



INSTITUTO
FEDERAL

Baiano

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO -

CAMPUS CATU

CURSO TECNÓLOGO EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

Vitor Lima de Almeida

**OOAF MONITOR: uma solução para gerenciamento de
dispositivo de Oscilação Oral de Alta Frequência no
tratamento de doenças respiratórias crônicas**

CATU-BAHIA

2025

VITOR LIMA DE ALMEIDA

**OOAF MONITOR: uma solução para gerenciamento de dispositivo de
Oscilação Oral de Alta Frequência no tratamento de doenças respiratórias
crônicas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento
de Sistemas do Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia Baiano, como requisito parcial
à obtenção do grau de tecnólogo em Análise e
Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador(a): Prof. Dr. Romero Mendes Freire de
Moura Júnior

CATU-BAHIA

2025

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Ricardo Santos do Carmo Reis - CRB – 5^a / 1649

	Almeida, Vitor Lima de
A447o	OOAF Monitor: uma solução para gerenciamento de dispositivo de Oscilação Oral de Alta Frequência no tratamento de doenças respiratórias crônicas/ Vitor Lima de Almeida.- Catu, BA, 2025. 52 p.; il.: color.
Inclui bibliografia.	
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Catu.	
Orientador: Prof. Dr. Romero Mendes Freire de Moura Júnior.	
1. MHealth. 2. Fisioterapia respiratória. 3. OOAF. 4. Doenças respiratórias crônicas. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. II. Moura Júnior, Romero Mendes Freire de (Orient.). III. Título.	
CDU: 616.24	

VITOR LIMA DE ALMEIDA

**OOAF MONITOR: uma solução para gerenciamento de dispositivo de
Oscilação Oral de Alta Frequência no tratamento de doenças respiratórias
crônicas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento
de Sistemas do Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia Baiano, como requisito parcial
à obtenção do grau de tecnólogo em Análise e
Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador(a): Prof. Dr. Romero Mendes Freire de
Moura Júnior

APROVADO EM ___ /___/___ CONCEITO FINAL:_____

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Instituto Federal Baiano – *Campus Catu*, pela oportunidade de formação, pela estrutura e equipamentos de informática e pelo ambiente acadêmico que possibilitou meu crescimento pessoal e profissional ao longo desta jornada.

Expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, professor Romero Freire, pela orientação dedicada, pelos ensinamentos compartilhados e pela paciência demonstrada durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para que este projeto se concretizasse.

Agradeço profundamente à minha mãe, pelo apoio incondicional e por acreditar em mim mesmo nos momentos em que eu duvidei. Nada disso seria possível sem seu incentivo constante.

Também deixo meu agradecimento especial a Tiago Moreira, cujo apoio, compreensão e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse seguir firme até a conclusão desta etapa tão importante.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esta caminhada, meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento do OOAF Monitor, uma solução de Saúde Móvel (*mHealth*) projetada para o monitoramento do dispositivo de Oscilação Oral de Alta Frequência, amplamente utilizado no tratamento de Doenças Respiratórias Crônicas. Esses dispositivos, embora eficazes na mobilização de secreções e na melhora da função pulmonar, não possuem recursos nativos para registrar parâmetros de uso ou estimar o esforço empregado pelo paciente, o que limita o acompanhamento terapêutico, especialmente em contextos domiciliares. Diante dessa lacuna, a pesquisa propõe o desenvolvimento de um aplicativo móvel capaz de coletar, registrar e apresentar medições do exercício respiratório, oferecendo maior autonomia ao paciente e suporte remoto ao profissional. A pesquisa foi conduzida com base na metodologia Design Science juntamente com o método Design Science Research, contemplando o levantamento de requisitos, o projeto da interface e a implementação da comunicação via *Bluetooth Low Energy* com um microcontrolador ESP32 atuando como simulador. A solução resultante permite o monitoramento contínuo, o armazenamento estruturado dos dados e o acesso compartilhado entre paciente e fisioterapeuta, podendo contribuir para a adesão ao tratamento e a personalização da terapia.

Palavras-chave – *mHealth*; fisioterapia respiratória; OOAF; doenças respiratórias crônicas.

ABSTRACT

This work presents the development of OOAF Monitor, a Mobile Health (mHealth) solution designed to monitor the High-Frequency Oral Oscillation device, widely used in the treatment of Chronic Respiratory Diseases. Although effective in mobilizing secretions and improving pulmonary function, these devices lack native features to record usage parameters or estimate the effort exerted by the patient, which limits therapeutic monitoring, especially in home settings. To address this gap, this research proposes the development of a mobile application capable of collecting, recording, and displaying respiratory exercise measurements, offering greater autonomy to the patient and remote support to the professional. The research was conducted based on Design Science methodology alongside the Design Science Research method, encompassing requirements gathering, interface design, and the implementation of Bluetooth Low Energy communication with an ESP32 microcontroller acting as simulator. The resulting solution enables continuous monitoring, structured data storage, and shared access between patient and physiotherapist, potentially contributing to treatment adherence and therapy personalization.

Keywords – mHealth; Respiratory Physiotherapy; HFOO; chronic respiratory diseases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Modelo Shaker Medic Plus.....	19
Figura 02 - Funcionamento do Shaker.....	20
Figura 03 - Etapas da DSR e suas diretrizes.....	23
Figura 04 - Etapas da pesquisa.....	24
Figura 05 - Diagrama de caso de uso do OOAF Monitor.....	26
Figura 06 - ESP32.....	27
Figura 07 - Protótipo de Telas do OOAF Monitor.....	29
Figura 08 - Blocos da funcionalidade de comunicação via BLE com o ESP32.....	32
Figura 09 - Estrutura da base de dados do OOAF Monitor.....	33
Figura 10 - Blocos da ação de salvar um exercício.....	34
Figura 11 - Telas de histórico e detalhe de exercício.....	35
Figura 12 - Telas de realização de exercício.....	38
Figura 13 - Visualização do histórico do paciente pelo profissional.....	40
Figura 14 - Bloco de carregamento dos exercícios de forma ordenada.....	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparativo entre dados transmitidos e recebidos..... 39

LISTA DE SIGLAS

BLE	Bluetooth Low Energy
COFFITO	Conselho Federal de Fisioterapia e Terapia Ocupacional
CREFITO	Conselho Regional de Fisioterapia e Terapia Ocupacional
DCNT	Doenças Crônicas Não Transmissíveis
DCP	Discinesia Ciliar Primária
DP	Drenagem Postural
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
DRC	Doenças Respiratórias Crônicas
DS	Design Science
DSR	Design Science Research
FC	Fibrose Cística
FR	Fisioterapia Respiratória
IoT	Internet das Coisas
JSON	JavaScript Object Notation
noSQL	Not Only SQL
mHealth	Mobile Health
OOAF	Oscilação Oral de Alta Frequência
PEP	Pressão Expiratória Positiva
RGE	Refluxo Gastroesofágico
UML	Unified Modeling Language
UTI	Unidade de Terapia Intensiva
UUID	Identificador Único Universal
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 Problema.....	11
1.2 Hipótese.....	11
1.3 Justificativa.....	11
1.4 Objetivo Geral.....	12
1.5 Objetivos Específicos.....	12
1.6 Trabalhos Correlatos.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Doenças respiratórias Crônicas.....	15
2.2 Fisioterapia Respiratória.....	17
2.2.1 Oscilação Oral de Alta Frequência.....	19
2.3 MHealth.....	20
3 METODOLOGIA.....	22
3.1 Caracterização da Pesquisa e Abordagem Metodológica.....	22
3.2 Etapas.....	24
3.2.1 Desenvolvimento do Modelo.....	25
3.2.2 Protótipo do Middleware.....	26
3.2.3 Design do Protótipo de Telas.....	29
3.2.4 Desenvolvimento do APP.....	30
3.2.5 Teste e Avaliação.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
6. REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICE A – Código do middleware para simulação nos testes.....	47
APÊNDICE B – Algoritmo para ordenação do histórico de exercícios.....	51

1 INTRODUÇÃO

As doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) são uma das principais causas de morte em todo o mundo, sendo doenças respiratórias crônicas (DRC) a terceira causa de morte no mundo em 2017, ficando atrás de doenças cardiovasculares e os cânceres (SORIANO et al., 2020). Afeta principalmente populações de baixa renda que têm menos acesso aos serviços de saúde, medicamentos e além de que estão mais expostas a fatores de riscos como o tabagismo (MALTA et al., 2017).

Como exemplo de DRC, a discinesia ciliar primária (DCP) é uma doença hereditária que causa anormalidades nos cílios, prejudicando a função ciliar e o transporte mucociliar, o que leva a infecções respiratórias recorrentes e doenças obstrutivas crônicas do trato respiratório. O tratamento envolve um atendimento multidisciplinar com antibióticos, imunizações e fisioterapia respiratória (FR) (SANTOS et al., 2001).

Considerando a produção diária de muco espesso e as recorrentes infecções, a fisioterapia respiratória tem uma grande importância no tratamento da doença, visando desobstruir as vias aéreas, melhorar o condicionamento físico e proporcionar maior qualidade de vida (PARAZZI, 2019; PRADO, 2011). Portanto, considerando a alta prevalência e mortalidade das doenças respiratórias crônicas, a implementação de programas de fisioterapia respiratória é de extrema relevância. Essa abordagem terapêutica não só melhora os desfechos clínicos dos pacientes, como também contribui para a redução dos custos associados ao tratamento dessas condições, aliviando o ônus sobre os sistemas de saúde (DUARTE; SILVA; SILVA, 2007; SCANLAN; MYSLINSKI, 2000).

A Oscilação Oral de Alta Frequência (OOAF) é um método que utiliza dispositivo que se assemelha há um cachimbo combina pressão positiva na expiração com vibrações rápidas produzidas mecanicamente utilizado na FR que facilita a expectoração e combate o acúmulo de secreções. No entanto, ao analisar os tratamentos fisioterapêuticos realizados com dispositivos de OOAF, percebe-se a ausência de um método preciso para monitorar o esforço empregado pelos pacientes durante os exercícios, tornando essencial a presença de um fisioterapeuta

para garantir a utilização correta do dispositivo. Essa limitação é particularmente preocupante em pacientes com doenças respiratórias crônicas, que necessitam de um acompanhamento rigoroso e contínuo para garantir a eficácia do tratamento.

Em regiões com acesso limitado a serviços de saúde ou para pacientes que realizam o tratamento em casa, essa dependência pode resultar em subutilização ou uso inadequado do aparelho de OOAF, comprometendo os resultados do tratamento e, potencialmente, agravando as condições respiratórias.

Este trabalho é a segunda parte de um projeto maior dividido em três partes sendo, a primeira o desenvolvimento do design e dispositivo *middleware* acoplado que fará as medições de operação do Shaker, um dispositivo de OOAF; A segunda parte discute o gerenciamento da fisioterapia respiratória utilizando dispositivos de OOAF; a terceira parte consiste na gamificação da fisioterapia.

1.1 Problema

Os dispositivos de OOAF não possuem mecanismos integrados de monitoramento capazes de registrar, analisar ou transmitir dados sobre sua operação. Essa limitação impede a avaliação objetiva do desempenho terapêutico e compromete a continuidade e a eficácia do tratamento em ambientes domiciliares, onde não há supervisão direta de um profissional de saúde.

1.2 Hipótese

Com um aplicativo móvel integrado a um *middleware* capaz de monitorar em tempo real a frequência de operação de dispositivos OOAF, será possível fornecer dados objetivos sobre o desempenho terapêutico, permitindo acompanhamento remoto por profissionais de saúde e favorecendo maior eficácia e continuidade do tratamento domiciliar.

1.3 Justificativa

O dispositivo de OOAF é um recurso vibratório utilizado na fisioterapia respiratória para a mobilização de secreções do aparelho respiratório, desempenhando um papel essencial no tratamento de doenças respiratórias crônicas, como a discinesia ciliar primária, uma condição caracterizada por produção excessiva de muco. Embora seja eficaz na sua função principal, não possui uma forma precisa de medição do esforço realizado pelo paciente durante o uso. Essa

imprecisão pode impactar a eficácia do tratamento, uma vez que, sem dados concretos, é difícil garantir que o paciente esteja utilizando o dispositivo de maneira adequada.

Atualmente, para garantir o uso correto destes dispositivos, é necessária a supervisão contínua de um fisioterapeuta, que possa avaliar o esforço do paciente e fornecer orientações conforme necessário. Esse cenário, no entanto, nem sempre é viável, especialmente em situações onde o paciente não tem acesso frequente a um fisioterapeuta.

Um estudo publicado em maio de 2025 pelo Centro de Tecnologia de Informação Aplicada da Escola de Administração de Empresas de São Paulo (MEIRELLES, 2025) revelou que no Brasil existem cerca de 272 milhões de celulares inteligentes ativos, equivalente a 1,3 *smartphones* por habitante. A integração de aplicativos de monitoramento de saúde com esses dispositivos pode alcançar uma grande parte da população, oferecendo novas oportunidades para melhorar a adesão a tratamentos e otimizar o manejo de doenças crônicas, como as respiratórias.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um aplicativo de *smartphone* que se integre ao aparelho de OOAF para monitorar e fornecer medições precisas do esforço do paciente surge como um avanço significativo na autonomia dos pacientes. Tal ferramenta poderia não apenas melhorar a adesão ao tratamento e proporcionar informações valiosas para os profissionais de saúde, mas também permitir um manejo mais eficaz das doenças respiratórias crônicas.

1.4 Objetivo Geral

Desenvolver um aplicativo móvel integrado a um *middleware* baseado em ESP32 para monitorar e registrar a frequência de operação de dispositivos de OOAF.

