

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

TIAGO MACHADO JARDIM

**RESPIRO.SCAN: SISTEMA
INTEGRADO DE AVALIAÇÃO E
TREINAMENTO RESPIRATÓRIO**

**Bagé
2025**

TIAGO MACHADO JARDIM

**RESPIRO.SCAN: SISTEMA
INTEGRADO DE AVALIAÇÃO E
TREINAMENTO RESPIRATÓRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Engenharia de Computação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral
Coorientador: Julio Saraçol Domingues Júnior

**Bagé
2025**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

J37	Jardim, Tiago Machado
	RESPIRO.SCAN: SISTEMA INTEGRADO DE AVALIAÇÃO E TREINAMENTO RESPIRATÓRIO / Tiago Machado Jardim.
	108 f.: il.
	Orientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral Coorientador: Julio Saraçol Domingues Júnior Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pampa, Engenharia de Computação, 2025.
	1. Fisioterapia respiratória. 2. Informática médica. 3. Reabilitação respiratória. 4. Tecnologia de baixo custo. I. Título.

RESPIRO.SCAN: SISTEMA INTEGRADO DE AVALIAÇÃO E TREINAMENTO RESPIRATÓRIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Computação como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Dissertação defendida e aprovada em: 16 de dezembro de 2025.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Érico Marcelo Hoff Amaral
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Bruno Silveira Neves
(UNIPAMPA)

Prof^a Dr^a Sandra Dutra Piovesan
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **SANDRA DUTRA PIOVESAN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2025, às 18:55, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ERICO MARCELO HOFF DO AMARAL, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2025, às 00:50, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **BRUNO SILVEIRA NEVES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/12/2025, às 18:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1919681** e o código CRC **02800FFD**.

Dedico este trabalho a todos os professores que me guiaram e compartilharam seu conhecimento ao longo dos anos.

AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas e instituições que contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Érico, meu orientador, por seu incansável apoio, orientação e motivação ao longo de todo o processo. Sua dedicação e comprometimento foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço também à Danuza, por gentilmente disponibilizar o espaço de sua clínica para a realização dos experimentos, além de compartilhar seus valiosos conhecimentos sobre fisioterapia respiratória.

Ao Professor Júlio, meu coorientador, expressei minha sincera gratidão pela disponibilidade e paciência em esclarecer minhas dúvidas e por suas valiosas contribuições para o sucesso deste projeto.

Ao grupo GIMM (Grupo de Informática Médica e Microeletrônica), onde encontrei inspiração para escolher o tema deste trabalho e desenvolvi um grande interesse pela área, deixo meu sincero agradecimento.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo, composto por um microcontrolador ESP32 e um sensor de pressão de ar MPX5010DP, voltado à avaliação e ao treinamento respiratório de pacientes com disfunções pulmonares. A pesquisa justifica-se pela necessidade de democratizar o acesso a ferramentas diagnósticas, replicando as funções de manovacuômetros e espirômetros convencionais de forma financeiramente acessível a clínicas de pequeno porte. A metodologia consistiu na integração de hardware e software, incluindo o desenvolvimento de uma plataforma gamificada para dispositivos móveis, visando elevar o engajamento e a adesão do paciente ao tratamento clínico. O sistema permite a realização de exames de manovacuometria (P_{Imáx} e P_{Emáx}) e sessões de treinamento muscular respiratório com biofeedback em tempo real. Os resultados dos testes técnicos demonstraram que o dispositivo fornece medições precisas quando comparado a parâmetros de normalização, garantindo a integridade e a confiabilidade dos dados coletados. Conclui-se que o protótipo constitui uma alternativa de implementação simplificada e de custo reduzido, demonstrando eficácia na análise de parâmetros respiratórios e no acompanhamento evolutivo de patologias pulmonares, cumprindo os requisitos de precisão necessários para a prática fisioterapêutica.

Palavras-chave: Fisioterapia respiratória. Informática médica. Reabilitação respiratória. Tecnologia de baixo custo.

