integrar todos os tipos de dispositivos médicos utilizando diferentes protocolos e formatos de dados. A diversidade de protocolos de sensores também é um dos desafios para o desenvolvimento

de *middleware* para sistemas de saúde (JI et al., 2014).

Portanto, Prados-Suarez et al. (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑA-YAÑEZ, 2020) diz que diversas fontes de informação, não apenas de instituições médicas, deveriam ser integradas gerando a necessidade de um ponto de acesso homogêneo para todos esses dados, com capacidade de adaptação (para se adequar a novos sistemas, padrões e necessidades), mas sem a necessidade de transferência da propriedade dos dados. Ainda segundo Prados-Suarez et al. (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑA-YAÑEZ, 2020), promover acessibilidade também é um desafio no desenvolvimento dessas soluções, uma vez que há diferentes necessidades de acesso com requisitos distintos - uso pessoal, uso médico, fins de pesquisa) - especialmente no que diz respeito à proteção da privacidade dos dados.

De acordo com Lomotey et al. (LOMOTÉY et al., 2016b), a alta latência no sistema *mHealth* ao enviar dados entre o celular e as instalações de computação no hospital; e o processo de transferência de dados médicos pode se tornar muito lento. Trazendo a tona o desafio de diminuir a latência dos dados considerando diferentes condições de redes.

Com relação à segurança e confiabilidade, Arunachalan et al. (ARUNACHALAN; LIGHT, 2007) reforça que a transmissão de dados críticos, como dados demográficos, sinais vitais, usando infraestrutura de rede sem fio, apresenta requisitos diferentes para a solução de *middleware*. Além disso, atenta para questões legais e de privacidade relacionadas aos dados de atendimento ao paciente, que devem ser consideradas pela solução de *middleware*.

Com relação ao manuseio de imagens por meios digitais na área da saúde (como exames, por exemplo), Kallepalli et al. (KALLEPALLI et al., 2003) diz que proteger e fornecer controle de acesso refinado para *Digital Imaging and Communication in Medicine* (DICOM) baseado em *Personal Health Information Act* (PHIA) é um dos maiores desafios em sistemas de envio e compartilhamento de imagens, o que pode ser aplicado também para soluções de *middleware* de saúde. Por fim, Shand et al. (SHAND; RASHBASS, 2008) diz que, conforme a tecnologia de *middleware* de mensagens amadurece, os usuários exigem cada vez mais recursos, levando a arquiteturas de *middleware* modulares. No entanto, a complexidade extra aumenta o risco de uma violação de segurança.

Percebe-se que vários são os desafios envolvidos no processo de desenvolvimento de um *middleware* para sistemas de saúde. Dentre os principais, podemos citar: a heterogeneidade dos dados; os diferentes meios de comunicação entre dispositivos, sensores e sistemas; a confiabilidade; e a segurança dos dados. Portanto, surgem oportunidades de investigação e pesquisa no que diz respeito soluções de *middleware* que façam uso de padrões abertos, como o próprio *HL7* (FOUNDATION, 2021), e que possam atender aos requisitos do desenvolvimento de *middleware* para sistemas de saúde, ao mesmo tempo que superam os desafios presentes nesse desenvolvimento.

### 3.3 Conclusão

Este capítulo apresentou uma análise do estado da arte das pesquisas sobre a utilização de plataformas de *middleware* para resolver o problema de interoperabilidade entre sistemas de informação de saúde, com o objetivo de compreender como os trabalhos disponíveis na literatura respondem às Questões de Pesquisa (RQ) definidas, bem como identificar tendências futuras no desenvolvimento de *middleware* para aplicações de *eHealth* e *mHealth*.

Portanto, foi realizado um Mapeamento Sistemático (PETERSEN et al., 2008) (KITCHENHAM et al., 2009), onde foram explorados mais de 1.100 artigos, que após o processo de extração, análise e seleção, culminaram em 34 trabalhos selecionados para análise e extração de dados. A análise nos evidenciou que já existem plataformas de *middleware* propostas ou desenvolvidas para a área da saúde, no entanto, são soluções que não são completamente flexíveis e aplicáveis em diferentes contextos na área, e, portanto, não atendem a todos os requisitos essenciais para plataformas de *middleware* para a área da saúde.

Diante disso, a oportunidade de criação de um *middleware* para dados de saúde que use padrões abertos e que facilitem a integração entre sistemas *web*, como *HL7 FHIR*, para integração e interoperabilidade entre diferentes soluções de saúde e que atenda aos requisitos apresentados nesta revisão ainda está aberta. Por isso, no Capítulo 4 dessa dissertação será discutido o desenvolvimento de um *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de saúde.

## 4 Um *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde

Soluções tecnológicas voltadas para o contexto da saúde baseadas em *eHealth* e *mHealth* têm a finalidade de dar suporte às decisões e otimizar processos na prestação de serviços de saúde através da coleta, armazenamento e processamento de dados de saúde (MARIN, 2010) (IAKOVIDIS, 1998). Dessa forma, a utilização de Sistemas de Informação de Saúde permite que a equipe clínica acesse de maneira facilitada informações dos pacientes, sem a necessidade de perguntá-los pessoalmente (SILVA et al., 2015), trazendo uma série de vantagens por meio de sua utilização, como a diminuição de custos e uma maior eficiência na gestão e recuperação de dados de pacientes, além de possibilitar a centralização e acesso remoto dos dados de saúde dos mesmos (ZANDIEH et al., 2008)(DEVKOTA; DEVKOTA, 2013).

As soluções digitais para a área da saúde são utilizadas em diferentes ambientes, tais como: hospitais, clínicas, laboratórios, dentre outros. Neste sentido, é comum que diferentes soluções sejam criadas para resolver problemas pontuais e de características distintas, como por exemplo: uma clínica pode ter um sistema para gerenciar os agendamentos e marcações de consultas, enquanto um hospital pode ter um sistema de monitoramento de pacientes internados em Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e um laboratório pode utilizar uma solução específica para gerenciar e acompanhar os exames que são realizados diariamente. Por consequência, a utilização de soluções distintas pode criar um ecossistema tecnológico com dados heterogêneos e que não são integradas facilmente.

Neste sentido, o desafio da heterogeneidade dos dados está fortemente relacionado ao requisito de interoperabilidade para sistemas de saúde. O conceito de interoperabilidade envolve tanto a capacidade de transferir dados quanto a capacidade de interpretação dos dados transferidos (BASS; CLEMENTS; KAZMAN, 2013). Dessa forma, considerando que no contexto de saúde diferentes sistemas podem ser utilizados (como por exemplo: Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP), Sistema de Gestão de Exames ou Sistema de Gestão de Medicamentos, dentre outros), a integração entre esses sistemas pode possibilitar o acesso a informações importantes para a tomada de decisões tanto por parte da Gestão, quanto na prestação do serviço de saúde e no cuidado com o paciente, tornando a interoperabilidade um requisito importante a ser atendido ao propor uma solução para sistemas de informação de saúde.

É com base nesse contexto e nas evidências discutidas no Capítulo 3 que, neste

Capítulo, será descrita uma solução de *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde, bem como seu processo de implementação e avaliação. O *Middleware* tem como objetivo promover a interoperabilidade entre diferentes aplicações e sistemas de informação de saúde, fazendo com que detalhes de suas implementações se tornem invisíveis aos desenvolvedores, focando apenas na camada de comunicação e possibilitando a integração entre essas diferentes soluções.

O restante do Capítulo se organiza da seguinte maneira: A Seção 4.1 trata sobre os requisitos da aplicação, com base nas evidências identificadas na análise do estado da arte; A Seção 4.2 descreve a arquitetura de *software* da solução, com vistas a atender aos requisitos propostos na Seção anterior; em seguida a Seção 4.3 descreve detalhes de implementação e o estado atual da solução proposta, considerando os requisitos e a arquitetura da solução; e, por fim, a Seção 4.4 apresenta detalhes das duas Provas de Conceito realizadas a partir da implementação do *middleware*.

## 4.1 Requisitos da Solução

A revisão do Estado da Arte realizada no Capítulo 3 evidenciou que os principais desafios para o desenvolvimento de um *middleware* para sistemas de informação de saúde consistem em:

- Prover soluções que lidem com a heterogeneidade dos dados presentes naquele contexto contemplando os requisitos identificados na análise realizada no Capítulo 3 (KLIEM et al., 2014) (FERRARA, 1998) (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑA-YAÑEZ, 2020);
- Dar suporte a dispositivos, sistemas e sensores que se comuniquem por diferentes meios (JI et al., 2014)(LOMOTÉY et al., 2016b);
- Disponibilizar dados confiáveis e de uma maneira segura, principalmente considerando o grau de sensibilidade dos dados de saúde (PRADOS-SUAREZ; MOLINA; PEÑA-YAÑEZ, 2020)(ARUNACHALAN; LIGHT, 2007).

Neste sentido, é com base nesses desafios que, a seguir, são descritos os principais requisitos que o *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde, descrito neste Capítulo, deve contemplar.

### 4.1.1 Promover integração transparente de dados heterogêneos

O *Middleware* deverá fornecer meios de tratar dados heterogêneos com um alto nível de abstração, flexibilidade e dinamicidade em diferentes contextos e ambientes.

Possibilitando que diferentes tipos de dados, como dados sobre pacientes, dados de exames ambulatoriais, dados de sinais vitais, dentre outros, que são coletados, armazenados, processados e disponibilizados por diferentes sistemas de saúde possam ser tratados e integrados de maneira transparente e com um alto nível de abstração, tornando possível a centralização de dados de saúde, facilitando o acesso e o cruzamento entre essas informações.

#### 4.1.2 Possibilitar escalabilidade

O *Middleware* deverá fornecer meios por onde as aplicações possam escalar em termos de dispositivos e sistemas conectados, bem como o volume de dados transmitidos, mas sem comprometer os requisitos de qualidade, como confiabilidade, tolerância a falhas, sincronização e resposta em tempo real.

#### 4.1.3 Prover segurança e privacidade

O *Middleware* deverá garantir a proteção e privacidade dos dados utilizados por médicos, pacientes e demais usuários, utilizando estratégias de controle de acesso de usuários. Além disso, em caso de disponibilização dos dados, deverá garantir que os dados dos pacientes sejam anonimizados, utilizando, por exemplo, técnicas e algoritmos de criptografia nesse processo.

#### 4.1.4 Prover suporte para coleta de dados, “*plug-and-play*”

O *Middleware* deverá fornecer meios para que novas fontes de dados possam se conectar e integrar seus dados à base unificada, de maneira transparente e “*plug-and-play*”, facilitando com que novas aplicações possam ter acesso aos dados integrados, da mesma forma que também poderão ter seus dados integrados.

Esses requisitos foram definidos com base na Análise do Estado da Arte realizada no Capítulo 3 e, para atendê-los, foram definidas estratégias de Arquitetura de *Software*, que serão descritas na Subseção 4.2.

## 4.2 Arquitetura da Solução

O *Middleware* proposto neste trabalho dá apoio a integração entre diferentes sistemas e aplicações de saúde independente do tipo de dado gerenciado por cada uma delas. A Figura 5 ilustra o papel da solução proposta, onde diferentes soluções digitais voltadas para a área da saúde estão interligadas através de um componente de *software* que é responsável por realizar a integração entre os dados de saúde oriundos dessas soluções e disponibilizá-los para que outras aplicações clientes que façam uso dos dados, por sua vez integrados.

Percebe-se que as soluções representadas na Figura 5 são bem variadas, sendo sistemas que lidam com dados de pacientes, monitoramento de sinais vitais, gestão de exames, gestão de internações e leitos. Essas soluções são exemplos de sistemas de informação de saúde que são focados em resolver problemas específicos no contexto de saúde mas que, em um primeiro momento, não interoperam entre si e não há integração entre seus dados. Portanto, para possibilitar a integração transparente entre esses sistemas, para a solução proposta foi definida uma arquitetura baseada, principalmente, nos seguintes itens:

- O *middleware*, que é responsável por promover a integração dos dados de forma transparente, segura e de fácil implementação;
- E os clientes, que consistem nas aplicações que se comunicam com o componente *middleware* através de requisições *HTTP*, enviando dados para serem integrados ou recebendo dados já integrados de maneira estruturada.

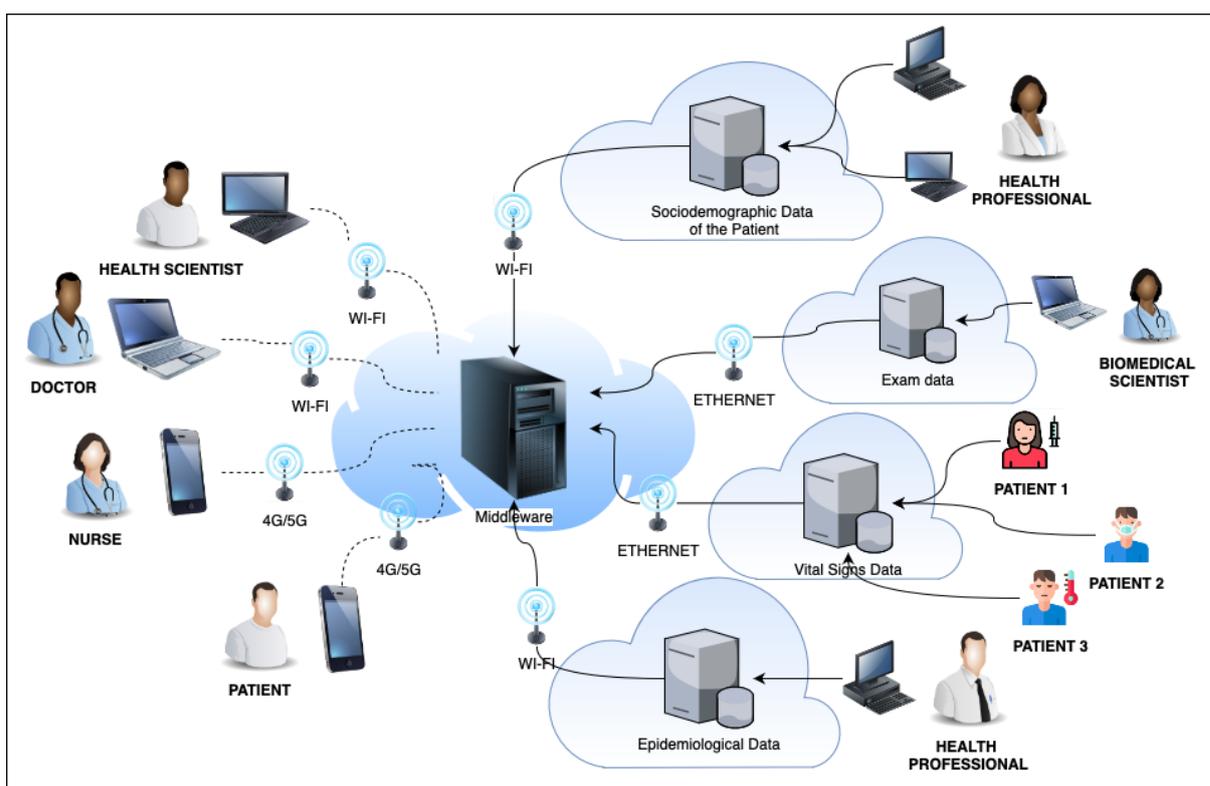


Figura 5 – Representação conceitual do *Middleware* Baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde.

A Figura 6 ilustra a visão de módulos do *Middleware*, descrevendo os módulos que compõem cada componente da *solução*, bem como o formato e o padrão (*HL7 FHIR*) que deverá ser obedecido no processo de integração e comunicação entre as aplicações de saúde. O componente *Middleware*, bem como os módulos que o compõem são detalhados na subseção 4.2.1. Em seguida, a subseção 4.2.2 descreve o que será necessário para que as aplicações clientes consigam se comunicar com o *Middleware*.