1.5 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento de requisitos e a modelagem de dados;
- Desenvolver o protótipo de interface gráfica da aplicação móvel;
- Implementar a comunicação entre o ESP32 e a aplicação móvel;

- Realizar testes de integração para garantir a precisão das medições e a estabilidade do sistema;

1.6 Trabalhos Correlatos

A busca por trabalhos correlatos teve como propósito identificar pesquisas e tecnologias relacionadas ao monitoramento de dispositivos de OOAF e à fisioterapia respiratória. Para isso, realizou-se uma pesquisa sistemática em bases como Google Scholar, SciELO, PubMed. O intervalo temporal de 2019 a 2024 foi adotado por abranger estudos mais recentes. Também foram utilizados descritores em português relacionados a OOAF, fisioterapia respiratória e monitoramento fisioterapêutico, escolhidos por representarem diretamente os pilares do estudo.

Para identificar os trabalhos mais relevantes e alinhados ao escopo deste projeto, foram definidos critérios de inclusão e exclusão. Entre os critérios de inclusão, foram considerados estudos publicados no período estabelecido, disponíveis integralmente e que abordassem dispositivos de fisioterapia respiratória, monitoramento de parâmetros vibratórios ou integração com microcontroladores e aplicativos móveis. Por outro lado, foram excluídos materiais sem acesso ao texto completo, estudos puramente clínicos sem abordagem tecnológica e pesquisas sem relação direta com fisioterapia respiratória, bem como publicações anteriores a 2019.

Foram selecionados três estudos para compor os trabalhos correlatos, escolhidos por apresentarem relação direta com o monitoramento de dispositivos de OOAF e com o desenvolvimento de tecnologias aplicadas à fisioterapia respiratória. Esses trabalhos abordam soluções que envolvem medição de frequência vibratória, integração com microcontroladores e propostas de dispositivos voltados à mobilização de secreções, oferecendo uma base sólida para comparação e contextualização da solução desenvolvida neste projeto.

O colete vibratório mobilizador de secreção pulmonar (SONODA et al., 2021) foi desenvolvido para auxiliar pacientes com fibrose cística na eliminação de secreções pulmonares. Embora ambos os dispositivos tenham o objetivo de mobilizar secreções, o colete utiliza motovibradores de massagem e um aplicativo controlado via internet.

O trabalho de Raissa Castro (2019) desenvolveu um dispositivo que utiliza um sensor de efeito Hall linear para detectar vibrações oscilatórias no Accapella e

converter os campos magnéticos em sinais elétricos, fornecendo *feedback* visual ao paciente por meio de um aplicativo. Isso visa melhorar a força do sopro e a eficácia do tratamento. No entanto, o dispositivo é limitado a aparelhos que usam ímãs e não armazena dados históricos para acompanhamento, focando apenas no *feedback* visual em tempo real para paciente e fisioterapeuta.

Já o estudo de Andreza Costa Nascimento (2022) propõe o desenvolvimento de um frequencímetro digital voltado ao monitoramento de sessões de fisioterapia respiratória com o uso de dispositivos de Oscilação Oral de Alta Frequência (OOAF). Para isso, foi utilizado o microcontrolador ESP32 em conjunto com um sensor de efeito Hall, possibilitando a medição precisa da frequência de operação do dispositivo OOAF Acapella. O foco do trabalho está em desenvolver um dispositivo sensor para medir a frequência de operação do dispositivo Accapella, sem armazenar essas medições e manter um histórico dos exercícios realizados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para este trabalho foram trabalhadas as seguintes categorias teóricas: doenças respiratórias crônicas, fisioterapia respiratória, terapia com dispositivos de oscilação oral de alta frequência e *mHealth*.

2.1 Doenças respiratórias Crônicas

As doenças respiratórias crônicas (DRC) definem um grupo de enfermidades que afetam o sistema respiratório, desde as vias aéreas superiores até os pulmões. Elas representam um dos mais urgentes e crescentes desafios para a saúde pública em escala global. Entre as condições mais prevalentes, destacam-se a asma, a rinite alérgica e a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), que impactam centenas de milhões de indivíduos de todas as idades e nacionalidades (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

A gravidade das DRCs é evidenciada por sua posição entre as principais causas de mortalidade mundial. Soriano et al. (2020) aponta que em 2017, as doenças respiratórias crônicas foram responsáveis pela terceira maior causa de óbitos, superadas apenas por doenças cardiovasculares e neoplasias. Essa estatística enfatiza a necessidade de estratégias eficazes de prevenção, diagnóstico e tratamento.

Os sintomas das DRCs são variados e, frequentemente, se manifestam de forma persistente, impactando significativamente a qualidade de vida dos pacientes. Sintomas como hemoptise, caracterizada pela presença de sangue nos vasos da traqueia, brônquios ou pulmões; a sibilância (ou chiado); dor torácica; taquipneia e dispneia; tosse, em particular, é considerado como um dos sintomas mais comuns e perturbadores, podendo ser classificada de acordo com sua duração e características (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

O Ministério da Saúde (2010) categoriza a tosse como aguda (até três semanas), subaguda (três a oito semanas) ou crônica (mais de oito semanas), podendo ser seca ou produtiva e representa um sintoma respiratório crônico prevalente, que pode se manifestar isoladamente ou em conjunto com outras alterações do sistema respiratório. A sua causa pode ser vasta, abrangendo desde condições benignas como resfriados comuns e alergias, até patologias mais sérias

como bronquite crônica, asma, DPOC, refluxo gastroesofágico (RGE) e, em casos mais graves, tuberculose ou neoplasias.

Segundo orientações do Ministério da Saúde (2010), a avaliação do escarro assume um papel fundamental no diagnóstico diferencial e na definição do tratamento mais adequado, sendo necessário observar características como volume, aspecto, coloração e odor, uma vez que essas variáveis refletem importantes alterações no estado clínico do paciente. O órgão ressalta que secreções purulentas ou mucopurulentas, especialmente quando apresentam tonalidade amarelada ou esverdeada, costumam estar associadas a processos infecciosos em diferentes estágios de evolução.

Uma característica comum e frequentemente debilitante em muitas dessas condições é a produção excessiva ou acúmulo de secreções nas vias aéreas. Condições como a fibrose cística (FC), DPOC, e discinesia ciliar primária frequentemente apresentam essa hipersecreção de muco.

A FC é uma doença genética hereditária, crônica e potencialmente letal. Ela compromete o funcionamento de múltiplos órgãos e sistemas do corpo, sendo as complicações pulmonares as principais causas de morbidade e mortalidade (MCCORMACK; BURNHAM; SOUTHERN, 2017). A doença é causada pela disfunção genética que leva à produção de muco espesso e pegajoso nas vias aéreas, e bloqueia os canais, prejudica a depuração mucociliar e o funcionamento normal dos pulmões, e cria um ambiente propício para infecções crônicas e inflamações. Essa retenção de secreções nas vias aéreas pode resultar em perda progressiva da função pulmonar e diversas complicações (CANTIN et al., 2015).

Atualmente, não existe cura para a FC, mas o tratamento é realizado por uma equipe multidisciplinar, e a boa adesão ao plano terapêutico tem aumentado significativamente a sobrevida dos pacientes. A fisioterapia respiratória é um componente fundamental do manejo, sendo iniciada logo após o diagnóstico e parte da rotina diária do paciente (PRADO , 2011).

A doença pulmonar obstrutiva crônica é caracterizada por uma limitação do fluxo aéreo, parcialmente reversível e progressiva, associada a uma resposta inflamatória anormal dos pulmões à inalação de partículas ou gases tóxicos, causada primariamente pelo tabagismo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010). A

Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia (2004) afirma que DPOC está ligada a uma resposta inflamatória pulmonar atípica, desencadeada pela inalação de partículas ou gases nocivos, sendo o tabagismo sua principal causa. Pacientes com DPOC podem apresentar tosse crônica e expectoração regular. As exacerbações da doença incluem aumento na expectoração e tosse, bem como alteração da viscosidade e cor do escarro (LIEBANO et. al, 2009).

A DPOC é uma enfermidade respiratória que é prevenível e tratável. O tratamento deve ser multifacetado, visando não apenas aliviar os sintomas e melhorar a qualidade de vida, mas também prevenir a progressão da doença, otimizar a tolerância aos exercícios (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010; SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA, 2004).

Discinesia ciliar primária é uma doença hereditária que compromete a atividade ciliar normal, predispondo a infecções respiratórias repetidas e resultando em doença obstrutiva crônica. Pode apresentar rinite, sinusite, otite média de repetição, e tosse produtiva crônica com expectoração purulenta abundante. O tratamento inclui fisioterapia respiratória por meio de drenagem postural para auxiliar na eliminação das secreções (SANTOS et al., 2001).

As DRC representam um desafio significativo para milhões de indivíduos. Condições como DPOC, FC e DCP impõem restrições à função respiratória, manifestando-se através de dispneia, tosse persistente e fadiga. Adicionalmente, a progressão dessas enfermidades acarreta um aumento na frequência de exacerbações e hospitalizações, consequentemente promovendo em uma menor qualidade e expectativa de vida.

O acúmulo de muco pode levar a obstrução das vias aéreas, infecções recorrentes e inflamação, comprometendo significativamente a função pulmonar e a qualidade de vida dos pacientes. Nesse cenário, a fisioterapia respiratória assume um grande papel no tratamento dessas condições.

2.2 Fisioterapia Respiratória

A fisioterapia é definida como uma ciência aplicada que tem como objeto de estudo o movimento humano em todas as suas formas de manifestação, considerando tanto suas alterações patológicas quanto suas repercussões psíquicas

e orgânicas, com o propósito de preservar, manter, desenvolver ou restaurar a integridade de órgãos, sistemas e funções (COFFITO, 1987).

Sendo assim, a fisioterapia respiratória é uma área da fisioterapia definida pelo Hospital Israelita Albert Einstein (2020) como:

[...] um conjunto de técnicas manuais que podem ser preventivas ou curativas e tem como objetivo mobilizar secreções, melhorar oxigenação do sangue, promover reexpansão pulmonar, diminuir o trabalho respiratório, reeducar a função respiratória e prevenir complicações.

Essa prática é realizada pelo fisioterapeuta em diferentes ambientes, incluindo Unidades de Terapia Intensiva (UTI), e pode ser aplicada mesmo quando o paciente está entubado e necessita de ventilação mecânica para suportar a função respiratória (PARAZZI, 2019). A terapia deve ser adaptada conforme a idade, condição clínica do paciente, disponibilidade de recursos e a experiência do fisioterapeuta. O foco principal é garantir que as vias respiratórias permaneçam livres de secreções, o que ajuda a reduzir o risco de infecções pulmonares e melhora a função pulmonar. A personalização do tratamento é crucial para otimizar os resultados (ROMERO *et al.* 2017).

Diniz (2019) define as técnicas passivas na fisioterapia respiratória como um conjunto de manobras manuais não invasivas que têm como principal objetivo o desprendimento e a mobilização de secreções retidas nas vias aéreas. Destacam-se as técnicas de drenagem postural (DP), com finalidade de desobstrução das vias aéreas através da postura e inclinação, que pode variar de acordo com a área a ser drenada, se aproveita da ação da gravidade para o deslocamento do excesso de secreção; a tapotagem ou percussão torácica, sendo uma manobra realizada com as mãos, com movimentos ritmados capaz de gerar energia mecânicas com objetivo de deslocar o muco das paredes brônquicas; e a vibração torácica que consiste em um movimento oscilatório rítmico aplicado sobre o tórax do paciente, com o objetivo de remover secreções pulmonares de volume significativo e de difícil mobilização em pacientes com doenças obstrutivas a partir de uma frequência vibratória do tremor das mãos. Contudo, mensurar a frequência ideal e o tempo suficiente para a eficácia dos efeitos ainda representa um desafio.

A pressão expiratória positiva (PEP) é uma técnica onde o paciente expira contra uma resistência, promovendo aumento do volume pulmonar, redução da hiperinsuflação e melhoria na desobstrução das vias aéreas. Existem diversos

dispositivos para esse fim, cada um baseado em diferentes mecanismos fisiológicos. A oscilação oral de alta frequência (OOAF) é uma variação que utiliza PEP oscilante e é amplamente utilizada na fisioterapia respiratória, especialmente para mobilização e eliminação de secreções brônquicas, sendo um recurso importante para melhorar a função respiratória (FAGEVIK OLSÉN; LANNEFORS; WESTERDAHL, 2015).

Destacam-se o Flutter, Acapella e o Shaker como dispositivos de OOAF. Esses dispositivos são projetados para gerar pressão tanto no interior quanto no exterior do corpo, com o objetivo de mobilizar as secreções, facilitando sua remoção e, por conseguinte, auxiliando no processo de desobstrução das vias respiratórias.

2.2.1 Oscilação Oral de Alta Frequência

Os dispositivos que combinam OOAF e PEP, como o Shaker, ilustrado na Figura 01 e Flutter, internamente, apresentam um cone plástico, semelhante a um cachimbo, que abriga uma esfera de aço inoxidável de alta densidade.