ABSTRACT

This study presents the development of a low-cost prototype based on an ESP32 microcontroller and an MPX5010DP air pressure sensor, designed for the respiratory assessment and training of patients with pulmonary dysfunctions. The research is justified by the need to expand access to diagnostic tools, replicating the functionalities of conventional manovacuometers and spirometers in a financially accessible way for small clinics and home use. The methodology consisted of hardware and software integration, including a gamified mobile platform aimed at increasing patient engagement and treatment adherence. The system enables manovacuometry exams (MIP and MEP) and respiratory muscle training sessions with real-time biofeedback. Technical test results demonstrated that the device provides accurate measurements in compliance with normalization parameters, ensuring data integrity and reliability. It is concluded that the prototype constitutes a simplified and cost-effective implementation alternative, demonstrating effectiveness in respiratory parameter analysis and longitudinal monitoring of pulmonary pathologies, fulfilling the precision requirements for physical therapy practice.

Keywords: Respiratory Physiotherapy, Medical Informatics, Respiratory Rehabilitation, Low-Cost Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Classificação da Metodologia.....	20
Figura 2	Etapas da Metodologia.....	22
Figura 3	Modelagem da Solução.....	42
Figura 4	Infográfico do Sistema.....	45
Figura 5	Casos de Uso.....	48
Figura 6	Diagrama de Sequencia.....	49
Figura 7	Esp32 sem Bateria.....	53
Figura 8	Esp32 com Bateria.....	54
Figura 9	MPX5010DP.....	55
Figura 10	MPX5500DP.....	55
Figura 11	Linguagem e Tecnologias.....	57
Figura 12	Primeiro Modelo Proposto.....	59
Figura 13	Segundo Modelo Proposto.....	59
Figura 14	Protótipo do Bocal Mecânico.....	61
Figura 15	Protótipo com o Manovacuometro.....	62
Figura 16	Tela Inicial, Login e Principal.....	65
Figura 17	Tela de Lista de Pacientes, Criação de Conta e Cadastro de Pacientes.....	65
Figura 18	Tela de Edição do Fisioterapeuta, Edição do Paciente e Perfil do Paciente.....	66
Figura 19	Tela de Dados do Paciente, Exame e Treinamento.....	67
Figura 20	Dados do Sensor.....	68
Figura 21	Módulo de hardware com componentes soldados em placa perfurada.....	71
Figura 22	Shield de Bateria para Alimentação.....	71
Figura 23	Telas de Acesso e Navegação Principal do Aplicativo Respiro.Scan.....	73
Figura 24	Telas de Avaliação em Tempo Real e Relatório.....	73
Figura 25	Estrutura hierárquica das coleções no banco de dados NoSQL.....	75
Figura 26	Interfaces dos Jogos.....	76
Figura 27	Avaliação de PEmáx: Participante 1 (Acima da Referência).....	85
Figura 28	Avaliação de PEmáx: Participante 5 (Abaixo da Referência).....	86
Figura 29	Avaliação de PImáx: Participante 4 (Próximo à Referência).....	87
Figura 30	Desempenho no Jogo do Copo - Participante 6 (72 anos).....	89
Figura 31	Controle Dinâmico no FlappyBird - Participante 5.....	90
Figura 32	Interface de Conexão Bluetooth (BLE).....	105
Figura 33	Tela de Listagem de Pacientes.....	106
Figura 34	Formulário de Cadastro.....	106
Figura 35	Seleção do Tipo de Avaliação.....	107
Figura 36	Lista de Histórico de Relatórios.....	108
Figura 37	Detalhes e Opções (PDF/Excluir).....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparação dos Trabalhos Correlatos.....	39
Tabela 2	Requisitos do Sistema.....	47
Tabela 3	Equações de normalização das pressões respiratórias máximas.	50
Tabela 4	Valores de referência para as pressões respiratórias máximas.	51
Tabela 5	Tabela PMI.	63
Tabela 6	Tabela PME.	63
Tabela 7	Instrumento de pesquisa (Questionário).....	82
Tabela 8	Caracterização demográfica dos participantes.....	83
Tabela 9	Resultados da Avaliação de P _{Imáx} e P _{Emáx}	84
Tabela 10	Desempenho dos participantes nas sessões de treinamento gamificado.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BaaS	Backend-as-a-Service
cmH ₂ O	Centímetros de Água
CPT	Capacidade Pulmonar Total
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
CRF	Capacidade Residual Funcional
CV	Capacidade Vital
CVF	Capacidade Vital Forçada
DCP	Discinesia Ciliar Primária
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DPOC	Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
EHRs	Sistemas de Registros Eletrônicos de Saúde
EI	Espirometria de Incentivo
FEF _{máx}	Fluxo Expiratório Forçado Máximo
FEF _x	Fluxo Expiratório Forçado em x
FIF _x	Fluxo Inspiratório Forçado em x
FSR	Resistor Sensível à Força
OAF	Oscilação de Alta Frequência
OWL	Web Ontology Language
PE _{máx}	Pressão Expiratória Máxima
PI _{máx}	Pressão Inspiratória Máxima
S-index	Índice de Força
SARS-CoV-2	Coronavirus 2 da Síndrome Respiratória Aguda Grave
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