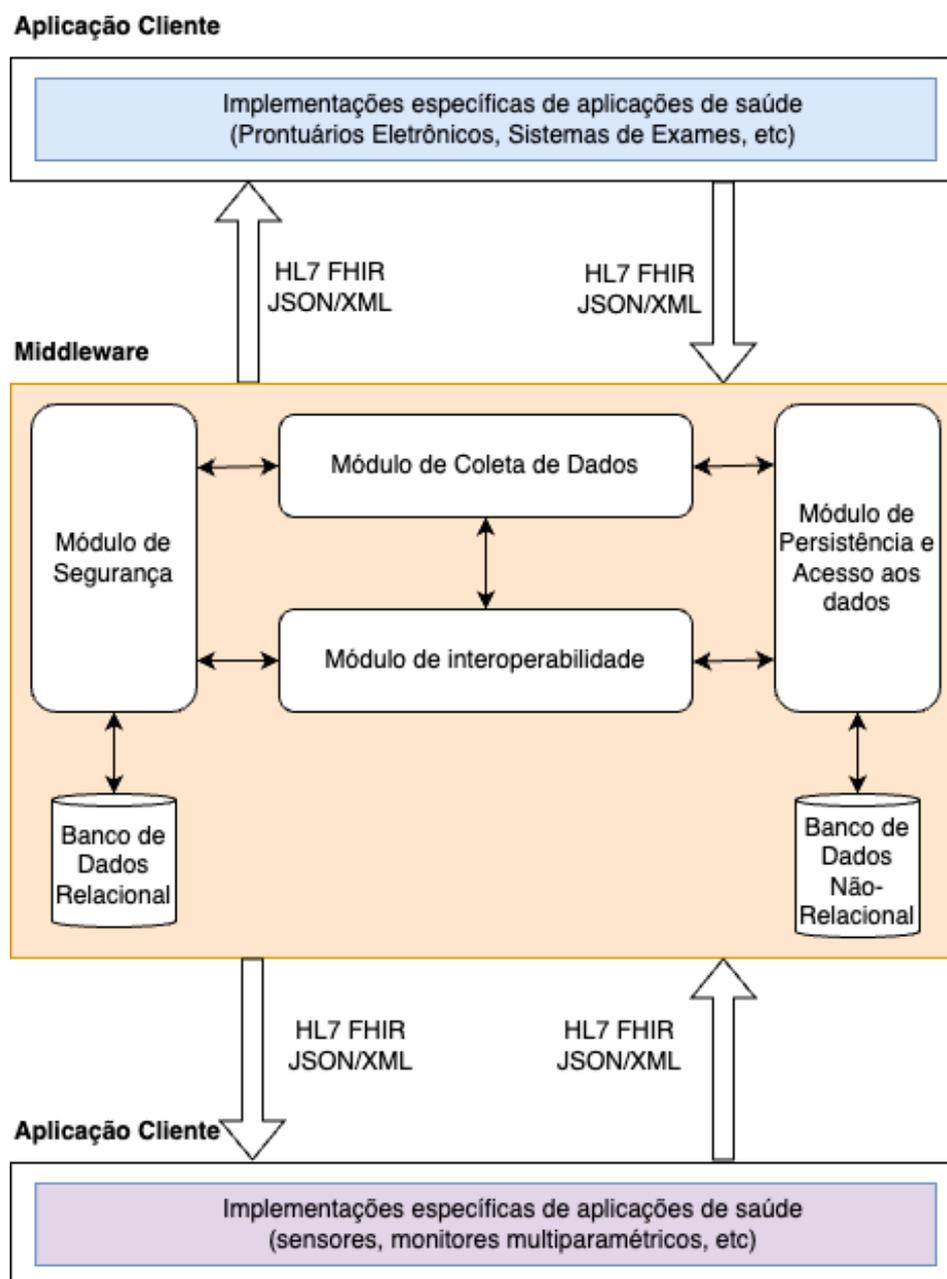


Figura 6 – Visão de módulos da solução e a maneira como eles se comunicam.

#### 4.2.1 Middleware

O *Middleware* é usado para receber, integrar, armazenar e disponibilizar os dados enviados pelas aplicações clientes, utilizando o padrão *Fast Healthcare Interoperability Resources - HL7 FHIR*. O padrão *HL7 FHIR* é um padrão de interoperabilidade para sistemas de saúde que tem como objetivo facilitar a troca de informações entre diferentes atores envolvidos nos cuidados com a saúde, tais como pacientes, profissionais de saúde, pesquisadores, dentre outros. *FHIR* possibilita a troca de informações facilitada através dos chamados Recursos *FHIR*, que podem ser disponibilizados em diferentes formatos, como *XML* e *JSON*, permitindo a criação de interfaces de comunicação entre sistemas

Web, como APIs RESTful. Sendo assim, o componente de *middleware* é responsável por garantir que os requisitos da solução sejam contemplados. Para isso, conta com 4 módulos principais, sendo eles:

- **Módulo de segurança:** O módulo de segurança é responsável por garantir que os dados sejam enviados e disponibilizados apenas para aplicações devidamente cadastradas, autenticadas e autorizadas. O cadastro das aplicações clientes deverá ser realizado através da interface *web* de gerenciamento do *Middleware*, por um usuário com permissões de administrador do sistema. A autenticação e o controle de acesso deverão ser realizadas utilizando o *OAuth2.0*, um *framework* que permite que um aplicativo de terceiros tenha acesso limitado a um serviço *HTTP* (HARDT et al., 2012). Além disso, deverão ser utilizadas técnicas de controle de acesso como o padrão *Role-Based Access Control* (RBAC) (FERRAILOLO; CUGINI; KUHN, 1995) e de criptografia, contemplando, assim, os requisitos de segurança, privacidade e disponibilização de dados anonimizados. Os dados relacionados à usuários, aplicações clientes e controle de acesso deverão ser armazenados em uma base de dados relacional, para garantir os requisitos de integridade relacional e referencial entre essas informações;
- **Módulo de coleta de dados:** O módulo de coleta de dados é responsável por receber e realizar a integração dos dados disponibilizados pelas aplicações clientes do *middleware*. A coleta é realizada através da definição de uma interface única para a recepção dos dados, que deverão obedecer a estrutura dos recursos *HL7 FHIR*, garantindo que sejam atendidos os requisitos de interoperabilidade através de uma estrutura de dados onde todas as aplicações integradas utilizando o *middleware* serão capazes de lidar utilizando os Recursos *FHIR*, que possuem clara definição e possibilitam a interpretação pelas diferentes aplicações que o utilizam. Portanto, para se comunicarem com o *middleware*, as aplicações deverão estar de posse de uma chave de acesso e obedecer o contrato das interfaces na API RESTful disponibilizada pelo *middleware* (baseado no *HL7 FHIR*) contemplando, assim, o requisito de promover um suporte “*plug-and-play*” para a disponibilização e coleta dos dados. A Figura 7 consiste em um fluxograma que descreve o processo de coleta, integração e armazenamento dos dados realizado neste módulo, realizado da seguinte maneira:
  1. Para cada dado recebido através da coleta de dados, será verificado se aquele dado está relacionado a algum paciente previamente cadastrado na plataforma;
  2. A verificação do paciente na plataforma é realizado através de uma busca pelas seguintes chaves de identificação, respectivamente: Cadastro de Pessoa Física (CPF), Número do Cadastro Nacional de Saúde (CNS) e uma chave composta pelo nome do paciente e pelo nome da sua mãe;

3. Caso o paciente seja encontrado na base de dados, os dados serão integrados à ele e armazenados na base de dados não relacional;
4. Caso o paciente não seja encontrado, os dados serão armazenados sendo de um novo paciente registrado na base de dados não relacional.

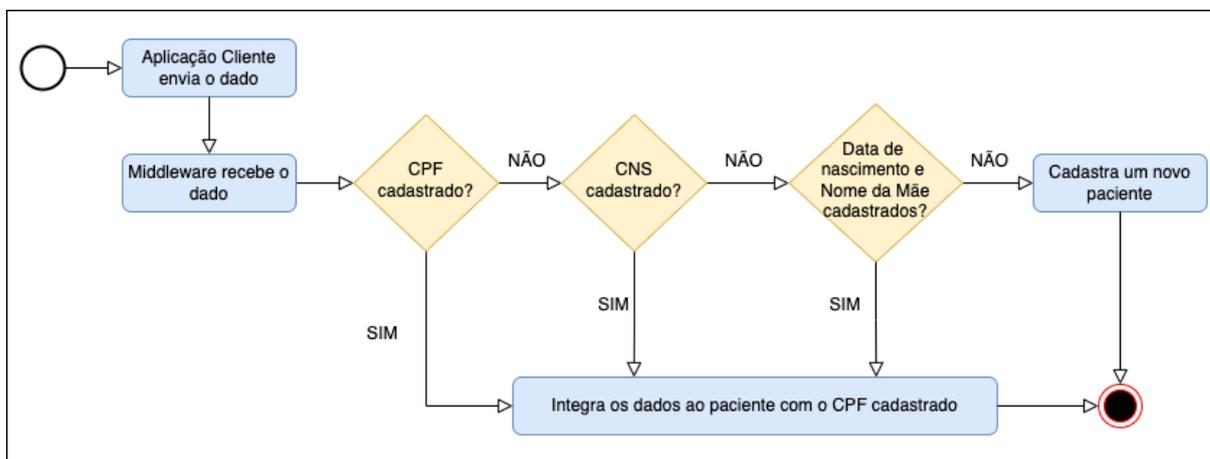


Figura 7 – Fluxo de integração dos dados de saúde

- **Módulo de interoperabilidade:** O módulo de interoperabilidade é responsável por disponibilizar os dados já integrados. A interface para disponibilização e recebimento dos dados será através de uma API RESTful (RICHARDSON; RUBY, 2008), que irá disponibilizar e receber dos clientes os dados de saúde utilizando o padrão HL7 FHIR, que contempla diferentes formatos (JSON e XML). A API RESTful do Middleware baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde disponibiliza operações para envio e recebimento dos seguintes Recursos FHIR: Patient, Observation e Encounter. Todo o processo de comunicação entre as aplicações clientes e o middleware deverá seguir as regras de segurança contempladas pelo Módulo de Segurança. Dessa forma, este módulo contempla o requisito da integração transparente de dados heterogêneos, possibilitando que diferentes aplicações possam interoperar entre si sem realizar modificações na estrutura interna em que seus dados são armazenados e gerenciados;
- **Módulo de persistência e acesso aos dados de saúde:** Este módulo é responsável pela persistência e consulta dos dados integrados de saúde em uma base de dados física. Considerando o fato de que os sistemas de saúde lidam com grandes quantidades de dados e que tendem a crescer de maneira horizontal, foi visando contemplar o requisito de escalabilidade que para este módulo do Middleware foi escolhida uma base de dados não relacional - uma classe de sistemas que gerenciam bancos de dados, mas que não usa relações (tabelas) como sua estrutura de armazenamento e sim um modelo de armazenamento otimizado para o tipo de dado armazenado, podendo ser escalado horizontalmente (JATANA et al., 2012).

Por fim, a Tabela 4 lista os módulos do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde apontando quais dos requisitos definidos na Seção 4.1 cada módulo contempla, com base nas responsabilidades e características discutidas na Seção 4.2.1.

Módulo	Requisito(s) contemplados
Módulo de coleta de dados	Promover integração transparente de dados heterogêneos
Módulo de interoperabilidade	Promover integração transparente de dados heterogêneos
Módulo de Segurança	Prover segurança e privacidade
Módulo de coleta de dados	Prover suporte para coleta de dados, “plug-and-play”
Módulo de persistência e acesso aos dados de saúde	Possibilitar escalabilidade

Tabela 4 – Relação entre os módulos do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Saúde e os requisitos que cada um deles contempla.

#### 4.2.2 Aplicações clientes

Para se comunicar com o *Middleware* cada aplicação cliente deverá estar autorizada e ter a capacidade de enviar ou receber dados no padrão *HL7 FHIR*. Ficando, dessa forma, responsável por todo o processo de conversão e desconversão dos dados integrados.

Por se tratar de uma solução baseada em sistemas *Web*, o Componente de *Middleware* será disponibilizado através de um servidor de aplicação. A Figura 8 ilustra o diagrama de implantação do *Middleware* Baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde 8 e, seguindo essa estrutura, foram realizadas duas provas de conceito do *Middleware*. O estado atual da solução, bem como sua implementação e os resultados obtidos com as provas de conceitos realizadas, são discutidos na subseção 4.3.

### 4.3 Estado Atual da Solução

O *Middleware* Baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde foi desenvolvido utilizando a Plataforma Java *Enterprise Edition* (Java EE), juntamente com as ferramentas do *Spring Framework* (JOHNSON et al., 2020) para o desenvolvimento de soluções baseadas na *Web*. Os dados das aplicações clientes que são integrados através do *Middleware* são armazenados em um banco de dados *MongoDB*, uma base de dados não relacional e de código aberto (POLLACK et al., 2011). A conversão e interpretação dos dados para *HL7 FHIR* é realizada utilizando a biblioteca de código aberto *HAPI FHIR* e os dados são disponibilizados através de serviços de uma API RESTful, nos formatos *JSON* e *XML*.

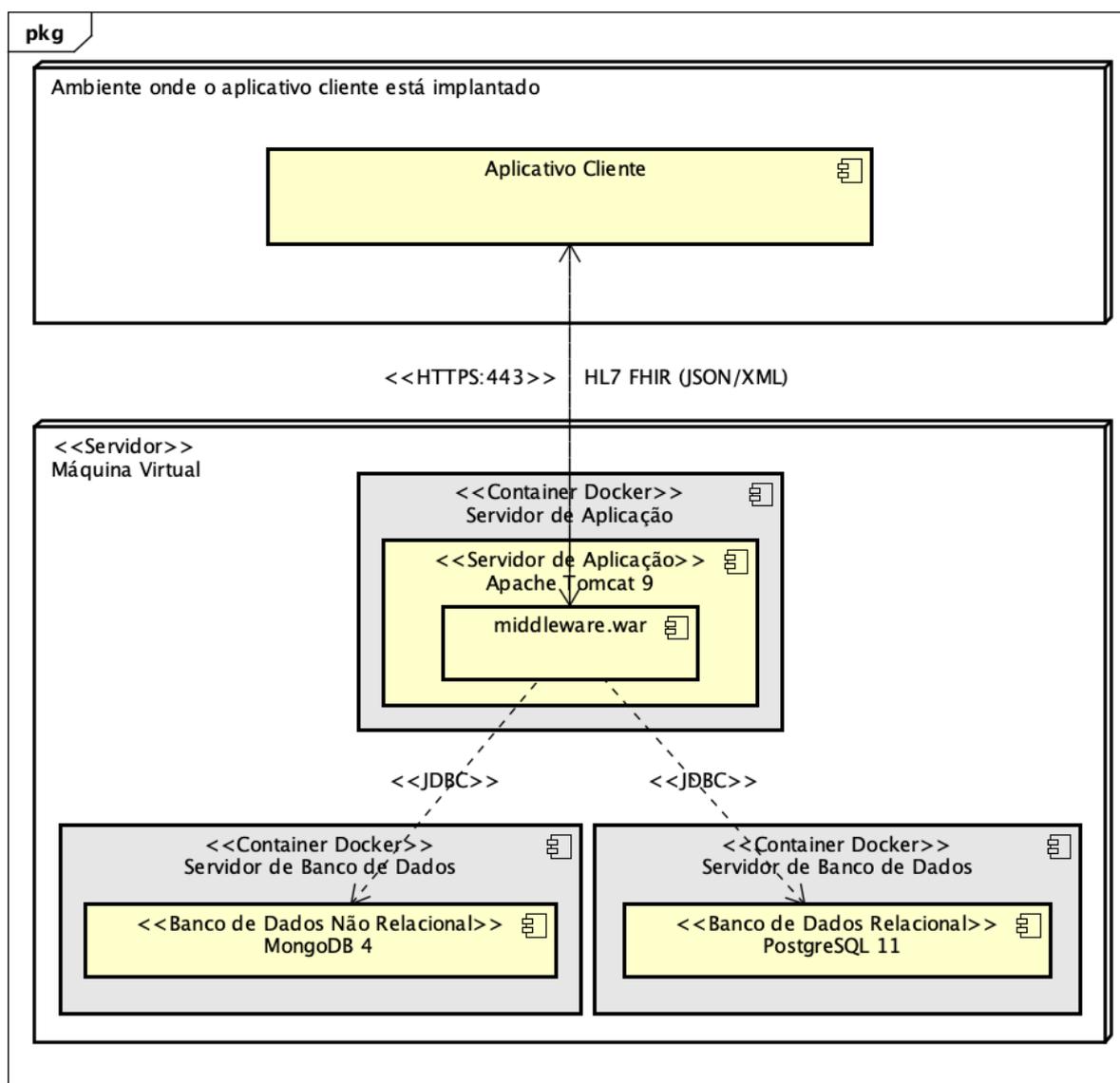


Figura 8 – Diagrama de Implantação do *Middleware* baseado no padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde.

Para a realização das Provas de Conceito e dos testes de desempenho foram integrados dados de 5 Sistemas de Informação de Saúde consolidados, mas diferentes e que são usados diariamente por profissionais da área de saúde, sendo eles: a Plataforma de Dados Clínicos - SigSaúde; a Plataforma de Assistência Remota - PAR; o Leitos - Sistema de informação baseado na *web* para o gerenciamento de leitos de UTI; o Sistema SUVEPI; e o Sistema de Exames COVID-19. As bases de dados desses sistemas compreendem diferentes tipos de dados e tais sistemas serão melhor descritos a seguir.