Figura 01 - Modelo Shaker Medic Plus

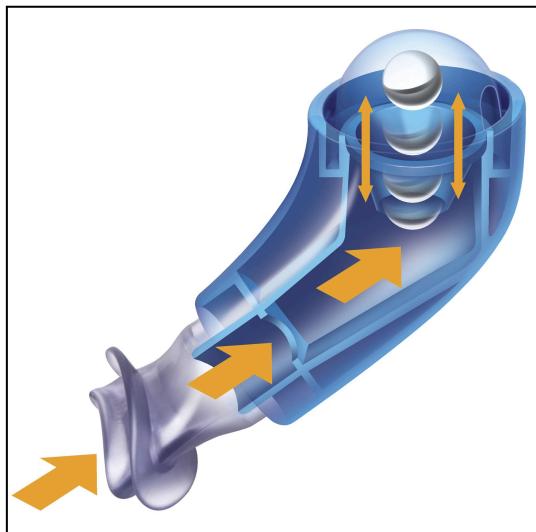


Fonte: NCS do Brasil (2025)

O mecanismo de ação do “cachimbo” é baseado na variação de pressão positiva entre 10 e 25 cm H²O, associada à variação de frequências de oscilações do fluxo aéreo entre 2 e 32 Hz (FINK, 2022). Essa oscilação, gerada por movimentos alternados de fechamento e abertura do orifício de saída de ar pela bola de aço (Figura 2), transmite pressão oscilatória, em onda, até a caixa torácica e árvore brônquica do paciente, funcionando como micro tosses aumentando temporariamente o fluxo aéreo e promovendo a movimentação das secreções,

sendo essencial para a manutenção da função pulmonar em pacientes com doenças respiratórias crônicas (PARAZZI, 2019).

Figura 02 - Funcionamento do Shaker



Fonte: NCS do Brasil (2025)

A intervenção fisioterapêutica, por meio de técnicas de higiene brônquica e dispositivos específicos, é fundamental para a mobilização e eliminação de secreções em diversas dessas patologias, como demonstrado pelo uso do Shaker e Flutter que visam facilitar a expectoração e combater o acúmulo de secreções.

2.3 *MHealth*

A telemedicina, conforme definida pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021), consiste na prestação de serviços de saúde por profissionais em situações onde a distância é um obstáculo. Para isso, são empregadas tecnologias de informação e comunicação que possibilitam a troca de dados relevantes, visando diagnósticos, tratamentos e prevenção de doenças. A telemedicina oferece, também, suporte à pesquisa, avaliação e educação continuada dos profissionais da área.

A telemedicina é uma prática que utiliza tecnologias de comunicação para oferecer cuidados à saúde à distância, especialmente em situações onde a presença física do paciente e do profissional de saúde não é possível ou eficiente. A partir da década de 1990, com o avanço das tecnologias digitais, as aplicações médicas a distância se expandiram significativamente e novos termos surgiram, como o *mobile health (mHealth)* (MEDEIROS et al., 2017).

O termo *mHealth* é compreendido como uma subcategoria de *electronic health* (*eHealth*), que envolve o uso de dispositivos eletrônicos aplicados ao suporte, monitoramento ou aprimoramento das práticas de saúde. Especificamente, *mHealth* refere-se à utilização de tecnologias móveis, como smartphones, tablets, sensores e dispositivos vestíveis, para oferecer serviços e possibilitar o monitoramento em saúde (DICIANNO et al., 2015; WHO, 2018).

Seu principal objetivo é ampliar o acesso à informação e aos serviços de saúde, promovendo o bem-estar pessoal, a prevenção de doenças, a gestão de doenças crônicas e a eficiência nos cuidados de saúde. Essa abordagem permite monitoramento contínuo, comunicação em tempo real entre pacientes e profissionais de saúde, além de facilitar intervenções diversas, como lembretes de medicação, acompanhamento de condições vitais, prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças de forma remota (MEDEIROS et al., 2017; WHO, 2013).

Ali, Chew e Yap (2016), apresenta uma revisão sistemática que investiga a evolução das pesquisas em *mHealth* acompanhando os avanços nos dispositivos móveis. A análise abrange 515 estudos publicados até 2015, revelando três fases distintas: inicialmente, o uso predominante de PDAs antes de 2007; em seguida, a adoção de celulares básicos entre 2007 e 2012; e, mais recentemente, o uso crescente de dispositivos inteligentes, como smartphones e tablets. Apesar do aumento do interesse por doenças infecciosas e saúde materno-infantil nos últimos anos, as doenças crônicas não transmissíveis permanecem como principal foco. Os autores concluem que, diante da rápida expansão tecnológica e da ampla penetração dos dispositivos móveis, o campo de *mHealth* tende a crescer, contribuindo para a ampliação do acesso aos cuidados em saúde, especialmente em contextos com recursos limitados.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia que guiou o processo de construção do conhecimento sobre o objeto deste trabalho.

3.1 Caracterização da Pesquisa e Abordagem Metodológica

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste trabalho foi a *Design Science* (DS), escolhida devido à natureza tecnológica da pesquisa e ao seu foco na resolução de problemas práticos por meio da criação e inovação de artefatos. Essa abordagem permitiu a concepção, o desenvolvimento e a avaliação da solução proposta com ênfase no design.

Segundo Vaishnav e Kuechler (2015), a DS é caracterizada pela geração de conhecimento a partir do design, análise, reflexão e abstração. Para Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), trata-se de uma ciência voltada à criação e ao aperfeiçoamento de soluções para problemas reais, por meio do desenvolvimento de artefatos que otimizam o desempenho humano em contextos sociais e organizacionais. Nessa mesma linha, Simon (1996) destaca que a DS se preocupa com o que deveria ser, ao propor artefatos que conduzam a um estado desejado. Para assegurar que a metodologia cumpra seu papel, a DS utiliza o método *Design Science Research* (DSR), que fundamentou esta pesquisa.

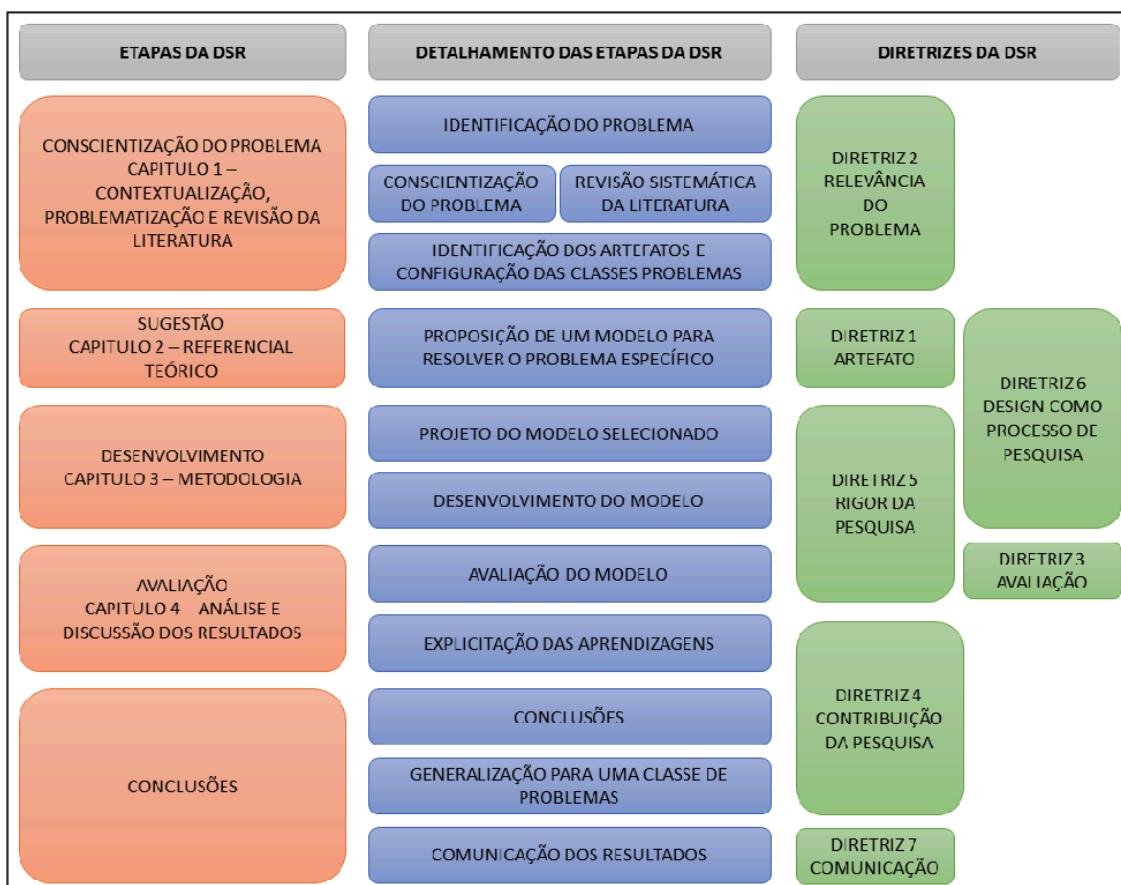
Hevner e Chatterjee (2010) propõem sete diretrizes fundamentais para garantir a validade e a relevância de uma pesquisa baseada em DS:

- Construção de um artefato viável e concreto, como constructos, modelos, métodos ou instâncias com foco na solução do problema em questão;
- Desenvolvimento de tecnologias baseadas em soluções para problemas importantes e relevantes;
- Avaliação da utilidade, qualidade e eficácia do artefato;
- Contribuição relevante para as áreas de artefatos de design, fundamentos e metodologias;
- Aplicação de métodos rigorosos no processo de construção e avaliação;

- Uso eficiente dos recursos disponíveis, considerando o contexto específico do problema;
- Comunicação eficaz dos resultados da pesquisa a diferentes públicos, adaptando a apresentação ao perfil da audiência.

Para facilitar a aplicação dessas diretrizes, o DSR é estruturado em fases bem definidas: conscientização do problema, sugestão, desenvolvimento e avaliação. Conforme descrito por Dresch, Lacerda e Antunes Jr. (2015), essas etapas são apresentadas de forma detalhada, orientando a condução sistemática da pesquisa.

Figura 03 - Etapas da DSR e suas diretrizes



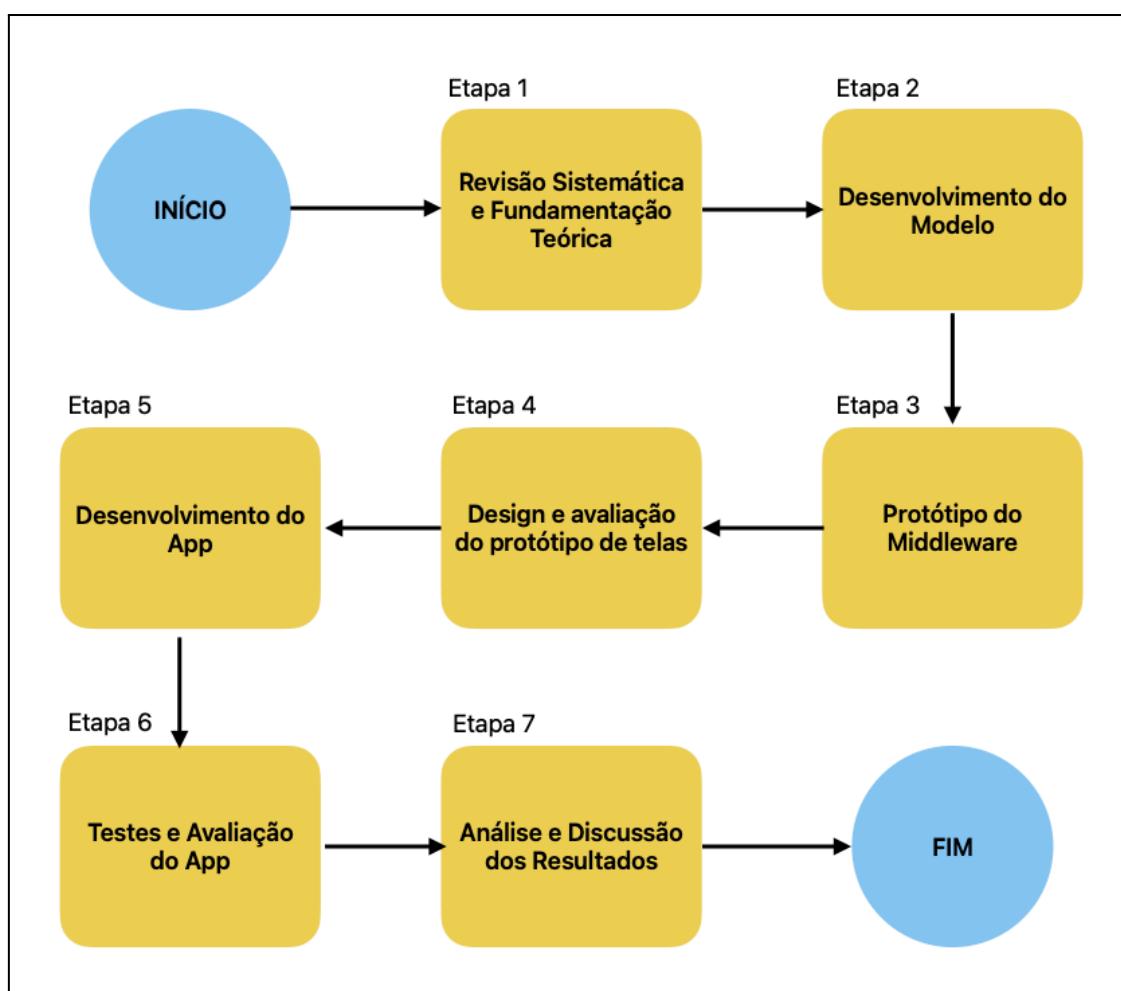
Fonte: MOURA JÚNIOR, 2020, p. 48.

A Figura 03 apresenta a organização em capítulos para a estruturação de trabalhos científicos baseados na metodologia *Design Science* (DS), relacionando também as fases do *Design Science Research* (DSR) e suas respectivas diretrizes.