TMI	Treinamento Muscular Inspiratório
UNIPAMPA	Universidade Federal do Pampa
UTIs	Unidades de Terapia Intensiva
VEF1	Volume Expiratório Forçado no Primeiro Segundo
VM	Ventilação Mecânica
VR	Volume Residual
VVM	Ventilação Voluntária Máxima
W3C	World Wide Web Consortium

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Problema de pesquisa	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 Organização do trabalho	18
2 MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 Metodologia Científica.....	19
2.2 Planejamento da Pesquisa	21
3 REVISÃO DA LITERATURA	25
3.1 Fisioterapia Respiratória.....	25
3.2 Equipamentos para Avaliação Respiratória.....	28
3.3 Tecnologias aplicadas na informática médica	31
3.4 Gamificação e Jogos Sérios	34
3.5 Trabalhos Relacionados.....	36
4 RESPIRO.SCAN: SOLUÇÃO PARA AVALIAÇÃO E TREINAMENTO	
RESPIRATÓRIO	41
4.1 Arquitetura Respiro.Scan	42
4.2 Modelagem.....	46
4.3 Projeto Piloto - Implementação e Resultados Iniciais da Primeira Etapa ..	50
4.3.1 Valores de Referência e Limiares de Normalidade	50
4.3.2 Tecnologias utilizadas	52
4.3.3 Construção e Prototipagem do Modelo Digital	58
4.3.4 Construção do Modelo Mecânico	60
4.3.5 Desenvolvimento do Protótipo de Software e Avaliação Preliminar (Projeto Piloto)	64
4.3.6 Avaliação dos resultados obtidos	67
4.4 Implementação do Respiro.Scan	70
4.4.1 Hardware e Integração	70
4.4.2 Aplicativo Móvel e Gamificação	72
4.4.2.1 Fluxo de Navegação e Gerenciamento.....	72
4.4.2.2 Armazenamento de Dados no Firebase.....	74
4.4.2.3 Jogos Gamificados.....	76
4.4.3 Integração com o Hardware via Bluetooth Low Energy (BLE)	77
4.4.4 Alterações e Melhorias	78
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	80
5.1 Metodologia dos Experimentos.....	80
5.1.1 Participantes	80
5.1.2 Materiais e Equipamentos.....	81
5.1.3 Experimentos.....	81
5.2 Resultados dos Experimentos	82
5.2.1 Caracterização dos Participantes	83
5.2.2 Análise Quantitativa das Avaliações (Manovacuometria).....	83
5.2.3 Análise das Curvas Gráficas de Pressão	84
5.2.3.1 Padrão de Normalidade e Superação da Meta.....	85
5.2.3.2 Déficit de Força (Abaixo da Referência)	86
5.2.3.3 Sensibilidade e Proximidade da Meta em Idosos	87

5.2.4	Resultados do Treinamento Gamificado	88
5.2.4.1	Análise de Usabilidade e Desempenho nos Jogos.....	89
5.2.5	Feedback do Profissional	90
5.3	Discussão dos Resultados	91
5.3.1	Validação Técnica e Comparação com Referenciais.....	92
5.3.2	Impacto da Gamificação e Usabilidade na Reabilitação	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6.1	Trabalhos Futuros.....	95
	REFERÊNCIAS.....	96
	APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS.....	99
	APÊNDICE B – INTERFACES COMPLEMENTARES DO APLICATIVO	105

1 INTRODUÇÃO

A fisioterapia respiratória desempenha um papel fundamental na melhoria da saúde pulmonar e no tratamento de distúrbios respiratórios. Essa especialidade busca prevenir, avaliar e tratar disfunções do sistema respiratório, visando melhorar a função pulmonar, reduzir a dispneia e otimizar a qualidade de vida dos pacientes (Yáñez, 2021). A avaliação adequada da inspiração e expiração é essencial na fisioterapia respiratória, por fornecer informações importantes sobre o desempenho do sistema respiratório e a presença de alterações funcionais. A mensuração da força muscular inspiratória e expiratória, permite identificar possíveis fraquezas musculares respiratórias, que podem levar à limitação do fluxo de ar e ao comprometimento da troca gasosa (Gonçalves *et al.*, 2006). Os equipamentos utilizados na fisioterapia respiratória são de grande valia para o fisioterapeuta, possibilitando a monitorização, avaliação e tratamento dos pacientes com doenças pulmonares (Moraes, 2017).