### 4.3.1 Plataforma de Dados Clínicos - SigSaúde

A Plataforma SigSaúde é um sistema para o gerenciamento de dados de saúde, através de um prontuário eletrônico em ambientes de Clínica-Escola (FILHO et al., 2019). Atualmente a plataforma está sendo utilizada pelas clínicas-escolas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e possui dados pessoais e sociodemográficos de mais de 45 mil pacientes. A plataforma pode ser acessada através do endereço <https://sigsaude.imd.ufrn.br> e a Figura 9 mostra a página inicial do sistema.

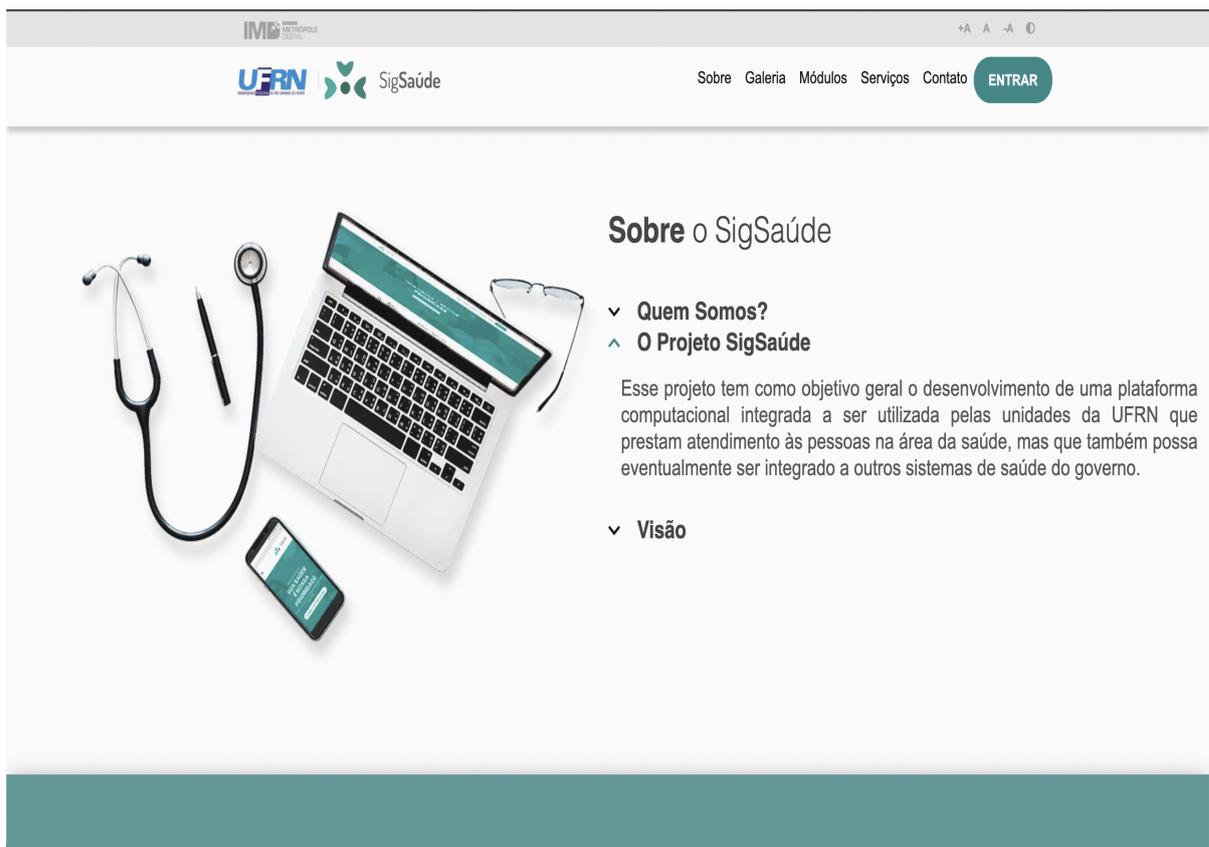


Figura 9 – Página inicial da Plataforma SigSaúde.

### 4.3.2 Plataforma de Assistência Remota - PAR

A Plataforma de Assistência Remota consiste em uma solução que provê monitoramento remoto para pacientes internados em enfermarias, Unidades de Tratamento Intensivo (UTIs) ou até mesmo *homecare*. Atualmente o sistema está sendo utilizado em uma UTI de um hospital situado na cidade de Natal/RN e possui mais de 1 milhão de registros de dados de sinais vitais de pacientes (FILHO et al., 2021). A Figura 10 mostra a página de *login* da Plataforma.

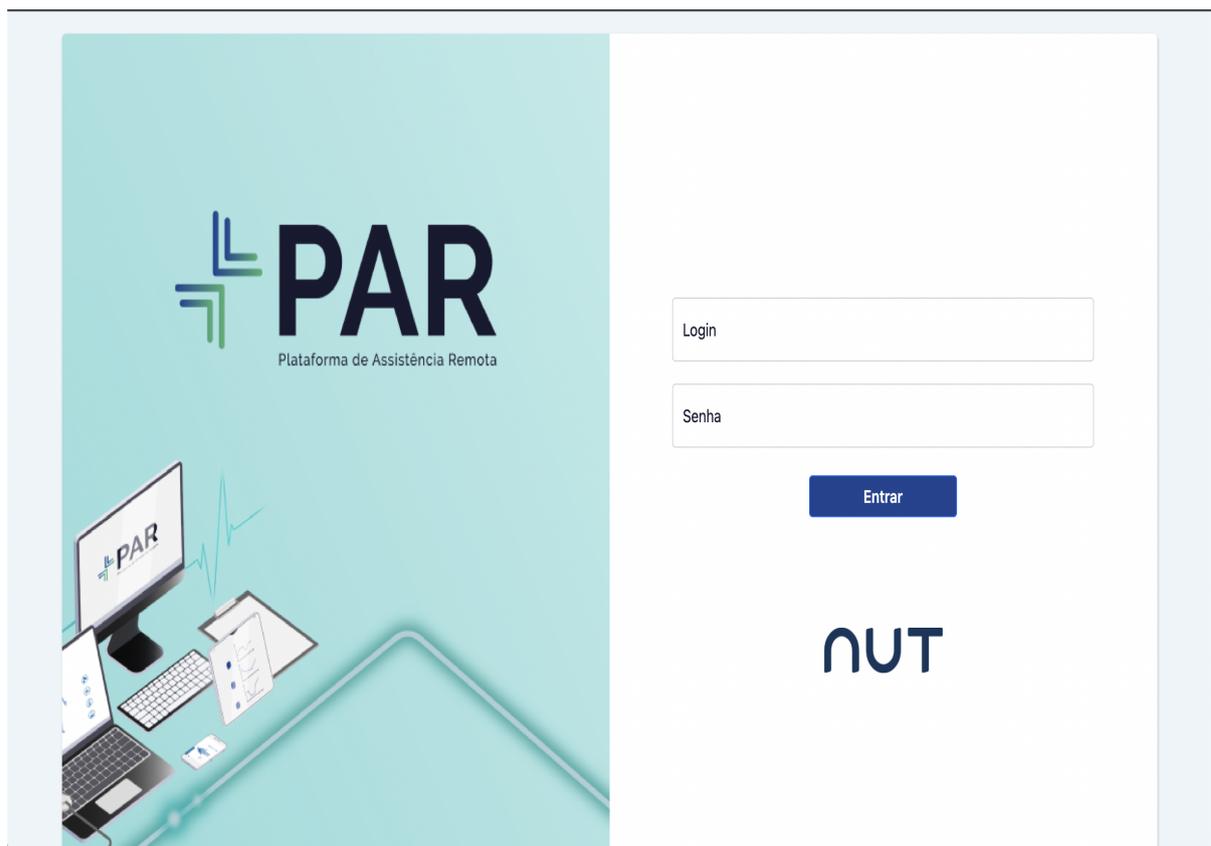


Figura 10 – Página inicial da Plataforma de Assistência Remota - PAR.

### 4.3.3 Leitos - Sistema de informação baseado na *web* para o gerenciamento de leitos de UTI

O Leitos é uma solução baseada na *web* para o gerenciamento de leitos de UTI e semi-UTI utilizados por pacientes suspeitos ou já infectados pela COVID-19 (FILHO et al., 2020). A base de dados utilizada no contexto das Provas de Conceitos possui dados de internação, alta e óbitos de mais de 36 mil pacientes. A Figura 11 mostra a página inicial do sistema, que pode ser acessada através do link <https://leitoscovidrn.saude.rn.gov.br/leitos/>.

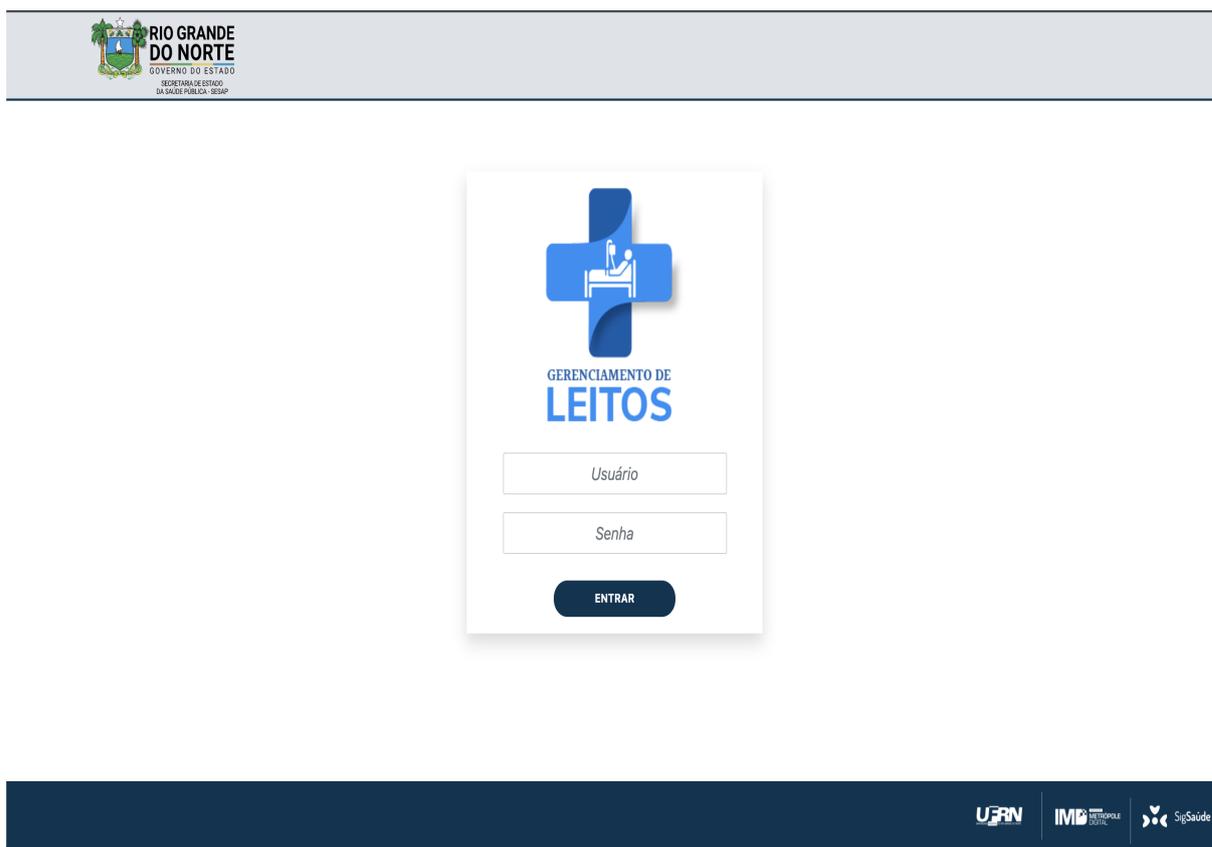


Figura 11 – Página inicial do Sistema de Leitos.

#### 4.3.4 Sistema SUVEPI

O SUVEPI é um sistema utilizado para o gerenciamento das notificações dos casos de COVID-19 no Estado do Rio Grande do Norte e a base de dados utilizada para as Provas de Conceito deste trabalho possui dados de mais de 377 mil pacientes. A Figura 12 mostra a página inicial do sistema, que pode ser acessada através do link <https://suvige.imd.ufrn.br>.

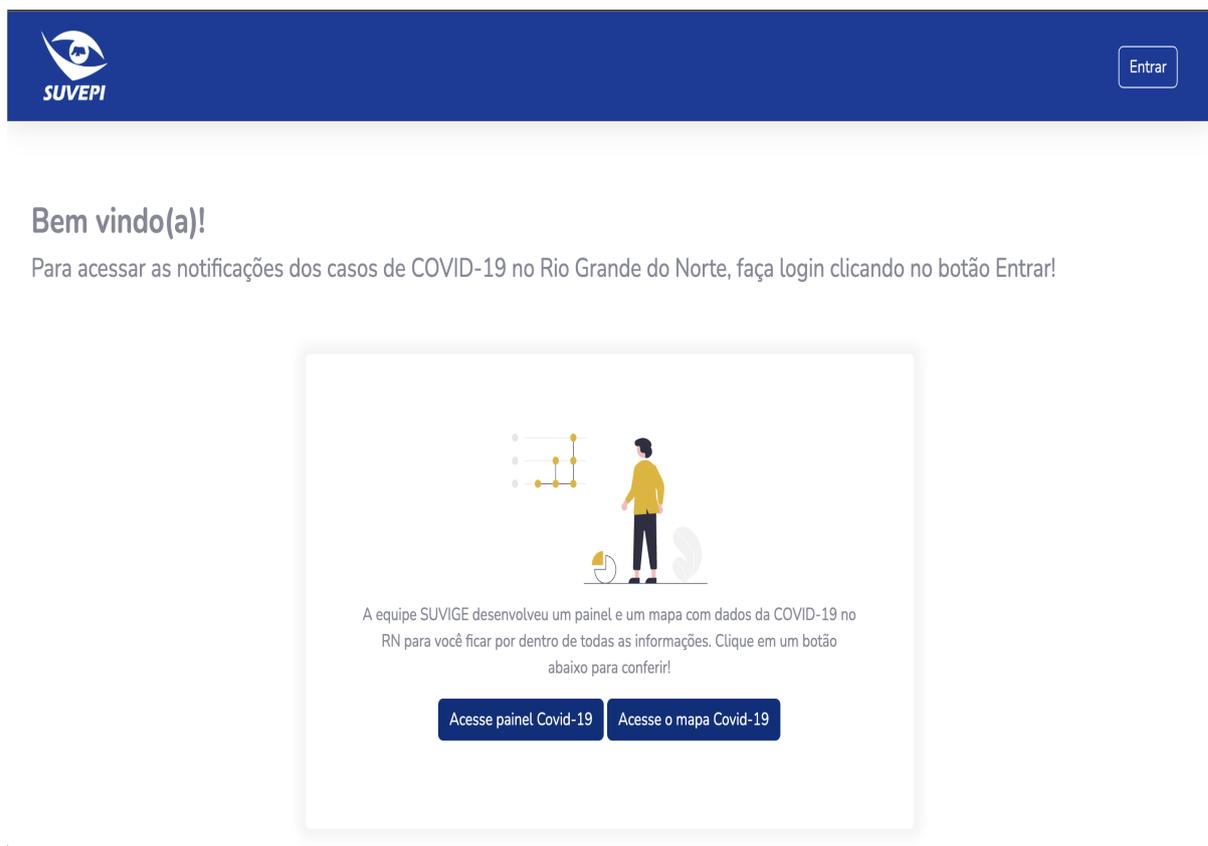


Figura 12 – Página inicial do Sistema SUVIGE

### 4.3.5 Sistema de Exames

O sistema de exames é um sistema para o gerenciamento da testagem de pacientes suspeitos de COVID-19 em algumas cidades do Rio Grande do Norte e sua base possui mais de 70 mil exames. A Figura 13 mostra a página inicial do sistema, que pode ser acessada através do link <https://covid19imt.imd.ufrn.br/>.



Figura 13 – Página inicial do Sistema de Gerenciamento de Exames

Para que os dados desses sistemas pudessem ser integrados através do *Middleware* foram implementadas, em cada um deles, estratégias de conversão dos dados para o formato *HL7 FHIR*, bem como o envio dos dados para a API Restful disponibilizada pelo *Middleware*, executando o processo de integração dos dados utilizando o *Middleware* Baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde.