3.2 Etapas

Segundo Lacerda et al. (2013), o método DSR busca demonstrar e justificar os procedimentos utilizados para fortalecer a confiabilidade do artefato e de seus resultados. Dessa forma, com o objetivo de atender às diretrizes da DSR foram elaboradas sete etapas para esta pesquisa, sendo elas: revisão sistemática e bases teóricas; desenvolvimento do modelo; protótipo do *middleware*; design e avaliação do protótipo de telas; desenvolvimento do app; teste e avaliação; e análise e discussão dos resultados.

Figura 04 - Etapas da pesquisa



Fonte: Autor

O primeiro capítulo consistiu em uma pesquisa sobre o estado da arte do tema, com o objetivo de identificar estudos que apresentassem abordagens semelhantes. Já no segundo capítulo, foram abordadas as categorias de doenças respiratórias crônicas, fisioterapia respiratória, terapia com dispositivos de oscilação

oral de alta frequência e *mHealth*, que serviram como fundamentação teórica para este estudo. Esses dois capítulos fazem parte da etapa inicial da pesquisa.

3.2.1 Desenvolvimento do Modelo

O modelo proposto consiste em uma aplicação com o objetivo de gerenciar terapias de OOAF. Essa aplicação se conecta a um *middleware*, responsável pela captura e interpretação da frequência de operação do dispositivo de OOAF, o qual está sendo desenvolvido em um projeto paralelo. No contexto deste trabalho, entretanto, foi implementado um *middleware* simulador, que gera dados aleatórios para representar o comportamento esperado em um ambiente real de monitoramento. Esses dados são transmitidos via *Bluetooth* para a aplicação, que realiza o recebimento, processamento e armazenamento das informações, permitindo o teste e a validação das funcionalidades implementadas.

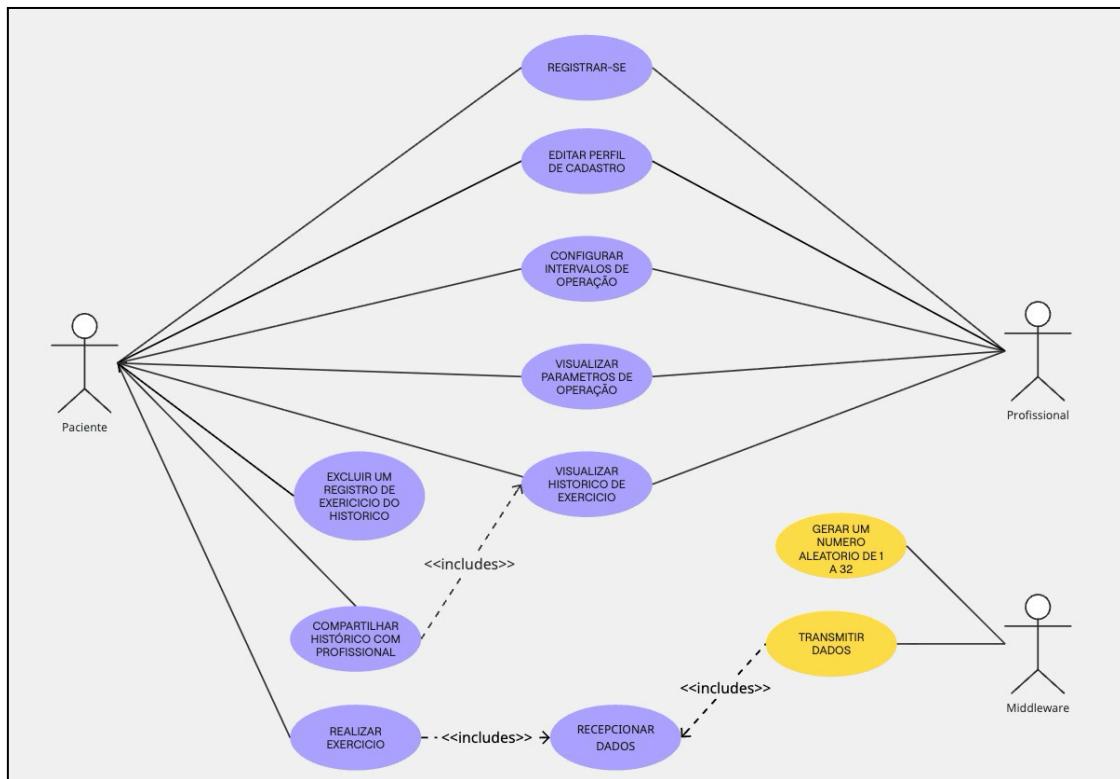
Como mencionado anteriormente, de acordo com Meirelles (2025), o Brasil possui aproximadamente 272 milhões de *smartphones* ativos. Embora o estudo não apresente valores absolutos por sistema operacional, ele aponta que o Android é a plataforma predominante entre os dispositivos utilizados pela população brasileira. Dessa forma, o desenvolvimento do aplicativo foi direcionado para o sistema Android, visando maior compatibilidade e alcance entre os usuários.

O aplicativo tem como função principal gerenciar os exercícios realizados, mantendo um registro individualizado para cada paciente. Esse registro inclui dados pessoais, como nome, peso, altura, data de nascimento, gênero e e-mail, além das medições coletadas durante os exercícios, que são armazenadas em um histórico acessível. Para utilizar essas funcionalidades, o paciente deve possuir um perfil cadastrado e estar autenticado no sistema.

Além disso, o sistema permite o compartilhamento das informações com um profissional previamente cadastrado, que pode acessar o aplicativo por meio de uma conta própria. Esse profissional tem a possibilidade de acompanhar o histórico dos pacientes sob sua supervisão e configurar intervalos de operação personalizados para cada um deles, de acordo com suas necessidades terapêuticas. Essa funcionalidade reforça o papel do fisioterapeuta, que deve reavaliar continuamente o paciente, ajustando e modificando as condutas terapêuticas conforme necessário para garantir a efetividade do tratamento e a adequação das intervenções ao

progresso clínico observado (COFFITO, 1987). Ela também facilita o monitoramento remoto, permitindo uma intervenção mais direcionada e contribuindo para uma avaliação mais precisa da evolução clínica.

Figura 05 - Diagrama de caso de uso do OOAF Monitor



Fonte: Autor

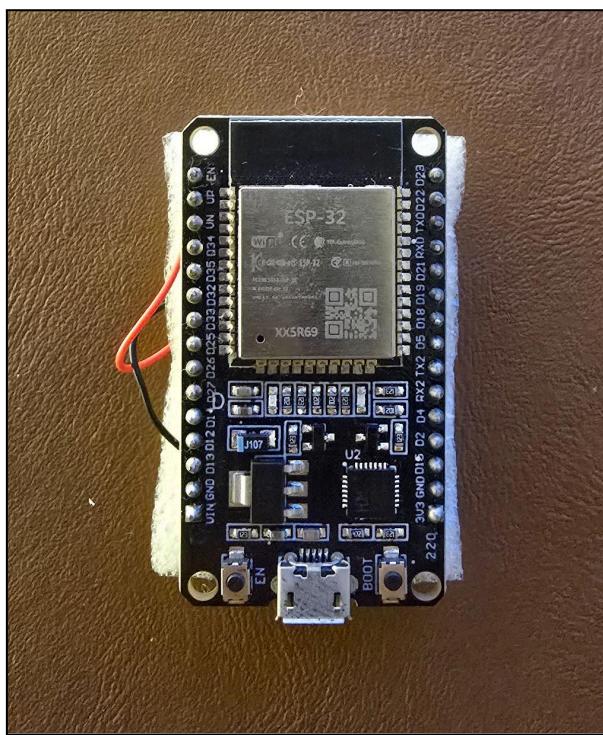
A Figura 05 apresenta o diagrama de casos de uso correspondente ao sistema, representando de forma visual as interações entre os principais atores e o aplicativo. O paciente desempenha o papel central, realizando exercícios, configurando intervalos de operação, visualizando e compartilhando seu histórico com o profissional de saúde. Esse terapeuta, por sua vez, atua como responsável pelo acompanhamento dos pacientes, podendo acessar e analisar seus registros para apoiar a tomada de decisões terapêuticas. O *middleware*, atuando como um simulador, transmite dados gerados aleatoriamente dentro de um intervalo definido para o aplicativo. Assim, o diagrama ilustra os principais casos de uso e os fluxos de interação que sustentam o funcionamento do sistema desenvolvido.

3.2.2 Protótipo do *Middleware*

O *middleware* pode ser definido como uma camada intermediária de software responsável por fazer a comunicação entre diferentes sistemas ou dispositivos,

permitindo que eles troquem informações de forma eficiente e padronizada (SOMMERVILLE, 2011). Neste projeto, o *middleware* foi implementado em um microcontrolador ESP32 (Figura 06), que atua como um simulador responsável por gerar e transmitir dados fictícios de forma aleatória, variando entre 2 e 32 Hz, faixa que representa as frequências de oscilação do fluxo aéreo de um dispositivo de OOAF (FINK, 2022). A transmissão ocorre por meio de *Bluetooth*, e os dados enviados servem como insumos de teste para o aplicativo, possibilitando a validação de suas funcionalidades de recepção, processamento e armazenamento das medições.

Figura 06 - ESP32



Fonte: Autor

Essa abordagem permite validar o funcionamento do aplicativo. No entanto, caso a solução fosse aplicada em um contexto real ou disponibilizada comercialmente, seria necessário substituir os valores simulados por medições reais. Nesse cenário, o ESP32 poderia ser acoplado a um sensor piezoelétrico, capaz de detectar vibrações mecânicas produzidas pelo dispositivo de OOAF e convertê-las em sinais elétricos proporcionais à intensidade da oscilação. Dessa forma, o middleware deixaria de atuar apenas como gerador de dados fictícios e passaria a exercer seu papel de ponte entre o sensor físico e o aplicativo,

transmitindo medições reais do exercício respiratório

A escolha do microcontrolador ESP32 para o desenvolvimento do protótipo se justifica por suas características técnicas e pelo excelente equilíbrio entre desempenho, custo e facilidade de integração. Amplamente utilizado em projetos de Internet das Coisas (IoT), automação e sistemas embarcados, o ESP32 oferece maior capacidade de processamento e tamanho reduzido se comparado ao popular Arduino Uno, além de baixo consumo de energia e conectividade *Wi-Fi* e *Bluetooth* integradas, o que elimina a necessidade de módulos externos.

A comunicação entre o ESP32 e o aplicativo móvel ocorre por meio de uma conexão *Bluetooth* de baixa energia, também conhecido como BLE (do inglês *Bluetooth Low Energy*). O BLE foi projetado para um consumo de energia significativamente menor. Isso se deve por oferecer menor largura de banda e entrar em modo de repouso quando não está sendo utilizado, diferente do *Bluetooth* clássico que se mantém sempre ativo, sendo ideal para transferência de pequenas quantidade de dados entre dispositivos próximos, como sensores, por exemplo (ANDROID OPEN SOURCE PROJECT, 2025). Normalmente, a comunicação entre dois dispositivos BLE conectados segue o modelo cliente/servidor. Nesse modelo, os servidores transmitem os dados, enquanto os clientes os utilizam para diversas finalidades (BLUETOOTH SIG, 2024).

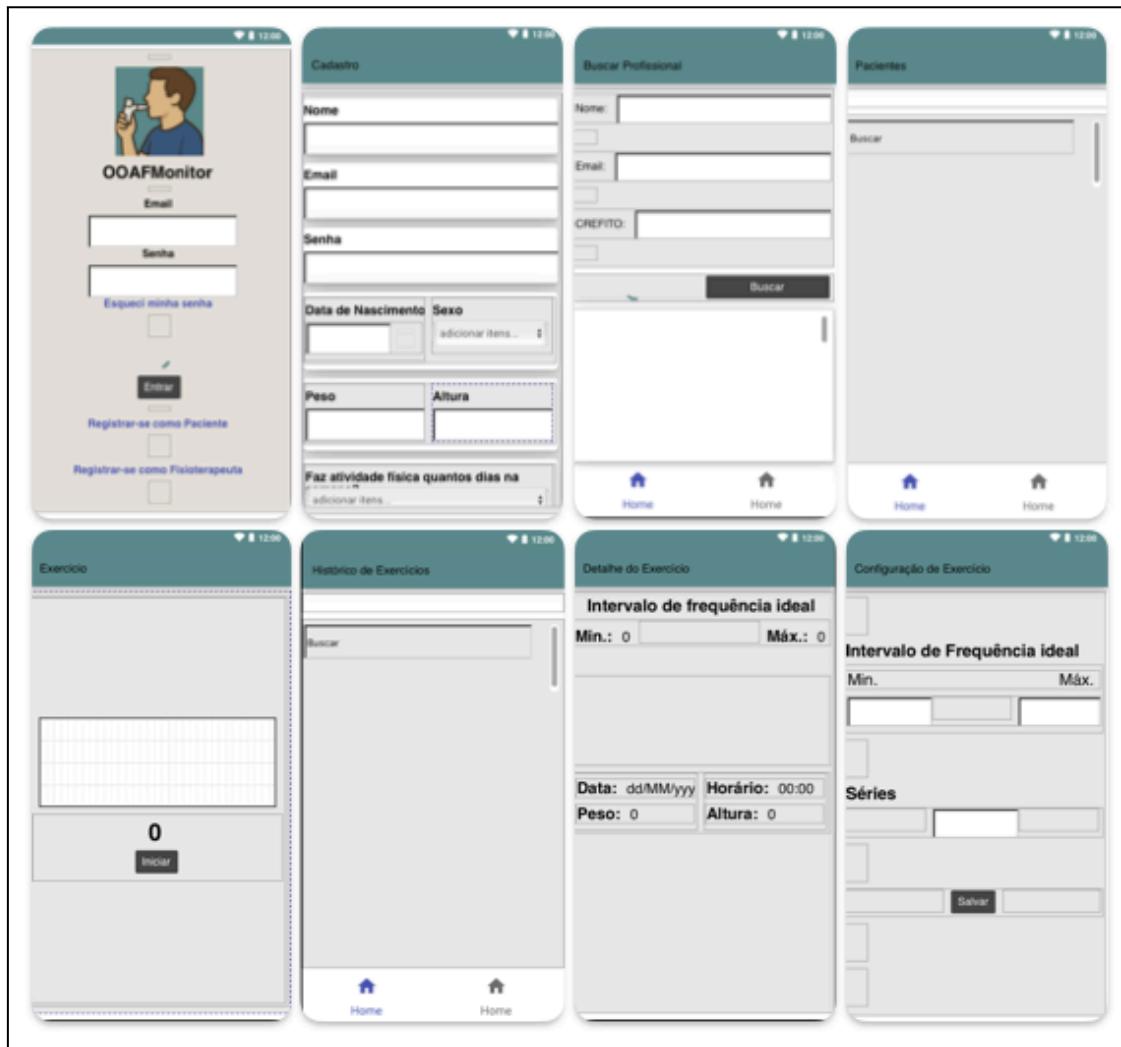
O código embarcado no microcontrolador ESP32 (ver Apêndice A) configura-o como um servidor BLE, responsável por disponibilizar um serviço identificado por um UUID (Identificador Único Universal) exclusivo. Dentro desse serviço é criado uma característica que permite o envio de notificações em tempo real ao aplicativo. Dessa forma, sempre que um novo valor é gerado, o microcontrolador notifica automaticamente o cliente conectado.