Um estudo relevante que aborda esse tema é o trabalho de Silva (2020), onde avaliaram a força muscular respiratória e a capacidade funcional de pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC). Os resultados destacaram a importância da avaliação da força muscular respiratória como um indicador significativo da capacidade funcional em pacientes com DPOC, fornecendo subsídios para o planejamento de intervenções terapêuticas mais eficazes. Além disso, a avaliação da inspiração e expiração também pode ser realizada por meio de testes de função pulmonar, como a espirometria, que permite avaliar o volume e o fluxo de ar durante a respiração. Esses testes auxiliam no diagnóstico e monitoramento de doenças respiratórias, além de fornecerem parâmetros para o planejamento do tratamento e avaliação de sua eficácia (Pascotini *et al.*, 2013).

Através do uso da tecnologia, a informática médica oferece uma variedade de ferramentas que podem apoiar os profissionais da saúde em diferentes áreas, facilitando o acesso às informações do paciente, otimizando o processo de tomada de decisão clínica e promovendo a melhoria do atendimento globalmente. Um estudo realizado por Busato (2015) ressalta o impacto significativo do uso da informática médica na melhoria dos cuidados de saúde e na segurança do paciente, permitindo o acesso rápido e fácil a informações precisas e atualizadas. O emprego de sistemas de registros eletrônicos de saúde (EHRs) é uma das principais aplicações da informática médica, possibilitando o armazenamento digital de informações clínicas, exames, histórico médico e tratamentos, facilitando a coordenação do cuidado e reduzindo erros médicos relacionados à falta de

acesso a informações completas e atualizadas.

Na área de fisioterapia respiratória, existem inúmeras aplicações que tradicionalmente envolvem custos elevados como o uso de aparelhos de ventilação mecânica invasiva e não invasiva, onde esses dispositivos são empregados para fornecer suporte respiratório a pacientes com insuficiência respiratória (Barcellos *et al.*, 2020). Ao adotar abordagens baseadas em 'low cost', podemos tornar essas intervenções mais acessíveis e ampliar seu impacto positivo. Ao aplicarmos técnicas de fisioterapia respiratória de baixo custo, estamos nos adaptando às necessidades da nossa sociedade, proporcionando tratamentos eficazes sem a barreira dos altos custos. Isso pode incluir o uso de dispositivos simples e acessíveis, exercícios respiratórios que não requerem equipamentos sofisticados, com base nisso estaremos promovendo uma maior democratização da saúde respiratória, garantindo que todos os indivíduos, independentemente de sua condição econômica, tenham acesso a tratamentos de qualidade.

Ao adotar abordagens baseadas em soluções de baixo custo, podemos tornar essas intervenções mais acessíveis e ampliar seu impacto positivo. Além disso, a gamificação e o uso de jogos sérios no contexto de tratamentos de saúde têm se mostrado eficazes para aumentar o engajamento e a adesão dos pacientes às terapias, proporcionando um ambiente mais interativo e motivador (Lopes; Silva, 2020). Nesse sentido, o presente projeto explora a possibilidade de integrar essas tecnologias como parte de uma solução, buscando otimizar o treinamento respiratório dos pacientes por meio de estratégias lúdicas e personalizadas.

1.1 Problema de pesquisa

Com base no que foi exposto na introdução, percebe-se que as soluções oferecidas pelos fisioterapeutas desempenham um papel crucial na avaliação e tratamento de pacientes com problemas respiratórios. A pandemia de COVID-19 evidenciou ainda mais essa necessidade, ao aumentar o número de pacientes com complicações respiratórias que precisam de avaliação e reabilitação contínua (Tincopa *et al.*, 2022). Nesse contexto, o presente trabalho tem como problema de pesquisa a seguinte questão:

Uma solução de baixo custo com microcontroladores e sensores de pressão de ar pode ser eficaz para auxiliar fisioterapeutas na avaliação e no treinamento muscular inspiratório e expiratório de pacientes?