## 4.4 Provas de Conceito

Após a implementação do *middleware* e a realização da integração dos dados dos 5 sistemas de saúde, foram realizadas duas Provas de Conceito, do inglês *Proof Of Concept* (POC), com objetivo de validar a solução proposta a partir da criação de duas novas aplicações, uma de *eHealth* e outra de *mHealth*, que consomem os dados de saúde integrados a partir do *Middleware*. Para isso foram realizadas ações de desenvolvimento, sendo elas:

- (i) a implementação do módulo *Web* para gerenciamento do *Middleware*, com funcionalidades para cadastro de usuários e sistemas clientes que enviam e consomem os dados integrados, tendo sua camada de visualização implementada utilizando o *Thymeleaf*, um *template engine* para projetos Java que facilita a criação de páginas HTML (TEAM, 2022);
- (ii) o desenvolvimento da *Integrated Health Application* (IHA), uma aplicação de *eHealth*, baseada na *Web*, e que tem como objetivo apresentar dados integrados de saúde (como dados sociodemográficos, dados de exames, internações e sinais vitais) através de uma interface unificada para o usuário e que, para isso, consulta os dados integrados ao *Middleware* Baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde;
- (iii) o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis, denominada “Meu Prontuário”, que consiste em um aplicativo que tem como objetivo facilitar o acesso ao histórico de saúde de um paciente, realizando a busca do histórico de dados de saúde a partir identificadores como o Cadastro de Pessoa Física (CPF) e Cadastro Nacional de Saúde (CNS).

Neste sentido, A Figura 14 representa o Diagrama de Implantação das soluções utilizadas nas POCs, bem como a maneira como elas se comunicam com o *Middleware* desenvolvido e cada uma das ações de desenvolvimento são detalhadas nas subseções a seguir.

### 4.4.1 Módulo *Web* do *Middleware* baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde

Através da interface de gerenciamento do *Middleware* é possível realizar operações importantes para o funcionamento da solução, como o cadastro de usuários, aplicações e chaves de acesso para o envio e recebimento de dados de saúde integrados. A Figura 15 apresenta o *Dashboard* da aplicação, que contém informações sobre a quantidade de chaves de acesso de aplicações clientes cadastradas e ativas no *middleware*; a quantidade de dados que já foram enviados pelas aplicações clientes, integradas e cadastradas na base

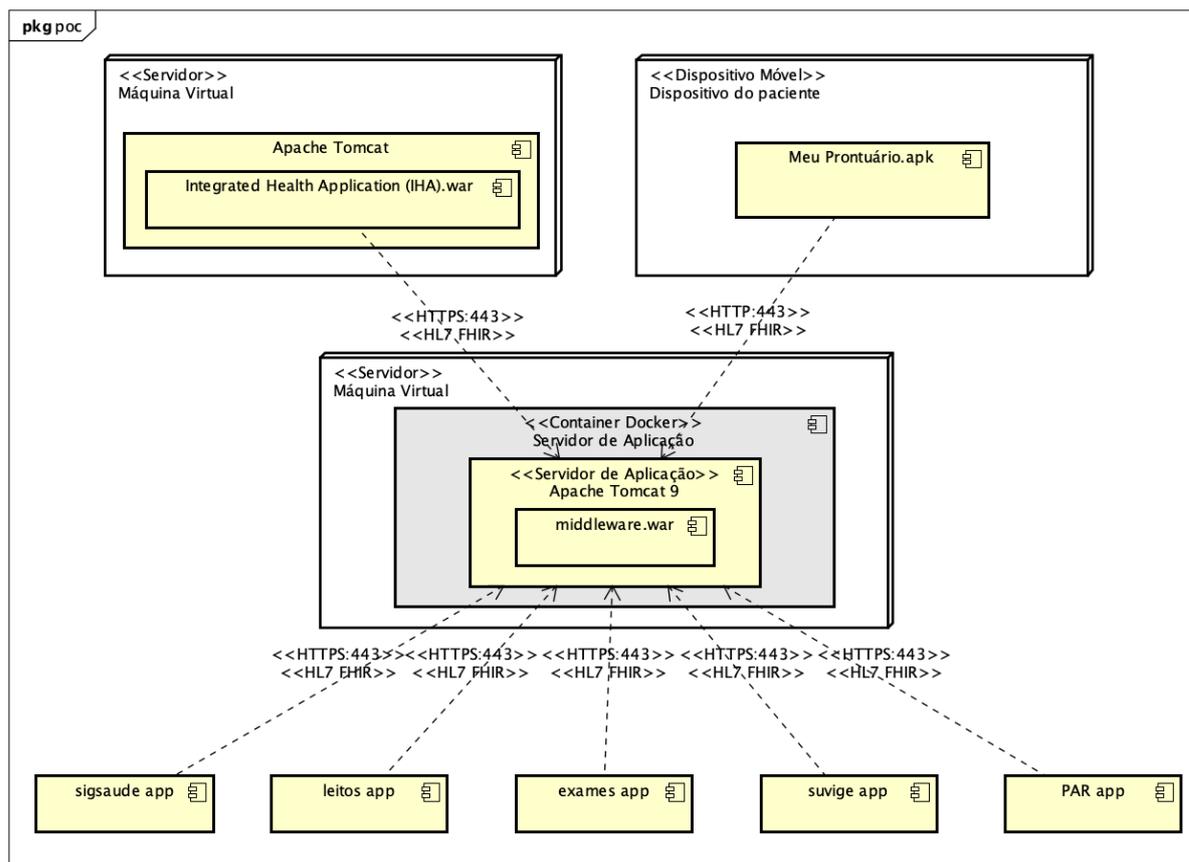


Figura 14 – Diagrama de Implantação das Soluções envolvidas nas Provas de Conceito

de dados; a data da última sincronização de dados realizada; e a quantidade de tipos de dados de saúde que estão sendo integrados no *middleware* até aquele momento.

O formulário de cadastro de chaves de acesso para aplicações clientes é apresentado na Figura 16, neste formulário serão informados o nome do sistema cliente que terá acesso e a URL ou endereço de acesso ao sistema (quando este caso for aplicável). Ao término do cadastro, o sistema irá gerar uma chave de identificação única para cada sistema, que terá validade de um ano. Essa chave deverá ser enviada, obrigatoriamente, a cada requisição que a aplicação cliente realizar para o componente de *middleware*, seja para envio ou recebimento de dados. É a partir dessa chave que o *middleware* irá identificar a origem dos dados e se a aplicação que está enviando está devidamente autorizada. A Figura 17 apresenta a listagem das chaves cadastradas no *middleware*, com informações sobre a data de validade de cada chave, o nome e endereço de acesso ao sistema de origem.

O Apêndice A apresenta a documentação da interface de comunicação das aplicações clientes com o *middleware*. Essa comunicação acontece através de requisições *HTTP* a uma API RESTful disponível. Atualmente, o *middleware* está preparado para lidar com os seguintes Recursos (*Resources*) do *HL7 FHIR*:

- Encontro (*Encounter*), que representa uma interação entre um paciente e profissionais

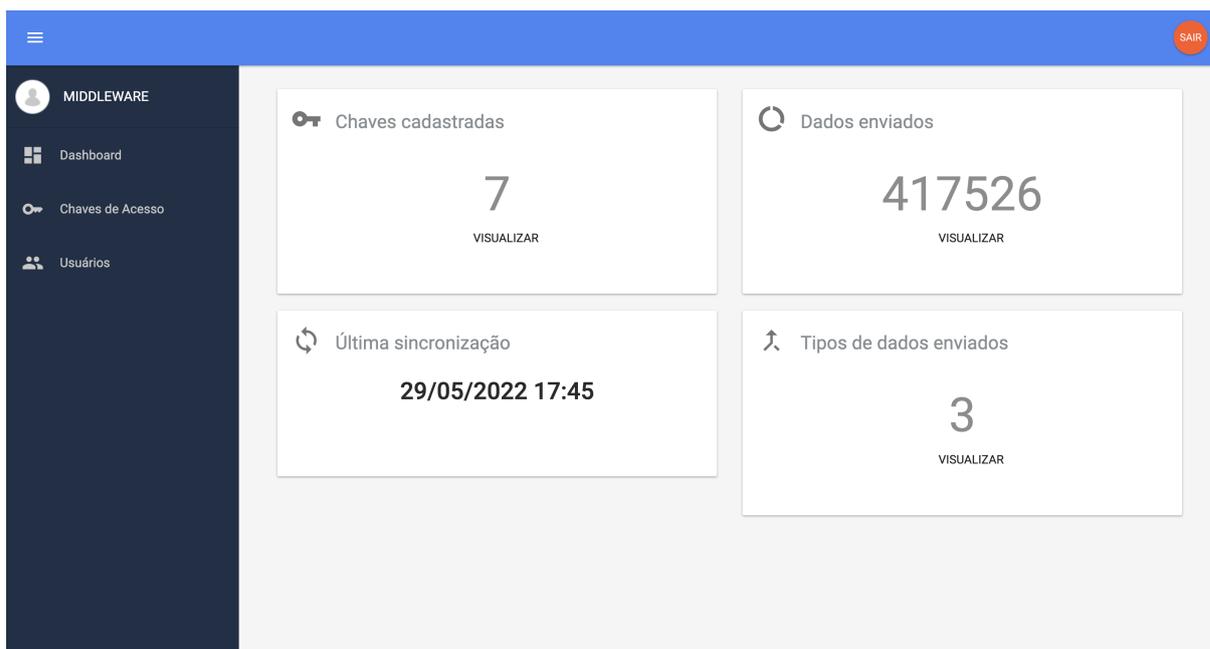


Figura 15 – *Dashboard* da interface *Web* de gerenciamento do *Middleware*

Figura 16 – Formulário de cadastro de chave de acesso

de saúde, com o objetivo de fornecer serviços de saúde ou avaliar o estado de saúde de um paciente (INTERNATIONAL, 2019a);

- Observação (*Observation*), que representa o conjunto de medições e afirmações simples feitas sobre um paciente, dispositivo ou outro assunto (INTERNATIONAL, 2019b);
- Paciente (*Patient*), que representa as informações demográficas e outras informações administrativas sobre um indivíduo ou animal recebendo cuidados ou outros serviços

Chave	Data de validade	Sistema	URL do Sistema	Opções
9Azf2Sh10	21/01/2023	SIGSAUDE	https://sigsaude.imd.ufrn.br	[Edit] [Delete]
AhVBzHy8uj	22/01/2023	LEITOS	https://leitoscovidrn.saude.rn.gov.br/leitos/	[Edit] [Delete]
oPYlor3CVf	23/01/2023	EXAMES COVID-19	https://covid19imt.imd.ufrn.br/atendimento/login	[Edit] [Delete]
AXRFwTX1hd	24/01/2023	SISTEMA SUVEPI	https://suvige.imd.ufrn.br/	[Edit] [Delete]
H0s2Fb3P9o	24/01/2023	PAR - Plataforma de Assistência Remota	https://par.nutit.com.br/	[Edit] [Delete]
vj0dkDUi6l	24/01/2023	Integrated Health Application - IHA	http://192.168.0.2:8080	[Edit] [Delete]

Figura 17 – Listagem de chaves de acesso cadastradas

relacionados à saúde (INTERNATIONAL, 2019c).

A Figura 18 ilustra um exemplo de disponibilização de dados de um recurso Paciente em formato *JSON*, utilizando o padrão *HL7 FHIR*, já integrado através do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde. É a partir desse formato que as aplicações desenvolvidas como Provas de Conceito consomem os dados integrados e disponibilizados pelo *Middleware*.

#### 4.4.2 Integrated Health Application - IHA

A *Integrated Health Application* (IHA) é uma aplicação de *eHealth* que possui uma única interface para disponibilizar acesso a diferentes tipos de dados de saúde de um paciente, sendo possível, através dela, visualizar dados sociodemográficos (que podem ser oriundos do SigSaúde ou do Sistema Suvige), dados de exames (que podem ser integrados a partir do Sistema Suvige ou pelo Sistema de Exames COVID), dados de internações (originados pelo Sistema de Leitos) e dados de sinais vitais (coletados pela Plataforma PAR).

A Figura 19 representa a tela de dados integrados de um paciente na IHA, mais especificamente a aba de “Dados do Paciente”, que apresenta dados como nome completo, Cadastro de Pessoa Física (CPF), RG, cadastro nacional de saúde (CNS), nomes das filiações do paciente, endereço completo e dados para contato com o paciente. É importante salientar que os dados apresentados na Figura 19 são reais, oriundos dos Sistemas SigSaúde e Gerenciamento de Exames COVID-19 e, por isso, quaisquer dados que possibilitem a identificação dos pacientes foram omitidos.



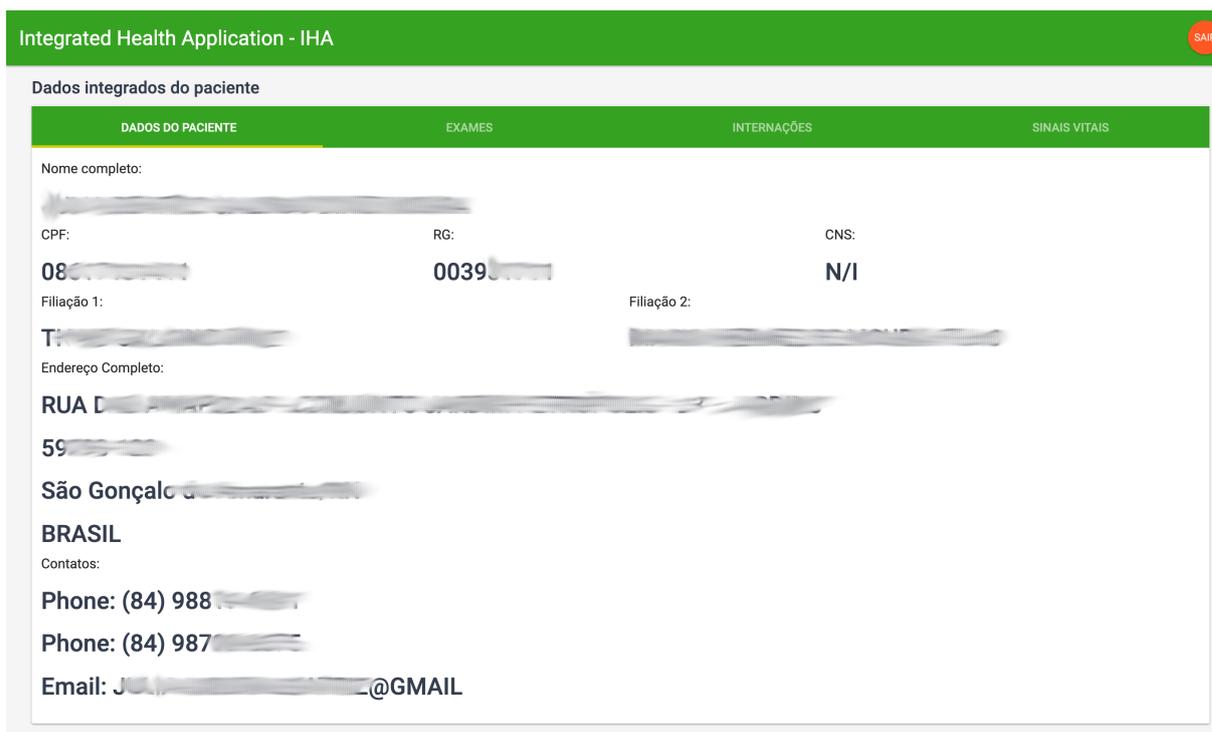


Figura 19 – Página com dados integrados de saúde integrados de um paciente (aba dados do Paciente)