Durante a execução, o ESP32 transmite sua presença, anunciando-se como "OOAF Monitor", e aguarda o emparelhamento com o aplicativo. Após o estabelecido a conexão, o laço principal (*loop*) entra em operação, gerando valores aleatórios entre 2 e 32, simulando as frequências em *hertz* do dispositivo de OOAF. Esses dados são enviados a cada um segundo, permitindo o monitoramento contínuo no aplicativo. Em caso de falha na conexão, é realizado automaticamente uma nova tentativa de reconexão, garantindo a estabilidade da comunicação.

3.2.3 Design do Protótipo de Telas

O protótipo das telas (Figura 07) foi desenvolvido utilizando o Kodular, uma plataforma voltada à criação de aplicativos móveis para *Android*, inspirada no App Inventor, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). A ferramenta oferece uma ampla biblioteca de componentes e recursos de *design*, permitindo a construção visual e intuitiva das interfaces.

Figura 07 - Protótipo de Telas do OOAF Monitor



Fonte: Autor

A utilização do Kodular apresentou vantagens significativas, como a possibilidade de testar a navegação entre as telas diretamente em um *smartphone* por meio do aplicativo Kodular Companion, o que facilitou o processo de validação e ajustes do protótipo. Além disso, a escolha da mesma plataforma tanto para o

protótipo quanto para o desenvolvimento final do aplicativo permitiu aproveitar as telas criadas previamente, otimizando o tempo.

O nome “OOAF Monitor” foi escolhido para a aplicação em razão de seu propósito principal: monitorar os exercícios de fisioterapia respiratória baseados na OOAF. A denominação foi pensada de forma genérica, possibilitando o uso do aplicativo de maneira independente do dispositivo empregado, seja ele o Shaker, Flutter ou outro equipamento similar.

3.2.4 Desenvolvimento do APP

Neste trabalho, utilizou-se características do método ágil SCRUM, amplamente utilizado no desenvolvimento de *software* devido à sua flexibilidade e abordagem de entregas iterativas. Planejamento, ciclos de sprint e encerramento são as principais etapas desse método. O planejamento envolve a definição dos objetivos do projeto, a criação do *backlog*, como é chamada a lista de tarefas e detalhamento das tarefas. Em seguida, os *sprints* são ciclos de desenvolvimento, geralmente com duração de duas a quatro semanas, nos quais as tarefas do *backlog* são selecionadas e executadas. Ao final de cada *sprint*, uma nova versão funcional do sistema é apresentada, permitindo contínuos ajustes e melhorias. O projeto é finalizado no encerramento, quando todas as atividades planejadas são concluídas (SOMMERVILLE, 2011).

Foram utilizadas diversas ferramentas e tecnologias ao longo do desenvolvimento do projeto. A modelagem do sistema foi realizada por meio da linguagem *Unified Modeling Language* (UML). O Kodular foi a plataforma utilizada para a prototipação de telas e o desenvolvimento da aplicação móvel Android, enquanto o Arduino IDE foi empregado na programação do microcontrolador ESP32. O Firebase foi adotado como banco de dados e autenticação dos usuários. Para testes e validações, foi utilizado um *smartphone* Samsung Galaxy S24 Ultra.

Como dito anteriormente, a aplicação Android foi desenvolvida utilizando a plataforma Kodular, que permite a criação de interfaces e funcionalidades de forma modular e visual. Essa abordagem chamada de *no-code* permite criar aplicações de forma mais rápida utilizando interfaces visuais em blocos de “arrastar e soltar” e também tem fácil integração com o Firebase. Durante o desenvolvimento foram encontradas algumas limitações na plataforma que foram contornados com a

instalação de extensões disponíveis nas comunidades oficiais do Kodular e do MIT App Inventor.

A plataforma, baseada no paradigma *no-code*, permitiu uma prototipação e implementação aceleradas, garantindo foco na validação do modelo proposto e das funcionalidades essenciais do artefato. A interface visual em blocos viabilizou tanto a construção ágil da interface gráfica quanto a implementação da lógica interna do aplicativo, reduzindo significativamente o tempo necessário para a fase de desenvolvimento. Embora não utilize uma linguagem de programação textual tradicional, o Kodular mantém a exigência de raciocínio lógico, organização modular e compreensão de princípios fundamentais de programação. Assim, sua abordagem visual não simplifica o problema, mas sim otimiza o processo, permitindo que o desenvolvedor concentre esforços no comportamento do sistema, sem perder a complexidade conceitual própria do desenvolvimento de software.

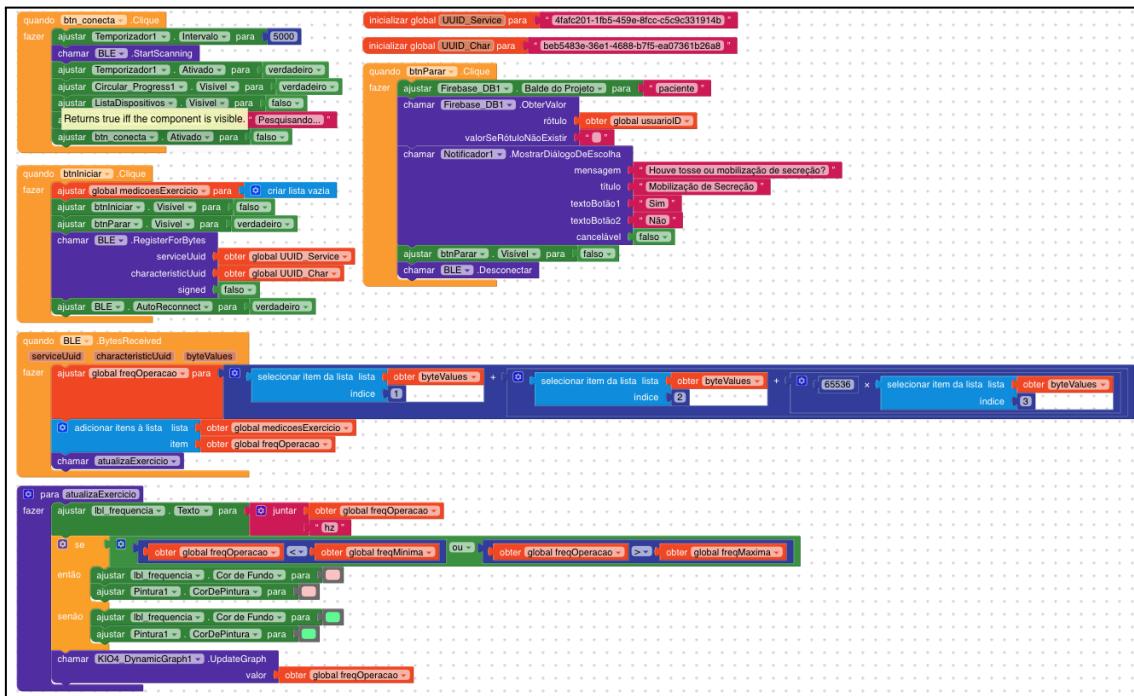
O Firebase é uma base de dados NoSQL, ou seja, não segue o modelo relacional tradicional baseado em tabelas, como os bancos SQL. Em vez disso, os dados são estruturados em um formato de árvore JSON (*JavaScript Object Notation*), permitindo maior flexibilidade no armazenamento e na organização das informações. Nesse modelo, a aplicação é responsável por gerenciar consultas, relações, restrições e atualizações. Por meio dele, são registradas tanto as informações pessoais dos pacientes e profissionais quanto os dados coletados durante as sessões de exercício, além do gerenciamento e autenticação de usuários utilizando o Firebase Authentication.

A priorização dos itens do *backlog* foi definida considerando a relevância de cada funcionalidade para o monitoramento dos exercícios. Inicialmente, foi desenvolvida a comunicação via BLE com o protótipo do *middleware*, permitindo que o aplicativo recebesse, exibisse e armazenasse os dados de frequência na base de dados. Em seguida, foi criada a tela de histórico de exercícios, seguida pela implementação do cadastro de usuários (paciente e profissional), *login* e autenticação, configuração dos parâmetros de exercício, compartilhamento do histórico com o terapeuta e, por último, a funcionalidade de edição de perfil.

A comunicação BLE foi configurada para que o aplicativo funcione como cliente, recebendo notificações em tempo real sempre que o ESP32, atuando como

servidor, gerar um novo valor de frequência de oscilação. O aplicativo realiza uma busca por dispositivos próximos e se conecta ao ESP32 caso identifique o serviço e as características definidas no *middleware* por meio de um UUID. Para lidar com conexões de BLE foi necessário a utilização da extensão “BluetoothLE” disponível no MIT App Inventor (2024), que também é compatível com a plataforma utilizada neste trabalho.

Figura 08 - Blocos da funcionalidade de comunicação via BLE com o ESP32



Fonte: Autor

A Figura 08 apresenta o funcionamento do algoritmo responsável pela comunicação BLE entre o aplicativo e o dispositivo ESP32. O processo inicia com a varredura e conexão ao dispositivo, com a ação do botão "Conectar". Após o início do exercício, o aplicativo passa a receber em tempo real os valores de frequência de oscilação transmitidos pelo ESP32, que são exibidos na tela, atualizando também um gráfico dinâmico. O componente de gráfico dinâmico utilizado nessa tela é fornecido por uma extensão chamada “KOI4 DynamicGraph” disponível na comunidade do MIT App Inventor (ANTONIO, 2021). As medições são armazenadas em uma lista e comparadas com limites pré configurados para indicar se estão dentro da faixa ideal. Os dados são registrados na base de dados e a conexão é encerrada.

Ao finalizar o exercício, um *popup* é exibido com uma pergunta ao usuário se houve mobilização de secreção. A pergunta sobre a mobilização de secreção tem como objetivo verificar se o exercício foi executado corretamente, servindo como um indicador da eficácia do tratamento. Essa informação permite avaliar se a frequência de operação configurada está adequada para o paciente, ajudando o profissional a ajustar os parâmetros terapêuticos de acordo com a resposta obtida durante o exercício.