Nesse sentido, a investigação foi estruturada para contemplar a análise do ciclo respiratório completo. O desenvolvimento e a validação do protótipo integraram tanto a mensuração da força inspiratória (PI_{máx}) quanto da expiratória (PE_{máx}), visando oferecer uma ferramenta abrangente que atenda às necessidades clínicas de reabilitação.

Este trabalho surgiu da necessidade de aprimorar a prática da fisioterapia respiratória, dada a sua importância crucial no tratamento de pacientes com problemas respiratórios. A fisioterapia respiratória desempenha um papel fundamental na preservação da função pulmonar e no gerenciamento de condições como insuficiência respiratória aguda, DPOC, asma e apneia do sono, ajudando a melhorar a qualidade de vida dos pacientes.

Dessa forma, a aplicação clínica do dispositivo proposto busca auxiliar fisioterapeutas a identificar fraquezas respiratórias e acompanhar o progresso dos pacientes. O protótipo, ao monitorar parâmetros respiratórios durante as sessões de fisioterapia, viabiliza intervenções mais direcionadas, como ajustes no treinamento muscular e a personalização do tratamento. Essas ações visam melhorar diretamente a função pulmonar, aumentando a eficácia da reabilitação e contribuindo para a recuperação e manutenção da saúde respiratória do paciente.

1.2 Objetivos

Neste item, são apresentados os objetivos gerais e específicos deste projeto, fornecendo uma direção clara para o estudo.

1.2.1 Objetivo Geral

Propor e implementar uma solução que utiliza um sensor de pressão de ar integrado ao microcontrolador ESP32, para proporcionar uma avaliação precisa da inspiração e expiração de pacientes com problemas respiratórios. A inovação da solução está na combinação de tecnologia de baixo custo com a capacidade de fornecer dados em tempo real para o fisioterapeuta, permitindo o ajuste do treinamento respiratório, de acordo com a necessidade de cada paciente.

Os dados capturados pelo sensor são exibidos no aplicativo imediatamente após o exame realizado pelo paciente. A partir desses dados, o fisioterapeuta pode

ajustar o treinamento de maneira precisa, personalizando o tratamento conforme as necessidades identificadas. O sistema também permite a geração de relatórios das métricas respiratórias, facilitando a avaliação contínua do progresso do paciente ao longo das sessões.

A interface do aplicativo apresenta os dados das sessões de treinamento e do exame, permitindo ao fisioterapeuta acompanhar o desempenho do paciente e realizar ajustes no tratamento sempre que necessário. Dessa forma, o aplicativo atua como uma ferramenta de suporte, proporcionando ao fisioterapeuta uma visão clara das métricas respiratórias e contribuindo para um acompanhamento mais eficaz.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um protótipo de hardware e software para a captura de sinais de pressão respiratória e execução de exercícios terapêuticos.
- Implementar algoritmos de normalização e processamento baseados em parâmetros clínicos (como idade e sexo) para padronizar as medidas de P_{Imáx} e P_{Emáx}.
- Validar a precisão das medições do sistema por meio de testes comparativos com valores de referência estabelecidos na literatura.

1.3 Organização do trabalho

Além da introdução apresentada na Seção 1, o trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2, são abordados o material e os métodos, detalhando a metodologia científica, a classificação e as etapas metodológicas, além do planejamento da pesquisa.

A Seção 3 é dedicada à revisão da literatura, com tópicos sobre fisioterapia respiratória, equipamentos para avaliação respiratória, tecnologias aplicadas na informática médica, gamificação e jogos sérios, e trabalhos correlatos.

A Seção 4 descreve o trabalho proposto, incluindo a modelagem da solução com infográfico, as tecnologias aplicadas, o modelo inicial e secundário, e a prototipação do aplicativo.

A Seção 5 apresenta os resultados e discussões, mostrando os resultados obtidos nos testes realizados.