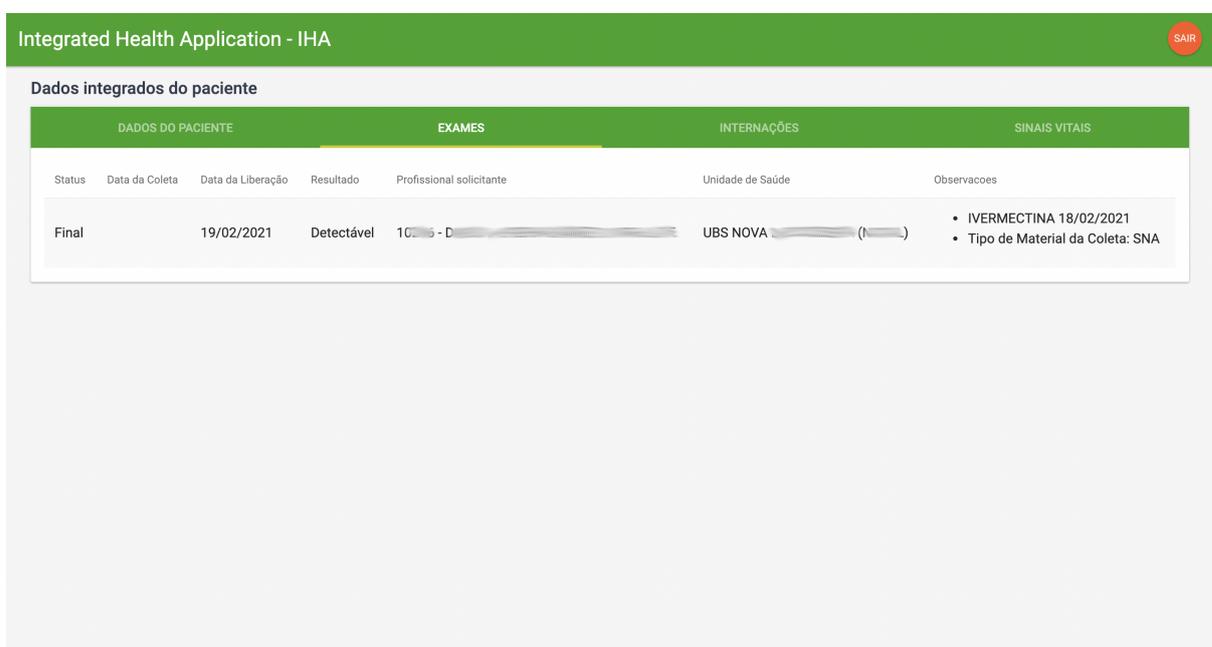


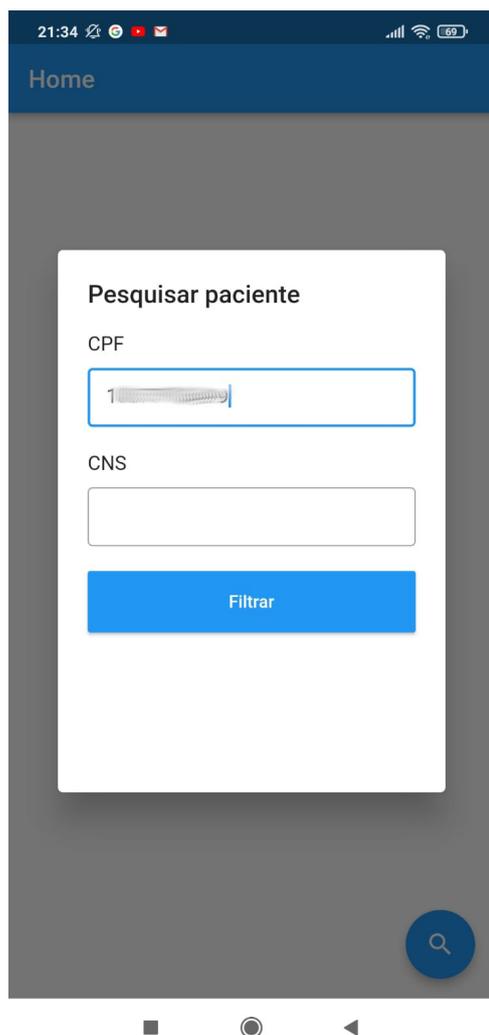
Figura 20 – Página com dados integrados de saúde integrados de um paciente (aba Exames do Paciente)

#### 4.4.3 Meu Prontuário App

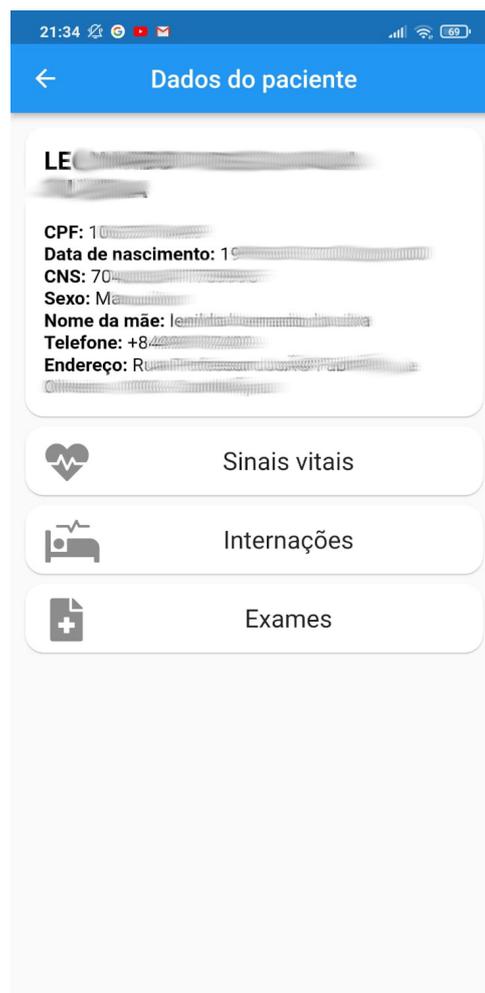
O Aplicativo “Meu Prontuário” é uma solução de *mHealth* desenvolvida com a linguagem de programação Flutter e tem como objetivo possibilitar o acesso ao histórico de dados de saúde de um paciente de maneira simplificada e, para isso, realiza buscas

no *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde a partir de identificadores como Cadastro de Pessoa Física (CPF) e Cadastro Nacional de Saúde (CNS).

A Figura 21a mostra a tela de pesquisa de dados de um paciente. Nela é possível informar dados de CPF ou CNS do paciente para que sejam buscados os dados integrados de saúde, podendo ser dados pessoais, de exames ou de internações que o paciente tenha sido submetido.



(a) Tela de Pesquisa de dados de um Paciente

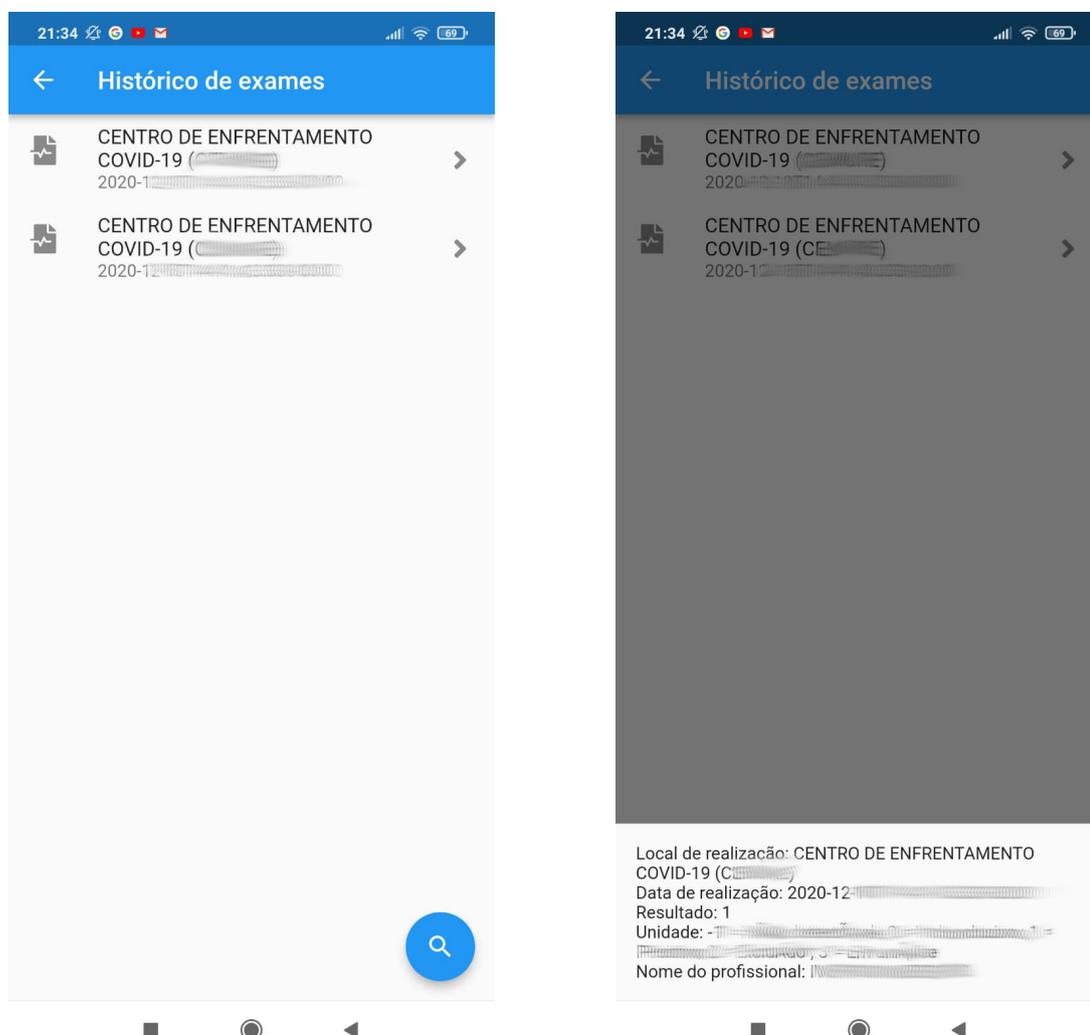


(b) Tela de dados de um Paciente

A partir da pesquisa, caso o paciente seja identificado na base de dados do *middleware* é possível verificar os dados pessoais dele, sendo eles: Nome completo, CPF, data de nascimento, CNS, sexo, nome da mãe, telefone e endereço. A Figura 21b ilustra a tela de dados do paciente, que além de mostrar os dados do paciente, possibilita o acesso ao histórico de exames, internações e coleta de sinais vitais caso tenham sido identificados na base de dados.

A Figura 22a lista o histórico de Exames que o paciente realizou e que estão na

base de dados do *middleware*. No exemplo apresentado, são apresentados dados de Exames para a COVID-19 oriundos do Sistema de Gerenciamento de Exames. Ao clicar em um dos itens da lista é possível visualizar os detalhes do Exame (Figura 22b, com dados como local e data de realização do exame, resultado e profissional de saúde solicitante).



(a) Tela de histórico de exames de um Paciente (b) Tela de detalhes de um exame de um Paciente

Por fim, a tela de histórico de internações de um paciente é apresentada na Figura 23, nela são apresentados os registros de internações em que o paciente em questão foi submetido, constando informações como hospital onde foi realizada a internação, data de entrada e data de saída para os casos onde o paciente não está mais internado.

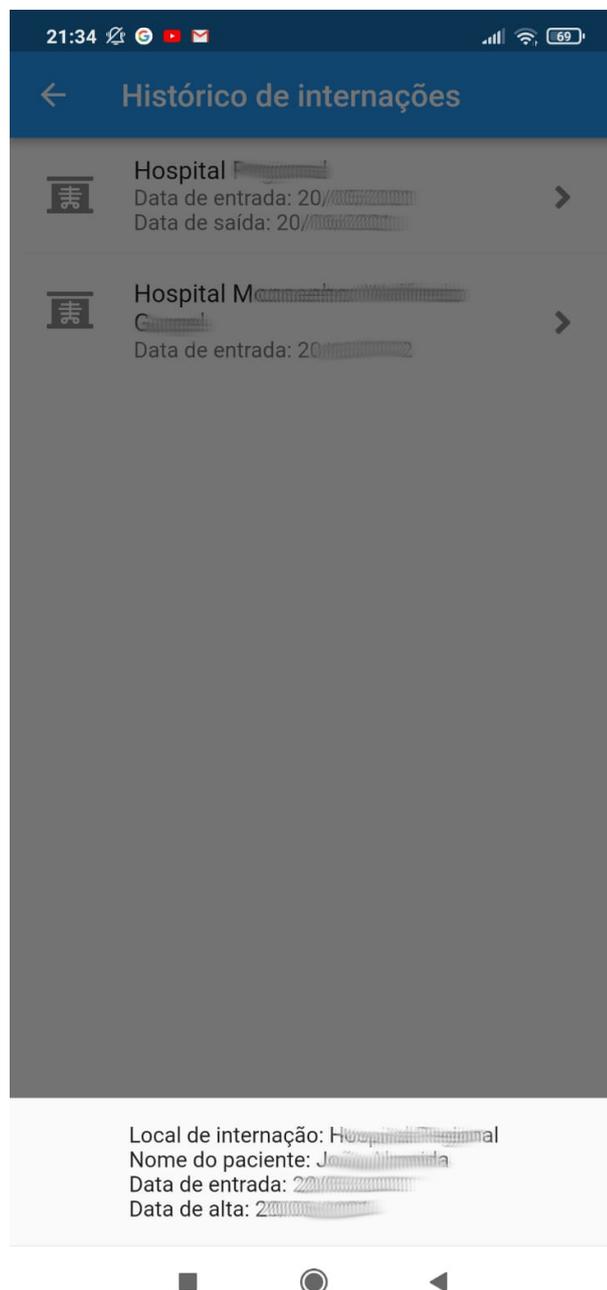


Figura 23 – Tela de histórico de internações de um Paciente

## 5 Estudos sobre a utilização e avaliação do *Middleware*

De acordo com a revisão do estado da arte realizada no Capítulo 3 deste trabalho, as Plataformas de *Middleware* para sistemas de saúde são avaliadas, principalmente, do ponto de vista de performance, desempenho, confiabilidade e custos diretos e indiretos. O *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* descrito neste trabalho foi avaliado de duas maneiras, sendo elas:

- Através da realização de duas provas de conceito, que consistiram no desenvolvimento de duas novas aplicações que consomem os dados integrados e tiveram como objetivo avaliar características de custos de implementação de novas soluções com os dados disponibilizados a partir do *middleware*;
- A partir da execução de testes de estresse utilizando o Apache JMeter, uma solução projetada para medir o desempenho de soluções a partir da execução de comportamentos funcionais em escala e possibilitou a coleta de dados relacionados ao desempenho e confiabilidade do *middleware*.

Dessa forma, o detalhamento dessas avaliações, bem como a metodologia utilizada e os resultados obtidos são discutidos nas Seções a seguir.

### 5.1 Análise das Provas de Conceito

No contexto deste trabalho foram desenvolvidas duas novas aplicações de *eHealth* e *mHealth*, sendo elas: A *Integrated Health Application* (IHA) e o aplicativo “Meu Prontuário”, respectivamente. A partir do desenvolvimento dessas aplicações foi possível analisar se o *middleware* desenvolvido contempla os requisitos de promover integração transparente de dados heterogêneos; prover segurança e privacidade; e prover suporte para coleta de dados “*plug-and-play*”.

#### 5.1.1 Metodologia

Inicialmente foi desenvolvida a aplicação IHA, uma aplicação de *eHealth* baseada na *web* que tem como objetivo apresentar dados de saúde de um paciente em uma interface unificada e para isso realiza consultas na API RESTful do *Middleware* aqui proposto. Essa aplicação foi desenvolvida por um único desenvolvedor, utilizando a Plataforma Java EE combinada com as soluções do *Spring Framework*. Na experiência de desenvolvimento

da aplicação foi constatado o ganho de produtividade que se teve ao consultar os dados já integrados, uma vez que nessa aplicação são mostrados 4 tipos de dados de saúde diferentes (dados pessoais, dados de internações, dados de exames e dados de sinais vitais) que foram coletados por sistemas completamente independentes e que, se não estivessem conectadas ao *middleware*, a única maneira de obter seus dados seria apenas se cada uma delas tivesse interfaces de comunicação disponíveis, demandando um maior esforço e custos para o desenvolvimento.

Em um segundo momento foi desenvolvido o Aplicativo “Meu Prontuário”, uma aplicação de *mHealth* que tem como objetivo facilitar o acesso aos dados históricos de saúde de um paciente com base em identificadores únicos como o CPF e o CNS. Esse aplicativo foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Flutter por uma equipe de 3 desenvolvedores. Para realizar a avaliação da experiência que os desenvolvedores tiveram no processo de desenvolvimento de uma nova aplicação de saúde utilizando os dados integrados a partir do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde foi disponibilizado um questionário *online*, construído na Plataforma *Google Forms*, podendo ser acessado através do seguinte endereço: <https://forms.gle/rF2BPjUdzynLqXXa6>. O questionário foi composto pelas seguintes perguntas:

- **Como você avalia seu grau de senioridade em programação?**

Essa pergunta foi do tipo múltipla escolha e teve como objetivo identificar o grau de experiência em programação de cada desenvolvedor com base em três opções: Júnior, Pleno e Sênior;

- **Quantas horas de trabalho você gastou efetivamente no desenvolvimento do aplicativo?**

Essa pergunta teve como objetivo identificar a quantidade de horas total gastas no desenvolvimento do aplicativo;

- **Como você dividiria a quantidade de horas destinadas a resolver problemas técnicos (pesquisas sobre a tecnologia) e a quantidade destinada para trabalhar nas atividades de integração efetivamente?**

Nessa pergunta o objetivo foi entender a quantidade de horas que cada desenvolvedor precisou para trabalhar nas atividades de integração e consumo de dados do *middleware*, efetivamente;

- **Você acredita que a utilização do formato *JSON* para a troca de dados influenciou no processo de desenvolvimento? Como?**

O objetivo dessa pergunta é investigar se a utilização de um padrão já disseminado para troca de informações entre sistemas *web* influenciou no processo de desenvolvimento;

- **Como você avalia, apontando pontos positivos e negativos, a experiência na utilização do *Middleware* no desenvolvimento de uma aplicação que envolve integração entre sistemas de saúde?**

O objetivo dessa pergunta é identificar pontos positivos e negativos da experiência de programação consumindo dados do *middleware* a partir do ponto de vista dos desenvolvedores.