Figura 09 - Estrutura da base de dados do OOAF Monitor

```

1  {
2    "configuracao": {
3      "6HNLBLnIxaXM2JpmxLumfRUh1jy1": {
4        "min": "12",
5        "max": "30",
6        "series": "2"
7      }
8    },
9    "exercicios": {
10      "6HNLBLnIxaXM2JpmxLumfRUh1jy1": {
11        "1751415904294": {
12          "datahora": "1751415904294",
13          "mobilizou": true,
14          "medicos": [13,25,40,30,32,33,32,32,33,32],
15          "peso": "80",
16          "altura": "180",
17          "configuracao": {
18            "max": "30",
19            "min": "25",
20            "series": "30"
21          }
22        }
23      }
24    },
25    "paciente": {
26      "6HNLBLnIxaXM2JpmxLumfRUh1jy1": {
27        "altura": "180",
28        "atvFisica": "1 dia",
29        "email": "teste@teste.com",
30        "genero": "Masculino",
31        "nascimento": "5/6/2000",
32        "nome": "Paciente Teste",
33        "peso": "80",
34        "atvFisica": "3 dias"
35      }
36    }
37  },
38  "profissional": {
39    "IZm900Eipsd9HfU9uch4xjQPbIf2": {
40      "crefito": "44646464646464",
41      "email": "pro@email.com",
42      "genero": "Masculino",
43      "nascimento": "1/6/2025",
44      "nome": "Terapeuta fulando"
45    }
46  },
47  "usuarios": {
48    "6HNLBLnIxaXM2JpmxLumfRUh1jy1": {
49      "id": "6HNLBLnIxaXM2JpmxLumfRUh1jy1",
50      "tipo": "paciente"
51    },
52    "IZm900Eipsd9HfU9uch4xjQPbIf2": {
53      "id": "IZm900Eipsd9HfU9uch4xjQPbIf2",
54      "tipo": "profissional"
55    }
56  },
57  "vinculoProfissional": {
58    "6HNLBLnIxaXM2JpmxLumfRUh1jy1": "IZm900Eipsd9HfU9uch4xjQPbIf2"
59  }
}

```

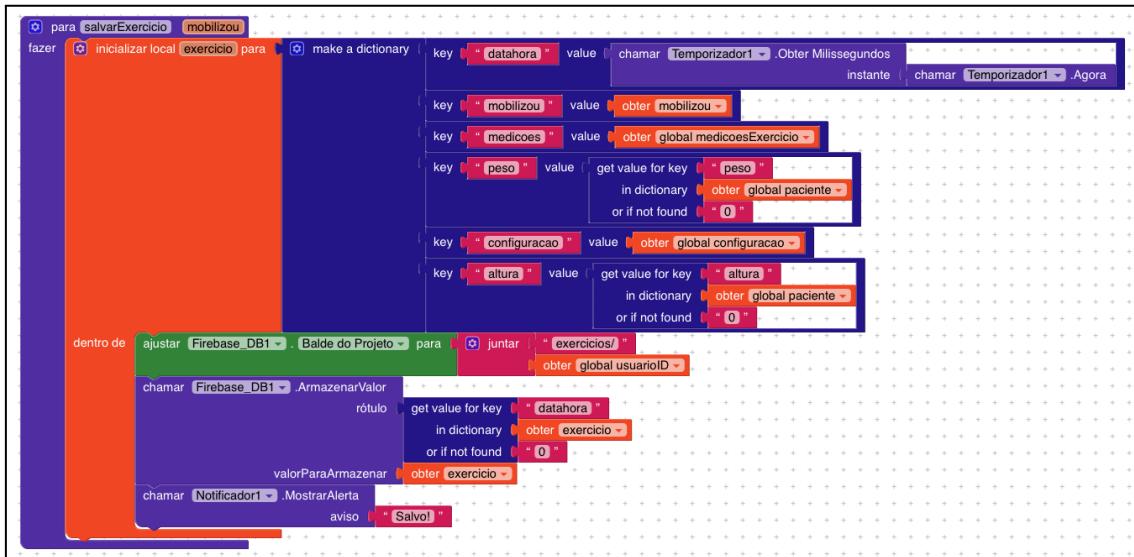
Fonte: Autor

A Figura 09 apresenta a estrutura de armazenamento utilizada no banco de dados da aplicação. Nela, é possível observar a organização hierárquica dos dados no formato JSON. Os nós raiz, também chamados de *bucket* no Firebase, funcionam como contêineres que agrupam os dados de cada funcionalidade, como configurações, exercícios e usuários. Abaixo do *bucket* encontra-se o identificador único do usuário responsável por aqueles dados. Essa estrutura foi adotada por facilitar as rotinas de busca e persistência de informações no Kodular.

No entanto, a plataforma, de forma nativa, só consegue recuperar os dados em formato de texto contínuo. Por essa razão, foi necessário utilizar a extensão “JsonToDictionary”, disponível na comunidade oficial do Kodular (TAMER, 2020).

Essa extensão permite converter o texto JSON em um objeto do tipo dicionário, tornando a manipulação dos dados significativamente mais simples.

Figura 10 - Blocos da ação de salvar um exercício



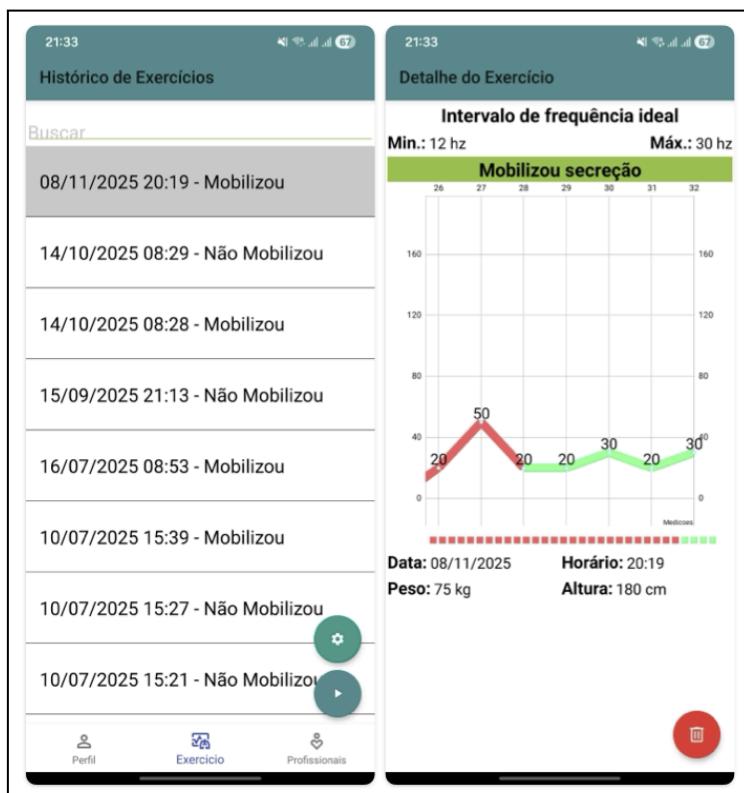
Fonte: Autor

A estrutura apresentada na Figura 10 demonstra como o Kodular realiza o armazenamento das medições obtidas durante os exercícios. Nessa rotina, é criado um dicionário que reúne as propriedades do objeto “exercicio”, incluindo informações como data e hora da sessão, medições coletadas, dados do paciente (peso e altura), configuração utilizada e se houve mobilização. Após a criação do dicionário, o algoritmo ajusta o *bucket* no Firebase, direcionando os dados para a rota “exercicios/usuarioID”, garantindo que cada paciente tenha seu próprio histórico de exercícios. Em seguida, chama o bloco “ArmazenarValor” para enviar o dicionário ao banco de dados, usando a data e hora do instante da realização do exercício em milissegundos como rótulo (chave).

Na Figura 11 é apresentado o histórico de exercícios, que funciona como um registro detalhado das sessões realizadas pelo paciente, permitindo que tanto ele quanto o profissional acompanhem o desempenho ao longo do tempo. Para organizar esses registros em ordem decrescente de data e hora, foi utilizada a extensão “KIO4 JS”, disponível na comunidade do MIT App Inventor (ANTONIO, 2022). Essa extensão possibilita a execução de scripts em JavaScript, e o código implementado (ver Apêndice B) foi responsável por ordenar a lista do histórico conforme o critério desejado.

Ao selecionar um item, são exibidos os detalhes desse exercício, como as frequências medidas durante cada exercício, os parâmetros configurados, além das informações de peso e altura registradas no momento da sessão, como pode ver na captura à direita da Figura 11. Também é exibido as frequências de medições em um gráfico de linha disponibilizado pela extensão “*Simple Chart*”, também encontrada na comunidade do Kodular (RICHARD, 2020).

Figura 11 - Telas de histórico e detalhe de exercício



Fonte: Autor

A funcionalidade de cadastro e autenticação de usuários foi implementada utilizando o Firebase Authentication, que oferece uma solução segura e prática para o gerenciamento de contas de usuário. O processo de cadastro de pacientes e profissionais, apesar de ser a mesma tela, o formulário se difere. No caso de paciente são solicitadas informações como nome, *e-mail*, senha, peso, altura, data de nascimento e frequência de atividade física. Já o profissional os campos de peso, altura e frequência de atividade física são ocultados, e o campo de registro no Conselho Regional de Fisioterapia e Terapia Ocupacional (CREFITO) é exibido. Após o registro, o usuário pode acessar o aplicativo por meio da tela de *login*, onde suas credenciais são validadas diretamente pelo Firebase.

A configuração dos parâmetros de exercício possibilita a personalização das sessões de acordo com as necessidades individuais de cada paciente. Por meio dessa tela, o paciente e o profissional podem definir valores de frequência mínima e máxima de operação e o número de séries a serem realizadas. Durante o monitoramento, o aplicativo fornece um *feedback* visual, exibindo o gráfico na cor verde quando a frequência recebida está dentro do intervalo configurado e na cor vermelha quando está fora dos limites, facilitando, assim, a correção imediata da execução do exercício.

O paciente pode compartilhar o seu histórico de exercícios com um ou mais profissionais possibilitando, de forma remota, o acompanhamento do seu progresso. Assim, o terapeuta pode analisar o desempenho, identificar padrões e ajustar os parâmetros de tratamento conforme necessário.

3.2.5 Teste e Avaliação

Para garantir que os objetivos e os requisitos levantados fossem atendidos, foram realizados testes de requisitos em toda a aplicação. Nessa abordagem, cada requisito gera um conjunto de testes específicos, focados na validação de que o sistema implementou corretamente com o que foi especificado, sem foco na detecção de defeitos (SOMMERVILLE, 2011).

O dispositivo utilizado no teste foi um *smartphone* Samsung Galaxy S24 Ultra com sistema operacional Android na versão 16 e o ESP32. O processo teve início com o cadastro de um paciente e de um terapeuta, a fim de validar o funcionamento do sistema de autenticação e o correto armazenamento das informações no banco de dados. Em seguida, utilizando um perfil de paciente, foram configurados os parâmetros de exercício, definindo-se valores mínimos e máximos.

Posteriormente, testou-se a comunicação com o *middleware*, verificando se o aplicativo era capaz de estabelecer conexão via BLE, receber os dados enviados pelo ESP32 e exibi-los na tela de exercícios.

Também foi avaliado o funcionamento do *feedback* visual durante os exercícios. Além disso, analisou-se a tela de histórico, assegurando que as medições armazenadas eram recuperadas. Por fim, o compartilhamento do histórico

de exercícios testado com usuários dos perfis paciente e profissional, garantindo que os dados permanecem acessíveis apenas aos perfis autorizados.

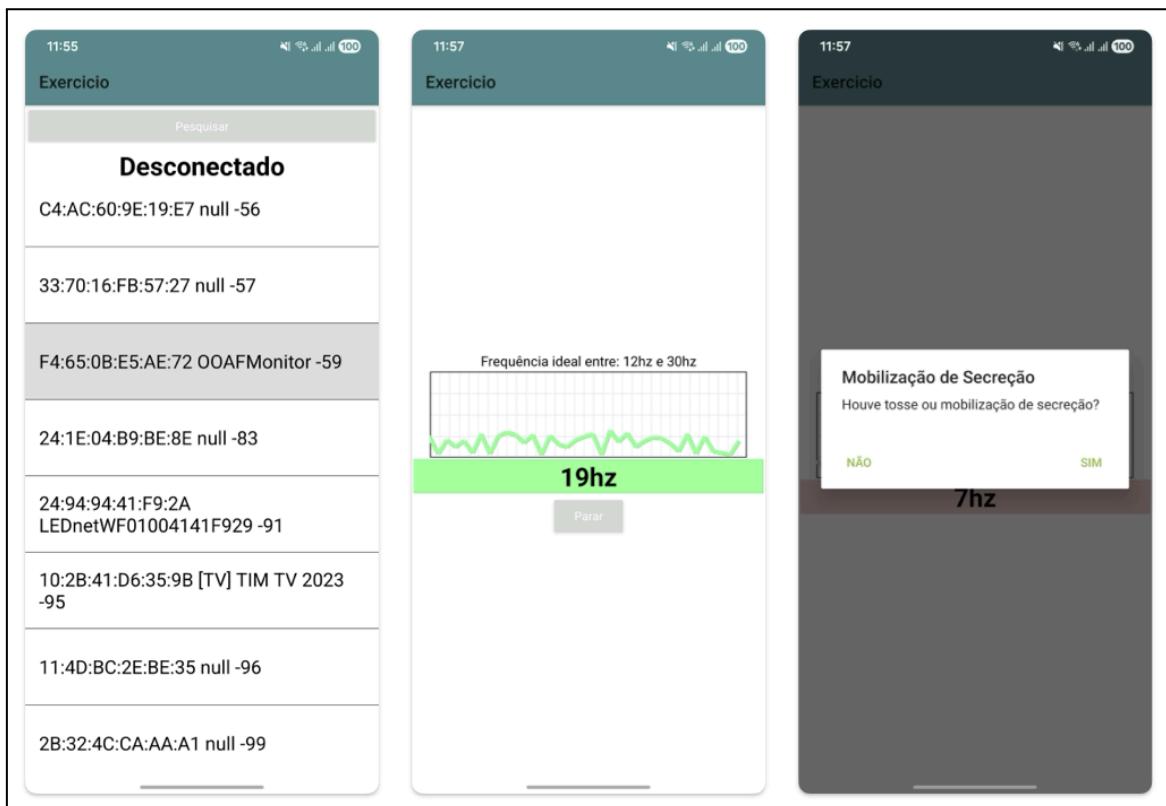
Para demonstrar a eficácia da comunicação entre o ESP32 e a aplicação, foi realizado um teste de sistema, entendido por Sommerville (2011) como o processo que "[...] verifica se os componentes são compatíveis, se interagem corretamente e transferem os dados certos no momento certo por suas interfaces".