Finalmente, na Seção 6, são feitas as considerações finais do trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

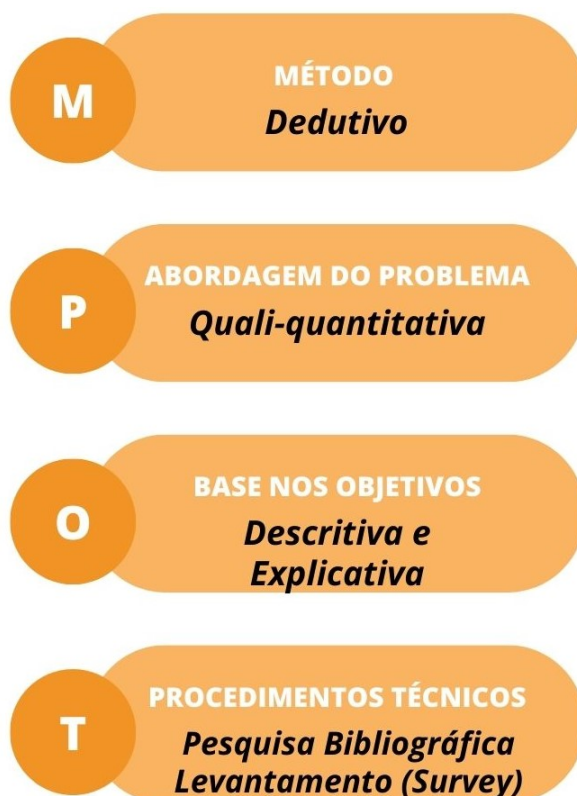
Nesta seção, são apresentados os métodos e materiais utilizados no desenvolvimento do estudo, incluindo a abordagem metodológica, técnicas de coleta de dados, procedimentos de análise, e as ferramentas e tecnologias empregadas. É detalhado o processo de planejamento e execução do projeto, com a descrição das etapas seguintes, desde a revisão bibliográfica até a implementação e validação do protótipo desenvolvido.

2.1 Metodologia Científica

A pesquisa científica exige a utilização de um conjunto específico de procedimentos intelectuais e técnicos, conforme afirmado por Gil (2008). Esses procedimentos, conhecidos como métodos científicos, são fundamentais para atingir os objetivos propostos. Dentre esses métodos, o método experimental se destaca por expor os objetos de estudo à influência de variáveis específicas em condições controladas e conhecidas pelo pesquisador, visando observar os resultados gerados por essas variáveis.

Além disso, conforme destacado por Barros e Lehfeld (2000), a pesquisa visa resolver problemas e esclarecer dúvidas através de procedimentos científicos. Essa busca pelo conhecimento surge de questionamentos sobre pontos ou fatos obscuros que necessitam de explicações plausíveis. Diversos tipos de pesquisas permitem a coleta de dados sobre o tema investigado, e o emprego de métodos científicos adequados capacita os pesquisadores a responderem às interrogações levantadas, promovendo o avanço no entendimento e na resolução dos problemas identificados. A Figura 1 apresenta a classificação que melhor representa a pesquisa desenvolvida neste estudo.

Figura 1 – Classificação da Metodologia.



Fonte: Autor (2025).

O método dedutivo parte de premissas gerais para chegar a conclusões específicas (Marconi; Lakatos, 2010). No trabalho proposto, esse método fundamenta-se em princípios teóricos da fisioterapia respiratória e tecnologias de monitoramento para desenvolver um protótipo específico que auxilie na reabilitação de pacientes.

A abordagem quali-quantitativa foi utilizada para medir a eficácia do protótipo. Dados quantitativos foram coletados para avaliar a melhoria dos pacientes durante as sessões de fisioterapia, enquanto questionários qualitativos foram aplicados aos fisioterapeutas para obter uma compreensão mais profunda de suas percepções e experiências com o uso da solução desenvolvida.

De acordo com Creswell (2014), a combinação de métodos quantitativos e qualitativos permite uma análise mais abrangente, integrando dados numéricos e percepções subjetivas.

Pesquisas descritivas têm como objetivo principal descrever as características de um fenômeno ou população (Gil, 2008), enquanto pesquisas explicativas buscam identificar as causas e consequências dos fenômenos estudados (Yin, 2015).

O trabalho proposto é descritivo ao delinear o uso do protótipo e explicar como

ele influencia a recuperação dos pacientes, e é também explicativo ao investigar as razões e mecanismos por trás desses resultados.

Segundo Marconi e Lakatos (2010), a pesquisa bibliográfica baseia-se na análise de material já publicado sobre o tema. No trabalho proposto, essa pesquisa fornece a base teórica necessária para desenvolver o protótipo, revisando estudos sobre fisioterapia respiratória e tecnologias de monitoramento.

O levantamento, uma técnica de coleta de dados que envolve a aplicação de questionários ou entrevistas a uma amostra da população (Gil, 2008), foi utilizado para coletar feedback do fisioterapeuta por meio de um formulário digital, visando avaliar a eficácia e aceitação da solução desenvolvida.