### 5.1.2 Resultados Obtidos

Ao término do desenvolvimento do aplicativo, o questionário foi disponibilizado para que os integrantes da equipe que trabalharam no desenvolvimento do aplicativo móvel “Meu Prontuário” pudessem respondê-lo. É importante destacar que o questionário não foi respondido pelo desenvolvedor que trabalhou na implementação da aplicação “IHA”, uma vez que ele foi o autor deste trabalho e desenvolvedor do *middleware*. O Apêndice B mostra as respostas de cada um dos desenvolvedores ao questionário, que também são relatadas e discutidas a seguir:

- **Como você avalia seu grau de senioridade em programação?**

Ao responderem esta pergunta, os três desenvolvedores se classificaram como “Desenvolvedor Júnior”, apontando o baixo nível de experiência deles e indicando a necessidade de um maior tempo necessário para a implementação do aplicativo;

- **Quantas horas de trabalho você gastou efetivamente no desenvolvimento do aplicativo?**

A Tabela 5 mostra que cada um dos três desenvolvedores relatou ter gasto 10, 7 e 6 horas, respectivamente, totalizando 23 horas para o desenvolvimento do aplicativo;

Desenvolvedor	Horas de trabalho
A	10
B	7
C	6
Total	23

Tabela 5 – Quantidade de horas trabalhadas por cada desenvolvedor no desenvolvimento do Aplicativo “Meu Prontuário”.

- **Como você dividiria a quantidade de horas destinadas a resolver problemas técnicos (pesquisas sobre a tecnologia) e a quantidade destinada para trabalhar nas atividades de integração efetivamente?**

A Tabela 6 expõe como cada desenvolvedor dividiu suas horas de trabalho de acordo com a necessidade da demanda. Percebe-se que cada um deles afirmou ter gasto

apenas 3 horas de trabalho em atividades de integração e as demais horas pesquisando dúvidas técnicas mais relacionadas à linguagem de programação Flutter, apontando que as dificuldades encontradas pelo fato de terem pouca experiência em programação foram o fator que mais dificultou o processo de desenvolvimento se comparado às dificuldades do processo de integração de dados de saúde, visto que foram gastas menos horas trabalhando nesse processo;

Desenvolvedor	Horas pesquisando dúvidas de Flutter	Horas trabalhando na integração
A	7	3
B	4	3
C	3	3
Total	14	9

Tabela 6 – Quantidade de horas trabalhadas por cada desenvolvedor em questões específicas da Linguagem de Programação Flutter e na integração

- **Você acredita que a utilização do formato *JSON* para a troca de dados influenciou no processo de desenvolvimento? Como?**

De forma unânime, todos os desenvolvedores confirmaram que a utilização do formato *JSON* influenciou de maneira positiva no processo de desenvolvimento, relatando facilidades como disponibilidade de exemplos de recursos *FHIR online* no formato *JSON* e também experiências anteriores de integrações utilizando este formato;

- **Como você avalia, apontando pontos positivos e negativos, a experiência na utilização do *Middleware* no desenvolvimento de uma aplicação que envolve integração entre sistemas de saúde?**

Como pontos positivos, os desenvolvedores relataram a facilidade de usar dados de diferentes bases, mas já integrados a partir do *middleware* utilizando padrões já conhecidos e bem documentados. Além do fato de que se a integração fosse feita sem o *middleware*, o aplicativo iria, necessariamente, ter que se conectar vários serviços de comunicação diferentes para obter os mesmos dados. Como ponto negativo, os desenvolvedores apontaram a necessidade de um mapeamento específico para os recursos *FHIR*, uma vez que a biblioteca que trata *HL7 FHIR* para a linguagem de programação Flutter apresentou erros durante o processo de desenvolvimento.

De uma maneira geral, os desenvolvedores que trabalharam nas aplicações resultantes das Provas de Conceitos atestaram que o *middleware* atende ao requisito de promover integração transparente de dados heterogêneos, uma vez que duas soluções que utilizam dados de saúde foram desenvolvidas de maneira facilitada em virtude da utilização do *middleware*; também atende ao requisito prover segurança e privacidade, uma vez que para consumirem os dados de saúde as aplicações precisaram possuir uma chave de acesso válida;

e ao requisito prover suporte para coleta de dados “*plug-and-play*”, considerando que para consumir os dados disponibilizados pela API RESTful do *middleware*, as aplicações apenas tiveram que implementar estratégias para converter os dados recebidos em *HL7 FHIR*. Além disso, os desenvolvedores envolvidos na implementação das novas aplicações apontaram a facilidade trazida pelo uso do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* no processo de integração e consumo de dados de saúde, mostrando a possibilidade de redução de custos de desenvolvimento e implementação a partir do uso do *Middleware*.

## 5.2 Análise dos Testes de Desempenho

Com o objetivo de analisar os requisitos de escalabilidade, disponibilidade e confiabilidade do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde, foram realizados testes de estresse após o desenvolvimento e implantação da solução em um servidor disponível em nuvem. Para realização dos testes foi utilizado o Apache JMeter, uma solução que tem como objetivo medir o desempenho de sistemas a partir da execução de comportamentos funcionais em escala, realizando a coleta de dados relacionados ao desempenho e confiabilidade da solução testada. O ambiente de teste configurado para a realização dos testes, bem como a metodologia utilizada na realização dos testes e os resultados obtidos serão discutidos nas subseções 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3, respectivamente.

### 5.2.1 Especificação do ambiente de testes

O ambiente utilizado para a realização dos testes consistiu de uma máquina virtual disponível em uma nuvem privada, na qual o *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde foi implantado e de um computador pessoal onde foi instalado o Apache JMeter para a realização da simulação das aplicações clientes que consomem dados integrados a partir do *middleware*. As configurações da máquina virtual e do computador onde o Apache JMeter foi instalado são descritas a seguir.

- **Máquina Virtual para implantação do *middleware*:**
  - **Sistema Operacional:** Ubuntu 20.04.1 LTS
  - **Memória RAM:** 8Gb
  - **Quantidade de vCPUs:** 8
  - **Espaço em disco:** 20Gb
- **Computador pessoal para execução do simulador de aplicações de saúde clientes:**

- **Sistema Operacional:** macOS Big Sur 11.2.2
- **Memória RAM:** 8Gb
- **Quantidade de vCPUs:** 8
- **Espaço em disco:** 512Gb SSD

A Figura 24 traz o diagrama de implantação do ambiente utilizado para realização dos testes de desempenho, ilustrando os ambientes onde as aplicações foram instaladas e a forma de comunicação entre a aplicação de simulação de clientes e o *Middleware*, que é realizada através de requisições *HTTP* para a API RESTful, que retorna os dados para os clientes no padrão *HL7 FHIR* e nos formatos *JSON* e *XML*.

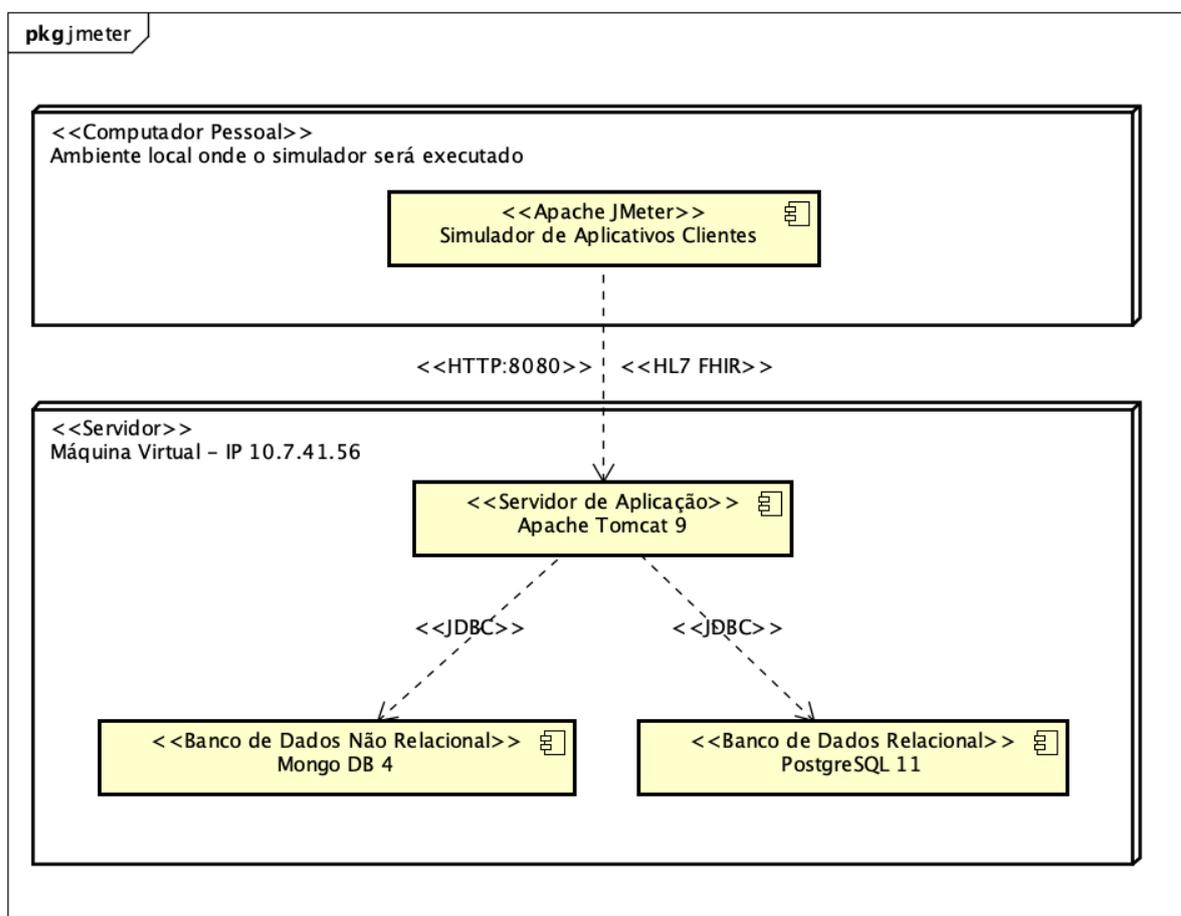


Figura 24 – Diagrama de implantação do ambiente de testes de desempenho

### 5.2.2 Metodologia

Após a implantação do *middleware* para a máquina virtual, foram integrados dados de 5 sistemas de saúde já consolidados e em ambiente produtivo, sendo eles: a Plataforma de Dados Clínicos (SigSaúde); a Plataforma de Assistência Remota (PAR); o Sistema de Gerenciamento de Exames COVID-19; o Sistema para Gerenciamento de Leitos; e o

Sistema para Gerenciamento de casos COVID-19 no Estado do Rio Grande do Norte (SUVEPI). Após o processamento e integração dos dados desses sistemas, a base de dados do *middleware* totalizou mais de 417 mil dados de saúde, de 3 diferentes recursos *HL7 FHIR*, sendo eles Pacientes, Observações e Encontros.

Os experimentos realizados consistiram em 5 baterias de testes com o objetivo de avaliar o desempenho da busca de dados integrados para cada um dos tipos de recursos *FHIR* disponíveis. Portanto, foram realizados testes com base na quantidade de aplicações clientes que realizaram acessos simultâneos ao *middleware*, afim de avaliar características de latência, confiabilidade (taxa de erro) e *throughput* na transmissão dos dados. A quantidade de aplicações clientes simuladas foi de 5, 25, 50, 75 e 100 para cada uma das baterias de testes e foram coletados dados de tempo de processamento da requisição (latência média, mínima e máxima), desvio padrão, taxa de erro e *throughput* (ou seja, a quantidade de requisições realizadas a cada segundo).

### 5.2.3 Resultados Obtidos

Os resultados relacionados ao tempo de processamento de cada requisição de cada uma das baterias de testes estão presentes na Tabela 7. Percebe-se que a latência mínima das requisições varia de 196 a 215 milissegundos, apresentando baixa variação de acordo a quantidade de clientes que realizam consultas à API do *middleware*, valores considerados baixos que apontam que, em condições ideais de infraestrutura, o processamento das requisições pode ser bastante rápido.

Já os valores médios e máximos da latência aumentaram à medida que a quantidade clientes simulados também aumentou. Isso mostra que, muito possivelmente, as configurações do ambiente onde o *middleware* foi implantado não foram as ideais para o melhor funcionamento dele e isso fica ainda mais claro nas baterias de testes que simularam mais de 50 clientes, que apresentaram tempo de resposta a partir de 1745 milissegundos. Além disso, o valor alto do desvio padrão, em todas as baterias, aponta que existe diferença no tempo de processamento entre requisições distintas e isso se deu por conta das variações de carga no servidor no decorrer das baterias de teste (um comportamento esperado, tendo em vista que foram realizadas consultas de diferentes tipos de dados nas baterias de testes).

Já a Tabela 8 mostra que em todas as baterias de testes o percentual de erro (isto é, requisições que não retornaram *STATUS* 200 do protocolo *HTTP*) ficou abaixo de 2%. Os erros apresentados foram erros de servidor e que foram causados por problemas de concorrência, apontando fragilidades no *hardware* onde o *middleware* foi instalado. Por fim, a taxa de *throughput* foi de 5.6 requisições realizadas por segundo para o cenário com 5 clientes nas baterias de testes, mas a partir do momento em que 25 ou mais clientes foram simulados essa taxa ficou entre 13.4 e 14.7 requisições realizadas a cada segundo. Esse dado também é um indicador de que, em condições ideais de infraestrutura computacional,

Clientes	Mínimo (mili)	Médio (mili)	Máximo (mili)	Desvio Padrão
5	196	538	1408	213.82
25	202	973	2232	435.94
50	191	1745	3617	881.4
75	215	2654	5395	1267.56
100	215	3487	7014	1870.02

Tabela 7 – Valores mínimo, médio, máximo e desvio padrão para o tempo de resposta (latência) às requisições realizadas para o *Middleware* em cada bateria de testes.

Clientes	Taxa de Erro	<i>Throughput</i>
5	0 %	5.6/seg
25	0.71 %	13.4/seg
50	1.03 %	14.8/seg
75	2 %	14.4/seg
100	1.29 %	14.7/seg

Tabela 8 – Taxa de erro obtida e quantidade de requisições por segundo (*throughput*) realizadas a cada bateria de testes executada.

o *middleware* pode processar e entregar os dados de maneira rápida, pois percebe-se que à medida que mais requisições foram realizadas ao mesmo tempo, o *middleware* precisou de mais tempo para processar e retornar as informações para os clientes.

Por fim, é importante esclarecer que os resultados obtidos nas simulações e as discussões apresentadas a partir deles estão diretamente relacionados e influenciados pelas configurações do ambiente de testes onde o *middleware* e o simulador foram implantados. No entanto, os dados nos mostram que o *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* apresentado neste trabalho atende de maneira satisfatória o requisito de prover escalabilidade, desde que esteja instalado em um ambiente com um *hardware* melhor dimensionado, podendo ser capaz de processar mais requisições por segundo e disponibilizando dados de saúde integrados em um tempo cada vez menor.

## 6 Considerações Finais

Conforme apresentado no Capítulo 1, há uma tendência muito forte no desenvolvimento de soluções tecnológicas para a área da saúde. Isso se dá, principalmente, com o objetivo de facilitar o acesso e o gerenciamento de dados de saúde por parte dos envolvidos na prestação de serviço de saúde (pacientes, profissionais de saúde, gestores ou familiares), afim de otimizar processos, aumentar a qualidade do serviço prestado e diminuir custos. Por isso, diversas soluções tecnológicas são desenvolvidas para o contexto da saúde e muitas vezes são utilizadas para resolver problemas específicos, o que resulta em um ecossistema de soluções heterogêneas e que não são integradas entre si.

Por isso, no Capítulo 2 foram expostos conceitos fundamentais envolvidos neste problema, tais como Sistemas de Informação de Saúde, *eHealth*, *mHealth*, *Middlewares* e os Padrões *HL7*, que foram necessários para o entendimento deste trabalho. Já no Capítulo 3 foi realizada uma Revisão do Estado da Arte sobre as soluções de *Middlewares* para Sistemas de Informação de Saúde, por meio de um Mapeamento Sistemático, que teve como objetivo principal compreender o estado atual da arte e as tendências futuras de *middleware* para aplicações de *eHealth* e *mHealth*, visando encontrar áreas e oportunidades para futuras investigações. Essa investigação evidenciou que, apesar de existirem soluções de *middleware* focadas para a área da saúde, elas não são completamente flexíveis e aplicáveis para diferentes contextos na área, não atendendo a todos os requisitos essenciais para plataformas de *middleware* para o contexto de saúde, também identificados na Revisão do Capítulo 2.