O teste consistiu na execução de dez exercícios com duração de 30 segundos cada, durante os quais foram acompanhados os valores exibidos na tela do aplicativo. Em paralelo, utilizou-se a Arduino IDE para monitorar, por meio do console serial, os dados gerados pelo microcontrolador, permitindo comparar as informações recebidas pelo aplicativo com aquelas enviadas pelo ESP32.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes realizados no protótipo tiveram como objetivo verificar o atendimento aos requisitos estabelecidos e avaliar a implementação das principais funcionalidades da aplicação. A validação da funcionalidade principal da aplicação, o monitoramento de exercícios, demonstrou sucesso na integração do sistema. A Figura 12 demonstra um usuário com perfil de paciente realizando um novo exercício estabelecendo a comunicação com o *middleware* denominado "OOAFMonitor". Durante a sessão, o aplicativo recebe os valores aleatórios de frequência de operação gerados pelo *middleware*, que variam entre 2 Hz e 32 Hz, simulando a frequência de vibração do dispositivo de OOAF.

Figura 12 - Telas de realização de exercício



Fonte: Autor

Após a finalização do exercício, é exibido um *popup* perguntando ao usuário se houve mobilização de secreção. Esta informação, crucial para a avaliação da eficácia da terapia e para ajustes futuros nos parâmetros de exercício pelo profissional, é coletada e salva com sucesso no Firebase, junto com todas as medições de frequência registradas durante a sessão.

A eficácia da comunicação entre o aplicativo e o *middleware*, assim como o armazenamento, a recuperação e a exibição corretos das medições, foram comprovados pelos resultados obtidos no teste de sistema. Conforme apresentado no Quadro 1, foi possível observar que não houve perda de dados durante a transmissão entre o *middleware* ESP32 e o smartphone executando a aplicação OOAF Monitor, considerando que os dispositivos estavam muitos próximos, assegurando uma comunicação estável via BLE. Contudo não foram realizados testes em condições de conexão desfavoráveis, como maiores distâncias ou interferências de sinal.

Quadro 1 - Comparativo entre dados transmitidos e recebidos

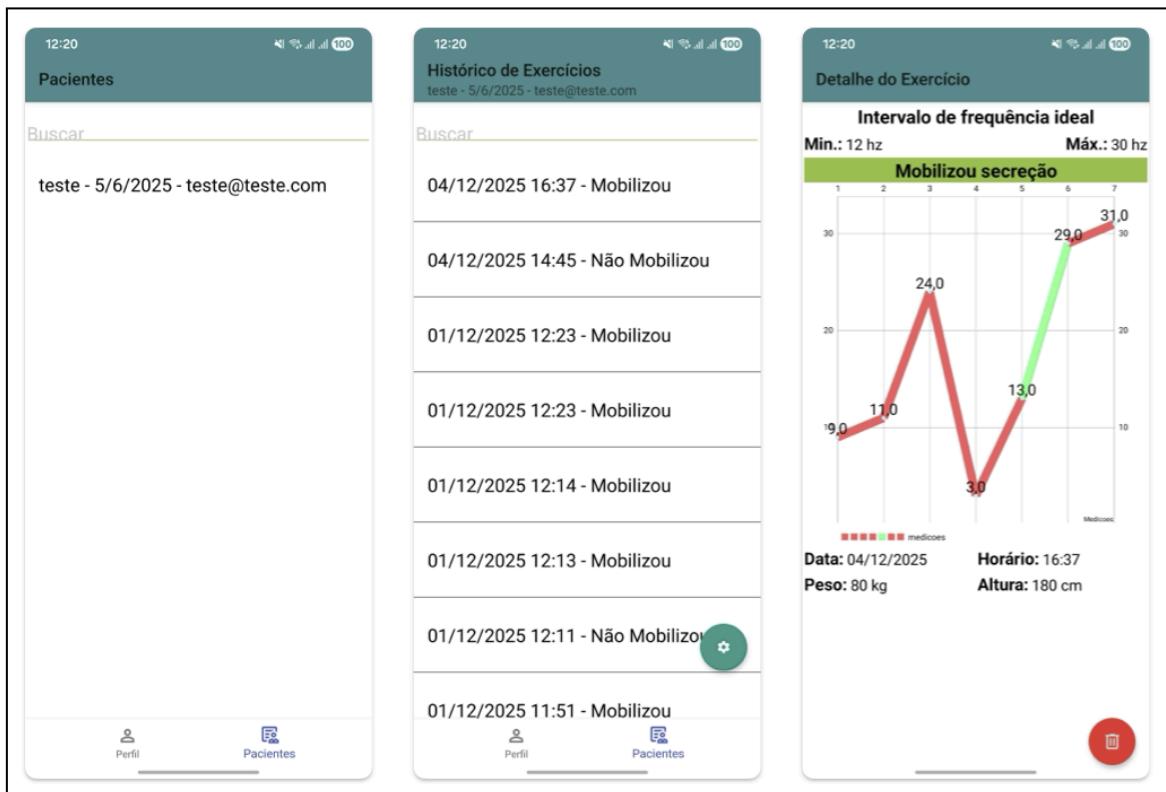
	Enviados pelo <i>Middleware</i>	Recebidos pelo OOAF Monitor
Teste 1	24, 6, 26, 16, 4, 20, 25, 31, 23, 14, 9, 24, 2, 11, 8, 17, 19, 21, 20, 30, 31, 15, 3, 21, 27, 32, 5, 6, 7, 23	24, 6, 26, 16, 4, 20, 25, 31, 23, 14, 9, 24, 2, 11, 8, 17, 19, 21, 20, 30, 31, 15, 3, 21, 27, 32, 5, 6, 7, 23
Teste 2	21, 31, 24, 27, 19, 18, 25, 26, 16, 11, 20, 2, 5, 18, 17, 6, 27, 19, 32, 12, 14, 24, 22, 15, 18, 17, 19, 2, 7, 8	21, 31, 24, 27, 19, 18, 25, 26, 16, 11, 20, 2, 5, 18, 17, 6, 27, 19, 32, 12, 14, 24, 22, 15, 18, 17, 19, 2, 7, 8
Teste 3	12, 6, 14, 28, 20, 31, 8, 11, 18, 5, 22, 32, 3, 16, 26, 9, 13, 30, 19, 7, 24, 10, 4, 15, 29, 12, 17, 2, 21, 27	12, 6, 14, 28, 20, 31, 8, 11, 18, 5, 22, 32, 3, 16, 26, 9, 13, 30, 19, 7, 24, 10, 4, 15, 29, 12, 17, 2, 21, 27
Teste 4	17, 6, 29, 13, 21, 8, 32, 5, 11, 27, 14, 19, 3, 25, 30, 9, 12, 16, 24, 7, 31, 18, 10, 20, 15, 22, 6, 28, 17, 3	17, 6, 29, 13, 21, 8, 32, 5, 11, 27, 14, 19, 3, 25, 30, 9, 12, 16, 24, 7, 31, 18, 10, 20, 15, 22, 6, 28, 17, 3
Teste 5	27, 14, 6, 19, 22, 9, 31, 11, 16, 25, 8, 32, 4, 21, 15, 13, 28, 10, 17, 23, 7, 12, 30, 3, 18, 24, 29, 5, 20, 26	27, 14, 6, 19, 22, 9, 31, 11, 16, 25, 8, 32, 4, 21, 15, 13, 28, 10, 17, 23, 7, 12, 30, 3, 18, 24, 29, 5, 20, 26
Teste 6	12, 27, 8, 19, 30, 4, 16, 23, 11, 7, 25, 14, 31, 9, 21, 3, 18, 28, 6, 22, 32, 10, 5, 17, 13, 24, 29, 20, 15, 26	12, 27, 8, 19, 30, 4, 16, 23, 11, 7, 25, 14, 31, 9, 21, 3, 18, 28, 6, 22, 32, 10, 5, 17, 13, 24, 29, 20, 15, 26
Teste 7	9, 25, 14, 31, 6, 17, 28, 4, 19, 11, 22, 8, 30, 5, 16, 24, 13, 27, 20, 7, 15, 10, 32, 21, 12, 23, 18, 9, 26, 3	9, 25, 14, 31, 6, 17, 28, 4, 19, 11, 22, 8, 30, 5, 16, 24, 13, 27, 20, 7, 15, 10, 32, 21, 12, 23, 18, 9, 26, 3
Teste 8	7, 18, 25, 12, 30, 9, 16, 21, 4, 28, 14, 19, 24, 6, 31, 10, 27, 8, 22, 15, 11, 26, 20, 5, 13, 29, 17, 3, 23, 32	7, 18, 25, 12, 30, 9, 16, 21, 4, 28, 14, 19, 24, 6, 31, 10, 27, 8, 22, 15, 11, 26, 20, 5, 13, 29, 17, 3, 23, 32
Teste 9	20, 8, 29, 15, 27, 6, 18, 25, 11, 32, 14, 9, 23, 4, 21, 30, 12, 19, 7, 28, 24, 10, 16, 5, 22, 17, 3, 26, 31, 13	20, 8, 29, 15, 27, 6, 18, 25, 11, 32, 14, 9, 23, 4, 21, 30, 12, 19, 7, 28, 24, 10, 16, 5, 22, 17, 3, 26, 31, 13
Teste 10	11, 26, 7, 20, 15, 28, 9, 17, 24, 5, 30, 12, 8, 21, 3, 18, 31, 6, 25, 13, 10, 23, 19, 4, 22, 29, 16, 14, 32, 27	11, 26, 7, 20, 15, 28, 9, 17, 24, 5, 30, 12, 8, 21, 3, 18, 31, 6, 25, 13, 10, 23, 19, 4, 22, 29, 16, 14, 32, 27

Fonte: Autor

As análises também confirmaram o correto funcionamento do *feedback* visual durante o exercício, indicando que o aplicativo representava adequadamente os valores dentro e fora dos limites configurados. A tela de histórico demonstrou integridade nos registros, refletindo os dados recebidos pelo aplicativo e armazenados no banco de dados.

A funcionalidade de compartilhamento do histórico de exercícios com o profissional de saúde (Figura 13) foi implementada com êxito, garantindo que apenas fisioterapeutas previamente autorizados pelo paciente tenham acesso às informações armazenadas. Nos testes realizados, confirmou-se que, ao realizar login, o profissional consegue visualizar a lista de pacientes que concederam permissão e, ao selecionar um deles, tem acesso ao histórico completo e aos detalhes de cada sessão, incluindo frequência registrada, parâmetros configurados e indicadores de mobilização de secreção.

Figura 13 - Visualização do histórico do paciente pelo profissional



Fonte: Autor

A integridade dos dados exibidos ao profissional foi preservada, evidenciando consistência entre as informações visualizadas e aquelas geradas ao final de cada exercício realizado pelo paciente. Essa funcionalidade reforça o propósito mHealth

do OOAF Monitor ao permitir acompanhamento remoto, reavaliação contínua e ajustes personalizados pelo fisioterapeuta, ampliando a eficácia do tratamento domiciliar mesmo sem a presença física do profissional.

Apesar de pequenas limitações identificadas, como o travamento do *app* ao selecionar dispositivos incorretos na tela de exercícios, essa falha não compromete a execução geral dos testes, mas indica a necessidade de melhorias futuras no tratamento de erros. Em conjunto, os resultados obtidos demonstram que o protótipo apresenta funcionamento adequado e potencial para apoiar o monitoramento de exercícios respiratórios e aprimorar o acompanhamento terapêutico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do OOAF Monitor permitiu alcançar o objetivo geral proposto, que consistia em criar uma aplicação móvel capaz de monitorar e registrar terapias de OOAF, oferecendo uma ferramenta de apoio tanto para pacientes quanto para profissionais da área da fisioterapia respiratória. Os objetivos específicos também foram atendidos, com a implementação bem sucedida da comunicação entre o aplicativo e o *middleware* por meio do BLE, o armazenamento das medições no banco de dados em nuvem Firebase e a criação de funcionalidades como o histórico de exercícios, a configuração de parâmetros personalizados e o compartilhamento de informações com o terapeuta.

Durante o desenvolvimento, um dos principais desafios foi a limitação da plataforma Kodular, que impôs restrições tanto na personalização da interface quanto na manipulação de dados, exigindo o uso de extensões externas não nativas. Ainda assim, o protótipo apresentou desempenho satisfatório, validando o conceito proposto e demonstrando o potencial da solução para aplicação em contextos reais de monitoramento fisioterapêutico.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação de uma versão nativa da aplicação em linguagens como Kotlin ou Flutter, visando maior desempenho e flexibilidade. Também se propõe a integração com sensores reais capazes de captar as frequências de vibração, permitindo a coleta de dados precisos durante as sessões e possibilitando a aplicação da solução em um contexto clínico real de fisioterapia com dispositivos de OOAF. Outra possibilidade é a expansão do sistema para incluir relatórios de evolução e a criação de uma interface web destinada ao acompanhamento remoto pelos profissionais de saúde, oferecendo uma visualização mais completa dos pacientes.

Por fim, destaca-se que o presente trabalho não abordou aspectos relacionados à Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) no tratamento das informações sensíveis dos usuários. Assim, pesquisas futuras devem considerar a implementação de mecanismos de proteção de dados para assegurar conformidade legal e segurança no armazenamento e compartilhamento das informações, especialmente quando a solução venha a ser utilizada em um contexto clínico real.