Portanto, no Capítulo 4 foi descrito o *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde, uma solução que se propõe a atender os principais requisitos de *middleware* para sistemas de saúde e é baseado em um padrão aberto de interoperabilidade para Sistemas de Saúde, o *HL7 FHIR*. Entende-se que para promover a interoperabilidade entre sistemas de saúde de maneira escalável é necessário garantir que a integração entre sistemas seja facilitada de forma que a qualidade dos dados não seja comprometida. Por isso, após a implementação do *Middleware*, foram realizadas duas Provas de Conceito, onde 5 Sistemas de Informação de Saúde consolidados, independentes e utilizados no dia a dia tiveram seus dados integrados a partir do *middleware* e duas novas aplicações (uma de *eHealth* e outra de *mHealth*) foram desenvolvidas utilizando os dados já integrados.

A partir da integração dos 5 sistemas de saúde e do desenvolvimento dessas duas novas aplicações foi possível validar e avaliar como o *middleware* atende aos requisitos definidos e atinge seus objetivos, tendo o processo de avaliação foi descrito no Capítulo

5, onde foram realizados testes de desempenho no *middleware* que indicaram que ele atende aos requisitos de disponibilidade e confiabilidade e também foi realizada uma pesquisa com os desenvolvedores responsáveis pela implementação das novas aplicações, cujo resultado apontou que, de fato, o *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde facilitou o processo de integração entre sistemas de saúde que possuem dados heterogêneos, reduzindo esforço, tempo e conseqüentemente custo no desenvolvimento de integrações entre esses sistemas.

## 6.1 Contribuições

Como resultado do trabalho apresentado nessa dissertação, as seguintes contribuições podem ser enumeradas:

- Uma revisão do Estado da Arte de plataformas de *middleware* para Sistemas de Informação de Saúde, que evidenciou as principais características de *middlewares* para sistemas de saúde e os desafios e oportunidades de se desenvolver um *middleware* para essa área;
- A definição de uma arquitetura de *software* para a implementação e implantação de um *middleware* para Sistemas de Informação de Saúde baseado em um padrão de interoperabilidade aberto como o *HL7 FHIR*;
- A implementação da solução de *middleware* e a integração de Sistemas de Saúde consolidados, que possuem características de dados heterogêneos e utilizados em um contexto real de saúde;
- A implementação de duas novas soluções para o contexto da saúde, sendo uma de *eHealth* e outra de *mHealth*, que tem como objetivo apresentar de maneira facilitada e unificada diferentes dados de saúde de um paciente.

Por fim, este trabalho gerou uma publicação em uma conferência internacional, denominada *International Conference on Computational Science and Its Applications* (ICCSA), com um artigo intitulado *Middleware for Healthcare Systems: A Systematic Mapping*.

## 6.2 Limitações

Nesta seção serão discutidas as principais limitações apresentadas por este trabalho, bem como estratégias de como elas podem ser enfrentadas no futuro. Dessa forma, temos como limitações:

- Conforme discutido nos Capítulos 2 e 3 o requisito de promover a interoperabilidade entre sistemas de saúde envolve tanto interoperabilidade sintática, quanto interoperabilidade semântica. Na avaliação realizada e discutida no 5 aponta mais claramente que o requisito de interoperabilidade sintática foi contemplado. No entanto, faz-se necessária a realização de mais validações através de casos de uso com diferentes sistemas e aplicações de saúde, afim de avaliar melhor como o *Middleware* baseado em *HL7 FHIR* atende, principalmente, aos requisitos de interoperabilidade semântica;
- *HL7 FHIR* representa pacientes, cuidadores, profissionais de saúde, exames, internações e quaisquer outros atores envolvidos no ecossistema de saúde através de modelos de dados de Recursos *HL7 FHIR*. Atualmente no *middleware* foram integrados dados de apenas 3 desses recursos (Pacientes, Observações e Encontros). Faz-se necessária a integração de novos e diferentes tipos de recursos *HL7 FHIR* para a realização de novos testes e avaliações acerca do potencial de integração da solução proposta;
- A aplicação de *mHealth* desenvolvida como Prova de Conceito, o Aplicativo “Meu Prontuário”, foi desenvolvido em uma linguagem de programação que não tinha uma biblioteca estável para trabalhar com dados *HL7 FHIR*, o que demandou esforço um pouco maior de programação. Nas próximas avaliações deve-se levar em consideração a utilização de uma linguagem de programação como Java, que já possui bibliotecas de código aberto estáveis para lidar gerenciar os dados no Padrão *HL7 FHIR*;
- A validação do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* foi realizada a partir de Sistemas de Informação de Saúde já consolidados, nessa validação foi possível atestar que o *middleware* atende aos requisitos definidos. No entanto, as soluções para a área da saúde estão evoluindo principalmente nos campos de *mHealth* e de inteligência artificial. Nesta perspectiva, faz-se necessária a realização de novos estudos de caso envolvendo a integração de diferentes tipos de aplicativos de saúde, como dispositivos vestíveis, afim de avaliar se, de fato, diferentes tipos de aplicativos de saúde podem ser integrados através do *middleware*.

### 6.3 Trabalhos Futuros

Com relação aos trabalhos futuros a essa dissertação, temos:

- A realização de mais testes de disponibilidade em infraestruturas melhores do que a que o *middleware* foi implantado no contexto desse trabalho;

- A implantação do *Middleware* em uma solução de nuvem, como *Amazon Web Services*, para avaliar o atendimento a requisitos de escalabilidade e disponibilização de dados em tempo real;
- A integração de sistemas que gerenciem dados de diferentes e novos recursos *HL7 FHIR* para avaliação da integração de diferentes tipos de dados e como eles se relacionam;
- O desenvolvimento de novas aplicações de *eHealth* e *mHealth* que enviam e consomem dados integrados a partir do *middleware*;
- A validação do *Middleware* baseado no Padrão *HL7 FHIR* para Sistemas de Informação de Saúde por meio da realização de estudos de casos em cenários reais onde haja um ecossistema de sistemas de informação de saúde com dados heterogêneos, envolvendo Profissionais de Saúde no processo de validação (por exemplo, em um hospital).

## Referências

- ALMADANI, B.; SAEED, B.; ALROUBAIY, A. Healthcare systems integration using real time publish subscribe (rtps) middleware. *Computers & Electrical Engineering*, Elsevier, v. 50, p. 67–78, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 41.
- ALONSO, L. et al. Middleware and communication technologies for structural health monitoring of critical infrastructures: A survey. *Computer Standards & Interfaces*, Elsevier, v. 56, p. 83–100, 2018. Citado 4 vezes nas páginas 34, 38, 39 e 40.
- ALZGHOUL, M. M.; AL-TAEI, M. A.; AL-TAEI, A. M. Towards nationwide electronic health record system in Jordan. In: IEEE. *2016 13th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*. [S.l.], 2016. p. 650–655. Citado 4 vezes nas páginas 35, 39, 40 e 41.
- ARUNACHALAN, B.; LIGHT, J. Middleware architecture for patient care data transmission using wireless networks. In: *Proceedings of the 2007 international conference on Wireless communications and mobile computing*. [S.l.: s.n.], 2007. p. 182–185. Citado 2 vezes nas páginas 43 e 46.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. Citado na página 23.
- BAKKEN, D. Middleware. *Encyclopedia of Distributed Computing*, Kluwer Academic, Dodrecht, The Netherlands, v. 11, 2001. Citado na página 23.
- BASS, L.; CLEMENTS, P.; KAZMAN, R. *Software Architecture in Practice*. [S.l.]: Pearson, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 45.
- BEZERRA, C. A. C.; ARAÚJO, A. M. C. de; UNITPAC-ARAGUAÍNA, T. Especificando um middleware para a interoperabilidade do registro eletrônico em saúde. 2019. Citado na página 25.
- BLOBEL, B.; HOLENA, M. Comparing middleware concepts for advanced healthcare system architectures. *International journal of medical informatics*, Elsevier, v. 46, n. 2, p. 69–85, 1997. Citado na página 36.
- BOYLE, F.; SHERMAN, D. Scopus™: The product and its development. *The Serials Librarian*, Taylor & Francis, v. 49, n. 3, p. 147–153, 2006. Citado na página 31.
- BRUNEO, D.; PULIAFITO, A.; SCARPA, M. Mobile middleware: Definition and motivations. *The Handbook of Mobile Middleware*, Auerbach Pub, p. 145–167, 2007. Citado na página 23.
- CHAUDHRY, J. et al. Postcode middleware for post-market surveillance of medical devices for cyber security in medical and healthcare sector in Australia. In: IEEE. *2018 12th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT)*. [S.l.], 2018. p. 1–10. Citado na página 35.
- DEVKOTA, B.; DEVKOTA, A. Electronic health records: advantages of use and barriers to adoption. *Health Renaissance*, v. 11, n. 3, p. 181–184, 2013. Citado na página 45.

- DURNIAK, A. Welcome to ieeexplore. *IEEE Power Engineering Review*, IEEE, v. 20, n. 11, p. 12, 2000. Citado na página 31.
- EMMERICH, W. Software engineering and middleware: a roadmap. In: *Proceedings of the Conference on the Future of Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 117–129. Citado na página 24.
- EYSENBACH, G. What is e-health? *J Med Internet Res*, v. 3, n. 2, p. e20, Jun 2001. ISSN 1438-8871. Disponível em: <<http://www.jmir.org/2001/2/e20/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 21.
- FERRAILOLO, D.; CUGINI, J.; KUHN, D. R. Role-based access control (rbac): Features and motivations. In: *Proceedings of 11th annual computer security application conference*. [S.l.: s.n.], 1995. p. 241–48. Citado na página 50.
- FERRARA, F. M. The standard ‘healthcare information systems architecture’ and the dhe middleware. *International journal of medical informatics*, Elsevier, v. 52, n. 1-3, p. 39–51, 1998. Citado 7 vezes nas páginas 35, 38, 39, 40, 41, 42 e 46.
- FERREIRA, J. E. d. S. M. et al. Sistemas de informação em saúde no apoio à gestão da atenção primária à saúde: revisão integrativa. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, v. 14, n. 4, 2020. Citado na página 20.
- FILHO, I. B. et al. Development of a health dashboard for an electronic health record system. In: IEEE. *2020 20th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA)*. [S.l.], 2020. p. 16–22. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 20.
- FILHO, I. de M. B. et al. An iot-based healthcare platform for patients in icu beds during the covid-19 outbreak. *IEEE Access*, IEEE, v. 9, p. 27262–27277, 2021. Citado na página 55.
- FILHO, I. de M. B. et al. A web-based information system for the management of icu beds during the coronavirus outbreak. In: IEEE. *2020 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*. [S.l.], 2020. p. 1–4. Citado na página 56.
- FILHO, I. de M. B. et al. A microservice-based health information system for student-run clinics. In: SPRINGER. *International Conference on Computational Science and Its Applications*. [S.l.], 2019. p. 3–16. Citado na página 54.
- FOUNDATION, H. F. *HL7 FHIR Foundation About Page*. 2021. Disponível em: <<http://fhir.org/about.html>>. Citado 4 vezes nas páginas 17, 28, 34 e 43.
- FREE, C. et al. The effectiveness of m-health technologies for improving health and health services: a systematic review protocol. *BMC research notes*, BioMed Central, v. 3, n. 1, p. 1–7, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 22.
- GSMA. *The Mobile Economy*. 2021. Disponível em: <<https://www.gsma.com/mobileeconomy/>>. Citado na página 22.
- HARDT, D. et al. *The OAuth 2.0 authorization framework*. [S.l.]: RFC 6749, October, 2012. Citado na página 50.

- HSIEH, S.-L. et al. An integrated healthcare enterprise information portal and healthcare information system framework. In: IEEE. *2006 International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.], 2006. p. 4731–4734. Citado na página 36.
- IAKOVIDIS, I. Towards personal health record: current situation, obstacles and trends in implementation of electronic healthcare record in europe. *International journal of medical informatics*, Elsevier, v. 52, n. 1-3, p. 105–115, 1998. Citado 3 vezes nas páginas 15, 20 e 45.
- INTERNATIONAL, H. *Resource Index*. 2017. Disponível em: <<https://hl7.org/fhir/2018Jan/resourcelist.html>>. Citado na página 28.
- INTERNATIONAL, H. *Resource Encounter - Content*. 2019. Disponível em: <<http://www.hl7.org/fhir/encounter.html>>. Citado na página 61.
- INTERNATIONAL, H. *Resource Observation - Content*. 2019. Disponível em: <<http://www.hl7.org/fhir/observation.html>>. Citado na página 61.
- INTERNATIONAL, H. *Resource Patient - Content*. 2019. Disponível em: <<http://www.hl7.org/fhir/patient.html>>. Citado na página 62.
- INTERNATIONAL, H. *FHIR® R4 (HL7 Fast Healthcare Interoperability Resources, Release 4)*. 2021. Disponível em: <[http://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=491](http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=491)>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- INTERNATIONAL, H. *HL7 Version 2 Product Suite*. 2021. Disponível em: <[http://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=185](http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=185)>. Citado na página 25.
- INTERNATIONAL, H. *HL7 Version 3 Product Suite*. 2021. Disponível em: <[http://www.hl7.org/implement/standards/product\\_brief.cfm?product\\_id=185](http://www.hl7.org/implement/standards/product_brief.cfm?product_id=185)>. Citado na página 26.
- INTERNATIONAL, H. L. S. *HL7 Backgrounder Brief*. 2021. Disponível em: <<http://www.hl7.org/newsroom/HL7backgrounderbrief.cfm>>. Citado na página 25.
- INTERNATIONAL, H. L. S. *Introduction to HL7 Standards*. 2021. Disponível em: <[HL7International-Seq~oeshttp://www.hl7.org/implement/standards/index.cfm?ref=nav](http://www.hl7.org/implement/standards/index.cfm?ref=nav)>. Citado na página 25.
- IS, I. 13606: Health informatics—electronic healthcare record communication—part 1: Reference model [internet]. *International Organization for Standardization*, p. 83, 2008. Citado na página 16.
- JATANA, N. et al. A survey and comparison of relational and non-relational database. *International Journal of Engineering Research & Technology*, Citeseer, v. 1, n. 6, p. 1–5, 2012. Citado na página 51.
- JAYARATNE, M. et al. A data integration platform for patient-centered e-healthcare and clinical decision support. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 92, p. 996–1008, 2019. Citado na página 16.

- JI, Z. et al. A cloud-based x73 ubiquitous mobile healthcare system: design and implementation. *The Scientific World Journal*, Hindawi, v. 2014, 2014. Citado 4 vezes nas páginas 16, 36, 43 e 46.
- JOHNSON, R. et al. *Spring Framework Documentation*. [S.l.]: Accessed on, 2020. Citado na página 52.
- KABACHINSKI, J. What is health level 7? *Biomedical instrumentation & technology*, Allen Press Publishing Services, v. 40, n. 5, p. 375, 2006. Citado na página 25.
- KALLEPALLI, V. N. et al. Security middleware infrastructure for dicom images in health information systems. *Journal of Digital Imaging*, Springer, v. 16, n. 4, p. 356–364, 2003. Citado 4 vezes nas páginas 35, 38, 40 e 43.
- KIM, H. H.; JO, H. G.; KANG, S. J. Self-organizing peer-to-peer middleware for healthcare monitoring in real-time. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 17, n. 11, p. 2650, 2017. Citado na página 42.
- KITCHENHAM, B. et al. Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, Elsevier, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 17, 30 e 44.
- KLIEM, A. et al. Self-adaptive middleware for ubiquitous medical device integration. In: IEEE. *2014 IEEE 16th international conference on e-health networking, applications and services (Healthcom)*. [S.l.], 2014. p. 298–304. Citado 6 vezes nas páginas 16, 38, 40, 41, 42 e 46.
- LIBRARY, A. D. *ACM Digital Library Home Page*. 2021. Disponível em: <<https://dl.acm.org/>>. Citado na página 31.
- LIU, L.; HUANG, Q. An extensible hl7 middleware for heterogeneous healthcare information exchange. In: IEEE. *2012 5th International Conference on BioMedical Engineering and Informatics*. [S.l.], 2012. p. 1045–1048. Citado na página 34.
- LIU, X.; MA, L.; LIU, Y. A middleware-based implementation for data integration of remote devices. In: IEEE. *2012 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*. [S.l.], 2012. p. 219–224. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.
- LOMOTÉY, R. K. et al. Mobile medical data synchronization on cloud-powered middleware platform. *IEEE Transactions on Services Computing*, IEEE, v. 9, n. 5, p. 757–770, 2016. Citado na página 35.
- LOMOTÉY, R. K. et al. Using cloud-based middleware to enable mobile medical data management. In: IEEE. *2016 IEEE International Conference on Mobile Services (MS)*. [S.l.], 2016. p. 142–149. Citado 3 vezes nas páginas 41, 43 e 46.
- MADUREIRA, P. et al. My-aha: Middleware platform to sustain active and healthy ageing. In: IEEE. *2019 International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. [S.l.], 2019. p. 21–26. Citado na página 34.
- MALÁQUIAS, R. S. et al. Middleware for healthcare systems: A systematic mapping. In: SPRINGER. *International Conference on Computational Science and Its Applications*. [S.l.], 2021. p. 394–409. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 24.