6. REFERÊNCIAS

- ALI, E. E.; CHEW, L.; YAP, K. Y.-L. Evolution and current status of mhealth research: a systematic review. **BMJ Innovations**, v. 2, n. 1, p. 33–40, 1 jan. 2016.
- ANDROID OPEN SOURCE PROJECT. **Bluetooth Low Energy**. [S. I.]: Google, 2025. Disponível em: <<https://source.android.com/docs/core/connect/bluetooth/ble>>. Acesso em 30 Out 2025.
- ANTONIO, J. [Extension] Dynamic graph. Shift left graph. Sinusoidal wave. Bluetooth. In: **MIT App Inventor Community**. [Mensagem em fórum]. Publicado em: 21 nov. 2021. Disponível em: <<https://community.appinventor.mit.edu/t/extension-dynamic-graph-shift-left-graph-sinusoidal-wave-bluetooth/46140>>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- ANTONIO, J. [Free] Evaluate JavaScript Extension. Math expression. Source code. In: **MIT App Inventor Community**. [Mensagem em fórum]. Publicado em: 22 jun. 2022. Disponível em: <<https://community.appinventor.mit.edu/t/free-evaluate-javascript-extension-math-expression-source-code/60494>>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- BLUETOOTH SIG. **The Bluetooth® Low Energy Primer**. Kirkland: Bluetooth SIG, 2024. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/bluetooth-le-primer>>. Acesso em: 30 out. 2025.
- CANTIN, A. M. et al. Inflammation in cystic fibrosis lung disease: Pathogenesis and therapy. **Journal of Cystic Fibrosis**, v. 14, n. 4, p. 419–430, 1 jul. 2015.
- CASTRO, R. M. **Desenvolvimento de sistema de medição de frequência e interface móvel para equipamento de fisioterapia respiratória**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2019.
- CONSELHO FEDERAL DE FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL (Brasil). **Resolução nº 80, de 9 de maio de 1987**. Baixa Atos Complementares à Resolução COFFITO-8, relativa ao exercício profissional do fisioterapeuta, e à Resolução COFFITO-37, relativa ao registro de empresas nos Conselhos Regionais de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, e dá outras providências. Brasília, 1987. Disponível em: <<https://www.coffito.gov.br/nsite/?p=2838>>. Acesso em: 13 nov. 2025.
- DICIANNO, Brad E. et al. Perspectives on the Evolution of Mobile (mHealth) Technologies and Application to Rehabilitation. In: OXFORD ACADEMIC. Innovative Technologies Special Series. **Physical Therapy**. United Kingdom: Oxford University Press, 2015. p. 397-405. v. 95.
- DINIZ, Anna L. Técnicas Passivas. In: RECOMENDAÇÃO brasileira de fisioterapia respiratória para fibrose cística. **ASSOBRAFIR Ciência**, São Paulo, v. 10, supl. 1, p. 65-69, maio 2019.
- DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JR, Jose Antonio Valle. **Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement**. [S.I.]: Springer, 2015.

- DUARTE, P., SILVA, V., SILVA, D. **Análise do funcionamento do Shaker® à diversos níveis de fluxo**, Pulmão RJ, 16, 70–75, 2007. Disponível em: <<https://www.powerbreathe.com/wp-content/uploads/2021/10/Analysis-of-the-functioning-of-the-Shaker%C2%AE-to-diverse-levels-of-flow.-1-1.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2025.
- FAGEVIK OLSÉN, M.; LANEFORS, L.; WESTERDAHL, E. Positive expiratory pressure: common clinical applications and physiological effects. **Respiratory Medicine**, [S. I.], v. 109, n. 3, p. 297-307, mar. 2015.
- FINK, J. B. Positive pressure techniques for airway clearance. **Respiratory care**, v. 47, n. 7, p. 786–96, jul. 2002.
- HEVNER, Alan; CHATTERJEE, Samir. **Design Research in Information Systems: Theory and Practice**. EUA: Springer, 2010.
- HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN. **Fisioterapia respiratória**. São Paulo, 2025. Disponível em: <<https://www.einstein.br/estrutura/centro-reabilitacao/especialidades/fisioterapia/fisioterapia-respiratoria>>. Acesso em: 06 out. 2025.
- LACERDA, Daniel Pacheco et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gest. Prod.**, São Carlos , v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2013000400001&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 09 Nov. 2025.
- LIEBANO, R. E. et al. Principais manobras cinesioterapêuticas manuais utilizadas na fisioterapia respiratória: descrição das técnicas. **Revista de Ciências Médicas**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 35-45, jan./fev. 2009.
- MALTA, D. C. et al. Noncommunicable diseases and the use of health services: analysis of the National Health Survey in Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 51, n. suppl 1, p. 1S-10S, 2017.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Bluetooth Low Energy**: MIT App Inventor + IoT. Cambridge, 2024. Disponível em: <<https://iot.appinventor.mit.edu/iot/reference/bluetoothle>>. Acesso em: 23 nov 2025
- MCCORMACK, P.; BURNHAM, P.; SOUTHERN, K. W. Autogenic drainage for airway clearance in cystic fibrosis. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, v. 2017, n. 10, 6 out. 2017.
- MEDEIROS, A. R.; LEITE, M. R. C.; GUERREIRO, G. M. A.; ROSA, F. R. S. S. Novas tecnologias aplicadas à saúde: integração de áreas transformando a sociedade. In: SILVA, J. B. A. (org.). **Ciência e tecnologia**: um olhar multidisciplinar. Mossoró: Edições UERN, 2017. p. 109-119.
- MEIRELLES, Fernando S. **36ª Pesquisa Anual do Uso de TI**. São Paulo: FGVCia, 2025. Disponível em: <<https://eaesp.fgv.br/producao-intelectual/pesquisa-anual-uso-ti>>. Acesso em: 08 nov. 2025.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (Brasil). Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Doenças respiratórias crônicas**. Brasília: Ministério da Saúde,

2010. 160 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos) (Cadernos de Atenção Básica, n. 25). Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2025.

MOURA JÚNIOR, Romero Mendes Freire de. **Práticas colaborativas gamificadas para prevenir lesões por pressão**. 2020. 210 f. Tese (Doutorado em Difusão do Conhecimento) – Programa de Pós-Graduação Multi-Institucional e Multidisciplinar em Difusão de Conhecimento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

NASCIMENTO, Andreza Costa. **Desenvolvimento de um frequencímetro digital para monitoramento de equipamentos de fisioterapia respiratória que utilizam a técnica OOAF**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2022.

NCS DO BRASIL. **Shaker Medic Plus**. [S. I.], 2025. Disponível em: <<https://www.ncsdobrasil.com/shaker-medic-plus>>. Acesso em: 27 nov. 2025.

PARAZZI, Paloma L. F. Técnicas instrumentais. In: RECOMENDAÇÃO brasileira de fisioterapia respiratória para fibrose cística. **ASSOBRAFIR Ciência**, São Paulo, v. 10, supl. 1, p. 83-86, maio 2019.

PRADO, S. T. O papel da fisioterapia na fibrose cística. **Revista Hospital Universitário Pedro Ernesto**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 118-125, out./dez. 2011.

RICHARD, H. **[Free] [Beta] Simple Chart Extension v2**. [S. I.]: Kodular Community, dez. 2020. Disponível em: <<https://community.kodular.io/t/free-beta-simple-chart-extension-v2/99191>>. Acesso em: 25 nov. 2025.

ROMERO, R. T.; ROVIRA, A. S.; CABALLERO, R. A. Manejo del paciente afecto de discinesia ciliar primaria. **Protocolos Diagnósticos y Terapéuticos en Pediatría**, [S. I.], v. 1, p. 423-437, 2017.

SANTOS, J. W. A.; WALDOW, A.; FIGUEIREDO, C. W. C.; KLEINUBING, D. R.; BARROS, S. S. Discinesia ciliar primária. **Jornal de Pneumologia**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 262-268, set. 2001.

SCANLAN, C. L.; MYSLINSKI, M. J. Terapia de higiene brônquica. In: SCANLAN, C. L.; WILKINS, R. L.; STOLLER, J. K. **Fundamentos da terapia respiratória de Egan**. 7. ed. São Paulo: Manole, 2000. p. 799-824.

SIMON, Herbert Alexander. **The Sciences of the Artificial**. 3. Ed. Mit Press, 1996.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. II Consenso Brasileiro sobre Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC). **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 30, supl. 5, p. 1-42, nov. 2004.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de Software**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SONODA, G. S. et al. **Colete vibratório mobilizador de secreção pulmonar**. Depositante: Pontifícia Universidade Católica de Campinas. BR 20 2021 009230 4. Depósito: 12 maio 2021.

SORIANO, J. B. et al. Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 8, n. 6, p. 585–596, 1 jun. 2020.

TAMER, M. [Free] Json To Dictionary Extension. [S. l.]: Kodular Community, 25 out. 2020. Disponível em: <<https://community.kodular.io/t/free-json-to-dictionary-extension/89929>>. Acesso em: 25 nov. 2025.

VAISHNAV, Vijay K.; KUECHLER, William. **Design Science Research Methods and Patterns**: Innovating Information and Communication Technology. 2^a. ed. USA: CRC Press, 2015.

WHO. **eHealth and health Internet domain names**: report by the secretariat. Geneva: WHO, 2013. (Sixty-sixth World Health Assembly, A66/26). Disponível em: <https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA66/A66_26-en.pdf?ua=1>. Acesso em 12 de mai de 2025.

WHO. **mHealth**: use of appropriate digital technologies for public health: report by the Director-General. Geneva: WHO, 2018. (Seventy-first World Health Assembly, A71/20). Disponível em: <https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/wha71/a71_20-en.pdf>. Acesso em 12 mai. 2025.

WHO. **Global strategy on digital health 2020-2025**. Geneva: WHO, 2021. Disponivel em: <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924>>. Acesso em 21 ago. 2025.

APÊNDICE A – Código do *middleware* para simulação nos testes

Este apêndice apresenta o código que gera os números aleatórios de 2 a 32 e transmite por meio de BLE a cada um segundo para o smartphone conectado.

```
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEServer.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLE2902.h>

BLEServer* pServer = NULL;
BLECharacteristic* pCharacteristic = NULL;
BLEDescriptor *pDescr;
BLE2902 *pBLE2902;

bool deviceConnected = false;
bool oldDeviceConnected = false;
uint32_t value = 0;

#define SERVICE_UUID      "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
#define CHARACTERISTIC_UUID "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"

class MyServerCallbacks: public BLEServerCallbacks {
    void onConnect(BLEServer* pServer) {
        deviceConnected = true;
    };
}
```

```
void onDisconnect(BLEServer* pServer) {  
    deviceConnected = false;  
}  
  
};  
  
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
  
    // Cria o dispositivo BLE  
    BLEDevice::init("OOAF Monitor");  
  
    // Cria o servidor BLE  
    pServer = BLEDevice::createServer();  
    pServer->setCallbacks(new MyServerCallbacks());  
  
    // Cria o servico BLE  
    BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);  
  
    // Cria a caracteristica BLE  
    pCharacteristic = pService->createCharacteristic(  
        CHARACTERISTIC_UUID,  
        BLECharacteristic::PROPERTY_NOTIFY  
    );
```

```
// Cria um descritor BLE
pDescr = new BLEDescriptor((uint16_t)0x2901);
pDescr->setValue("A very interesting variable");
pCharacteristic->addDescriptor(pDescr);

pBLE2902 = new BLE2902();
pBLE2902->setNotifications(true);
pCharacteristic->addDescriptor(pBLE2902);

// Inicia o serviço
pService->start();

// Inicia o anuncio
BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();
pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);
pAdvertising->setScanResponse(false);
pAdvertising->setMinPreferred(0x0);
BLEDevice::startAdvertising();
Serial.println("Aguardando conexão com cliente para anunciar...");
}

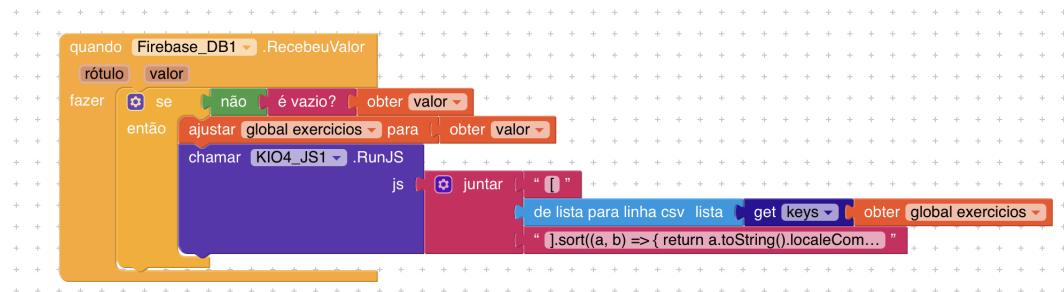
void loop() {
    // Notifica quando o valor é alterado
}
```

```
if (deviceConnected) {  
    Serial.println(value);  
    pCharacteristic->setValue(value);  
    pCharacteristic->notify();  
    value = random(2, 32);  
    delay(2000);  
}  
  
// Desconectando  
  
if (!deviceConnected && oldDeviceConnected) {  
    delay(1000); // Aguarda 1 segundo  
    pServer->startAdvertising(); // Reinicia o anuncio  
    Serial.println("Inicia anuncio");  
    oldDeviceConnected = deviceConnected;  
}  
  
// Conectando  
  
if (deviceConnected && !oldDeviceConnected) {  
    oldDeviceConnected = deviceConnected;  
}  
}
```

APÊNDICE B – Algoritmo para ordenação do histórico de exercícios

Este apêndice apresenta o código JS que ordena de forma decrescente os exercícios por data e hora na tela de histórico de exercícios, onde “*Lista_Separado_Por_Virgula*” é a lista de data e hora dos exercícios separados por vírgula. Na Figura 14 é possível visualizar onde e como esse algoritmo é utilizado.

Figura 14 - Bloco de carregamento dos exercícios de forma ordenada



Fonte: Autor

```
[Lista_Separado_Por_Virgula].sort((a, b) => {
    return a.toString().localeCompare(b.toString(), 'en', { numeric: true });
});
```