- MARIN, H. de F. Sistemas de informação em saúde: considerações gerais. *Journal of Health Informatics*, v. 2, n. 1, 2010. Citado 3 vezes nas páginas 15, 20 e 45.
- MARTÍEZ, I. et al. Seamless integration of iso/ieee11073 personal health devices and iso/en13606 electronic health records into an end-to-end interoperable solution. *Telemedicine and e-Health*, Mary Ann Liebert, Inc. 140 Huguenot Street, 3rd Floor New Rochelle, NY 10801 USA, v. 16, n. 10, p. 993–1004, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 39.
- MATTOS, W. D. de; GONDIM, P. R. M-health solutions using 5g networks and m2m communications. *IT Professional*, IEEE, v. 18, n. 3, p. 24–29, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 22.
- MELAMENT, A. et al. Biomimics-soa platform for research of rare hereditary diseases. In: IEEE. *2011 Annual SRII Global Conference*. [S.l.], 2011. p. 83–90. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 42.
- MURSHED, A. N. et al. Developing an efficient health clinical application: Iiop distributed objects framework. In: IEEE. *2012 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining*. [S.l.], 2012. p. 759–764. Citado na página 36.
- NATURE, S. N. S. A. P. of S. *Springer Link Home Page*. 2021. Disponível em: <<https://link.springer.com/>>. Citado na página 31.
- OLIVEIRA, E. A. et al. Device nimbus: an intelligent middleware for smarter services for health and fitness. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 11, n. 8, p. 454626, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 38, 39 e 41.
- OMG, O. M. G. *CORBA Home Page*. 2017. Disponível em: <<https://www.corba.org/>>. Citado na página 24.
- OPENEHR. *openEHR Home Page*. 2021. Disponível em: <<https://www.openehr.org/>>. Citado na página 16.
- ORACLE. *Getting Started with Java Message Service (JMS)*. 2021. Disponível em: <<https://www.oracle.com/technical-resources/articles/java/intro-java-message-service.html>>. Citado na página 24.
- ORACLE. *Remote Method Invocation Home*. 2021. Disponível em: <[oracle.com/java/technologies/javase/remote-method-invocation-home.html](https://www.oracle.com/java/technologies/javase/remote-method-invocation-home.html)>. Citado na página 24.
- 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. Citado na página 15.
- PEREIRA, R. et al. A middleware for intelligent environments in ambient assisted living. In: IEEE. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.], 2014. p. 5924–5927. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 40.
- PERVEZ, U. et al. Improvement strategies for device interoperability middleware using formal reliability analysis. *Scalable Computing: Practice and Experience*, v. 17, n. 3, p. 150–170, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 42.

- PETERSEN, K. et al. Systematic mapping studies in software engineering. In: *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE) 12*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–10. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 44.
- POLLACK, M. et al. *Spring Data MongoDB-Reference Documentation*. [S.l.]: URL: <http://docs.spring.io/spring-data/mongodb/docs/current/reference/html> . . . , 2011. Citado na página 52.
- PRADOS-SUAREZ, B.; MOLINA, C.; PEÑA-YAÑEZ, C. Providing an integrated access to ehr using electronic health records aggregators. *Studies in health technology and informatics*, v. 270, p. 402–406, 2020. Citado 5 vezes nas páginas 39, 40, 41, 43 e 46.
- RICHARDSON, L.; RUBY, S. *RESTful web services*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2008. Citado na página 51.
- RODRIGUEZ, M. D.; FAVELA, J. An agent middleware for ubiquitous computing in healthcare. In: *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare-3*. [S.l.]: Springer, 2008. p. 117–149. Citado 3 vezes nas páginas 35, 38 e 39.
- RYAN, A.; EKLUND, P. W. The health service bus: an architecture and case study in achieving interoperability in healthcare. 2010. Citado na página 35.
- SARIPALLE, R.; RUNYAN, C.; RUSSELL, M. Using hl7 fhir to achieve interoperability in patient health record. *Journal of biomedical informatics*, Elsevier, v. 94, p. 103188, 2019. Citado na página 28.
- SARIPALLE, R. K. Fast health interoperability resources (fhir): current status in the healthcare system. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, IGI Global, v. 10, n. 1, p. 76–93, 2019. Citado na página 28.
- SCHWEIGER, R.; BÜRKLE, T.; DUDECK, J. Post-integration of a tumor documentation system into a his via middleware. *Studies in health technology and informatics*, v. 43, p. 6–9, 1997. Citado na página 42.
- SCIENCEDIRECT. *Science Direct Home Page*. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/>>. Citado na página 31.
- SHAND, B.; RASHBASS, J. Security for middleware extensions: event meta-data for enforcing security policy. In: *Proceedings of the 2008 workshop on Middleware security*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 31–33. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 43.
- SILVA, B. M. et al. Mobile-health: A review of current state in 2015. *Journal of biomedical informatics*, Elsevier, v. 56, p. 265–272, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 15, 20, 22 e 45.
- SINGH, J.; BACON, J. Managing health information flows with a reconfigurable component-based middleware. In: IEEE. *2011 IEEE 12th International Conference on Mobile Data Management*. [S.l.], 2011. v. 2, p. 52–54. Citado na página 35.
- SINGH, J. et al. Policy-based information sharing in publish/subscribe middleware. In: IEEE. *2008 IEEE workshop on policies for distributed systems and networks*. [S.l.], 2008. p. 137–144. Citado 4 vezes nas páginas 34, 39, 40 e 41.

- SOYEMI, J.; MISRA, S.; NICHOLAS, O. Towards e-healthcare deployment in nigeria: The open issues. In: SPRINGER. *International Conference on Soft Computing, Intelligence Systems, and Information Technology*. [S.l.], 2015. p. 588–599. Citado na página 15.
- TALEB, T. et al. Angelah: a framework for assisting elders at home. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, IEEE, v. 27, n. 4, p. 480–494, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 36, 38, 39 e 41.
- TEAM, T. T. *Thymeleaf*. 2022. Disponível em: <<https://www.thymeleaf.org/>>. Citado na página 59.
- 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. Citado na página 15.
- WALUYO, A. B. et al. Design and evaluation of lightweight middleware for personal wireless body area network. *Personal and Ubiquitous Computing*, Springer, v. 13, n. 7, p. 509–525, 2009. Citado 4 vezes nas páginas 36, 39, 40 e 41.
- WHO. *Digital Health Page*. 2021. Disponível em: <[https://www.who.int/health-topics/digital-health#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/digital-health#tab=tab_1)>. Citado na página 22.
- WHO. *eHealth*. 2021. Disponível em: <<http://www.emro.who.int/health-topics/ehealth/>>. Citado na página 21.
- WHO et al. *mHealth: use of mobile wireless technologies for public health. Geneva: WHO Executive Board 139th session; 2016*. 2016. Disponível em: <[https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/EB139/B139\\_8-en.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/EB139/B139_8-en.pdf)>. Citado na página 22.
- ZANDIEH, S. O. et al. Challenges to ehr implementation in electronic-versus paper-based office practices. *Journal of general internal medicine*, Springer, v. 23, n. 6, p. 755–761, 2008. Citado na página 45.
- ZHANG, W.; THUROW, K.; STOLL, R. A knowledge-based telemonitoring platform for application in remote healthcare. *International Journal of Computers Communications & Control*, v. 9, n. 5, p. 644–654, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 34, 38 e 40.
- ZUEHLKE, P. et al. A functional specification for mobile ehealth (mhealth) systems. In: IEEE. *2009 11th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*. [S.l.], 2009. p. 74–78. Citado na página 16.

# APÊNDICE A – Documentação da API RESTful do Middleware

The screenshot displays the Swagger UI for an API titled "MIDDLEWARE PARA DADOS DE SAÚDE" (version 1.0.0). The base URL is 192.168.0.7:8081/v2/api-docs. The API is described as REST requests for a health data middleware, with contact information for RAMON SANTOS MALAQUIAS.

The API is organized into four controllers:

- auth-rest-controller** (Auth Rest Controller):
  - POST /auth createAuthenticationToken
  - GET /auth/logout logout
  - GET /auth/refreshToken refreshToken
- encontro-rest-controller** (Encontro Rest Controller):
  - GET /encontro listar
  - POST /encontro salvar
  - PUT /encontro editar
  - GET /encontro/{id} getById
  - PUT /encontro/delete remover
- observacao-rest-controller** (Observacao Rest Controller):
  - GET /observacao listar
  - POST /observacao salvar
  - PUT /observacao editar
  - GET /observacao/{id} getById
  - GET /observacao/byIdentificadorPaciente listarPorIdentificadorPaciente
  - PUT /observacao/delete remover
- paciente-rest-controller** (Paciente Rest Controller):
  - GET /paciente listar
  - POST /paciente salvar
  - PUT /paciente editar
  - GET /paciente/{id} getById
  - GET /paciente/byIdentificadorPaciente listarPorIdentificadorPaciente
  - PUT /paciente/delete remover

Below the controllers, the "Models" section defines the following data structures:

```

AuthenticationRequestDTO {
  password string
  username string
}

EncontroDTO {
  chave* string
  fhir3jsonResource string
  fhirxmlResource string
  id string
}

ObservacaoDTO {
  chave* string
  fhir3jsonPatientResource string
  fhir3jsonResource string
  fhirxmlResource string
  id string
}

PacienteDTO {
  chave* string
  fhir3jsonResource string
  fhirxmlResource string
  id string
}
    
```

Figura 25 – Documentação da API RESTful do Middleware

APÊNDICE B – Questionário sobre a  
experiência de utilização do Middleware  
baseado no Padrão *HL7 FHIR* para  
Sistemas de Saúde

# Questionário sobre a experiência de utilização do Middleware baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde

Este formulário tem o objetivo de coletar o feedback de desenvolvedores de software que trabalharam no desenvolvimento de um aplicativo móvel que utiliza o Middleware Baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde, desenvolvido em um trabalho de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Tecnologia da Informação (PPgTI) do Instituto Metrópole Digital (IMD) da UFRN.

Como você avalia seu grau de senioridade em programação? \*

- Jr
- Pleno
- Sênior

Quantas horas de trabalho você gastou efetivamente no desenvolvimento do aplicativo? \*

10

Considerando o total de horas informado na questão acima, como você dividiria a quantidade de horas destinadas a resolver problemas técnicos (pesquisas sobre a tecnologia) e a quantidade destinada para trabalhar nas atividades de integração efetivamente? Ex de resposta: 4 horas pesquisando / 2 trabalhando na integração \*

7 horas pesquisando / 3 trabalhando na integração

Você acredita que a utilização do formato JSON para a troca de dados influenciou no processo de desenvolvimento? Como? \*

Sim, facilita o processo devido a facilidade de implementação e a grande disponibilidade de exemplos online.

Como você avalia a experiência na utilização do Middleware no desenvolvimento de uma aplicação que envolve integração entre sistemas de saúde? \*

Em relação a busca de dados de pacientes não teve dificuldade alguma, o Middleware cumpriu seu papel perfeitamente ao proporcionar os dados do paciente de diferentes fontes.

Na sua opinião, quais foram os principais pontos positivos na experiência da utilização do middleware para sistemas de saúde como base para o desenvolvimento da solução? \*

Principalmente a facilidade na obtenção dos dados por identificadores comuns, como o CPF, por exemplo.

Na sua opinião, quais foram os principais pontos negativos na experiência da utilização do middleware para sistemas de saúde como base para o desenvolvimento da solução? \*

Em relação a busca de dados de pacientes não teve dificuldade alguma. O complicado foi trabalhar esses dados no flutter, devido a inexperiência tanto da tecnologia quanto do funcionamento do HL7 FHIR.

Você teria sugestões de melhorias para o Middleware Baseado em HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde? \*

Não

Obrigado!

Obrigado por contribuir com essa pesquisa.

# Google Formulários

# Questionário sobre a experiência de utilização do Middleware baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde

Este formulário tem o objetivo de coletar o feedback de desenvolvedores de software que trabalharam no desenvolvimento de um aplicativo móvel que utiliza o Middleware Baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde, desenvolvido em um trabalho de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Tecnologia da Informação (PPgTI) do Instituto Metrópole Digital (IMD) da UFRN.

Como você avalia seu grau de senioridade em programação? \*

- Jr
- Pleno
- Sênior

Quantas horas de trabalho você gastou efetivamente no desenvolvimento do aplicativo? \*

7

Considerando o total de horas informado na questão acima, como você dividiria a quantidade de horas destinadas a resolver problemas técnicos (pesquisas sobre a tecnologia) e a quantidade destinada para trabalhar nas atividades de integração efetivamente? Ex de resposta: 4 horas pesquisando / 2 trabalhando na integração \*

4 horas pesquisando / 3 trabalhando na integração

Você acredita que a utilização do formato JSON para a troca de dados influenciou no processo de desenvolvimento? Como? \*

Sim. Facilitou o consumo das informações dos pacientes, por ser um formato padronizado com utilização bem difundida.

Como você avalia a experiência na utilização do Middleware no desenvolvimento de uma aplicação que envolve integração entre sistemas de saúde? \*

Facilita o processo de produção por fornecer um meio único de consumir as diversas informações que podem ser recuperadas dos sistemas de saúde.

Na sua opinião, quais foram os principais pontos positivos na experiência da utilização do middleware para sistemas de saúde como base para o desenvolvimento da solução? \*

Forneceu um meio acessível de recuperar informações pertinentes aos dados de saúde de pacientes. O uso dos formatos JSON e FHIR facilitam o consumo das informações, por serem padrões bem conhecidos e documentados.

Na sua opinião, quais foram os principais pontos negativos na experiência da utilização do middleware para sistemas de saúde como base para o desenvolvimento da solução? \*

Ao desenvolver o aplicativo em flutter, houveram problemas para utilizar a biblioteca para consumo dos dados no formato FHIR. Foi possível mapear os dados manualmente neste caso, mas em uma aplicação de maior complexidade, esta tarefa pode se tornar um empecilho no desenvolvimento.

Você teria sugestões de melhorias para o Middleware Baseado em HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde? \*

Não. As dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da aplicação se deram em maior parte por conta do uso da tecnologia flutter, tendo o middleware atendido bem às necessidades.

Obrigado!

Obrigado por contribuir com essa pesquisa.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

## Google Formulários

# Questionário sobre a experiência de utilização do Middleware baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde

Este formulário tem o objetivo de coletar o feedback de desenvolvedores de software que trabalharam no desenvolvimento de um aplicativo móvel que utiliza o Middleware Baseado no Padrão HL7 FHIR para Sistemas de Saúde, desenvolvido em um trabalho de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Tecnologia da Informação (PPgTI) do Instituto Metrópole Digital (IMD) da UFRN.

Como você avalia seu grau de senioridade em programação? \*

- Jr
- Pleno
- Sênior

Quantas horas de trabalho você gastou efetivamente no desenvolvimento do aplicativo? \*

6

Considerando o total de horas informado na questão acima, como você dividiria a quantidade de horas destinadas a resolver problemas técnicos (pesquisas sobre a tecnologia) e a quantidade destinada para trabalhar nas atividades de integração efetivamente? Ex de resposta: 4 horas pesquisando / 2 trabalhando na integração \*

3 horas pesquisando / 3 trabalhando na integração

Você acredita que a utilização do formato JSON para a troca de dados influenciou no processo de desenvolvimento? Como? \*

Sim, pois é a forma que eu estou mais acostumado a fazer esse tipo de coisa, deixando o desenvolvimento mais fácil

Como você avalia a experiência na utilização do Middleware no desenvolvimento de uma aplicação que envolve integração entre sistemas de saúde? \*

A minha experiência usando o Middleware foi positiva, pois não foi algo muito complexo de se fazer.

Na sua opinião, quais foram os principais pontos positivos na experiência da utilização do middleware para sistemas de saúde como base para o desenvolvimento da solução? \*

O principal ponto é que se fosse fazer sem ele, o aplicativo teria que se conectar com vários serviços diferentes.

Na sua opinião, quais foram os principais pontos negativos na experiência da utilização do middleware para sistemas de saúde como base para o desenvolvimento da solução? \*

O principal ponto negativo foi o a organização dos JSONs

Você teria sugestões de melhorias para o Middleware Baseado em HL7 FHIR para Sistemas de Informação de Saúde? \*

.

Obrigado!

Obrigado por contribuir com essa pesquisa.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