2.2 Planejamento da Pesquisa

A pesquisa iniciou-se com uma revisão bibliográfica, fundamental para identificar as melhores práticas e evidências científicas relacionadas à fisioterapia respiratória. Esse estudo inicial embasou a escolha das tecnologias adequadas, como sensores de pressão de ar e microcontroladores, que foram explorados durante a etapa de estudo das ferramentas disponíveis.

Em seguida, a definição dos requisitos, baseada em interações com profissionais de saúde, garantiu que a solução proposta atendesse às necessidades específicas da reabilitação pulmonar, conforme detalhado na fase de estudo dos requisitos.

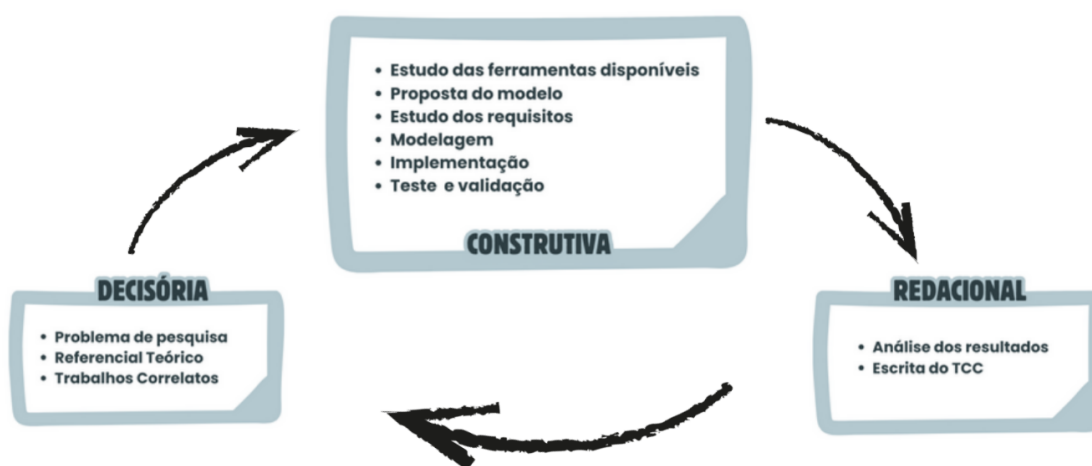
O desenvolvimento da solução foi orientado pela proposta do modelo e pela modelagem, integrando hardware e software para capturar e registrar dados respiratórios dos pacientes. A implementação seguiu o modelo definido, assegurando que os padrões estabelecidos contribuam para avaliações respiratórias padronizadas, gerando resultados consistentes.

Inicialmente, estabeleceu-se o público-alvo da pesquisa, identificando pacientes com perfis clínicos adequados para a realização dos testes experimentais. Em seguida, os ensaios de validação foram conduzidos em parceria com fisioterapeutas, permitindo a verificação da precisão técnica do protótipo e a implementação de ajustes para o aprimoramento do sistema.

Por fim, a análise dos dados coletados forneceu subsídios para avaliar a efetividade da solução, destacando o potencial impacto clínico do dispositivo no suporte ao tratamento de disfunções respiratórias.

De acordo com Silva e Menezes (2001), o planejamento de uma pesquisa envolve três fases fundamentais: a fase decisória, a fase construtiva e a fase redacional. Para essas etapas foram aplicadas de forma interativa, permitindo que os resultados obtidos na fase de testes e validação retroalimentassem o desenvolvimento e a modelagem do sistema. Essa dinâmica de loops de realimentação foi essencial para identificar e implementar refinamentos contínuos no protótipo, garantindo que os objetivos fossem alcançados de maneira eficiente e condizente com as necessidades identificadas. A estrutura organizacional do trabalho segue essa lógica metodológica, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Etapas da Metodologia.



Fonte: Autor (2025).

A metodologia apresentada é projetada para orientar o processo de desenvolvimento da solução, desde a revisão das melhores práticas até os testes e avaliações com pacientes e fisioterapeutas. Cada etapa foi planejada para garantir a qualidade da solução, seguindo um fluxo iterativo onde os resultados obtidos permitem o retorno a fases anteriores para refinamentos (loops de realimentação).

1. Referencial Teórico (Fase Decisória):

- Identificar as melhores práticas e evidências científicas relacionadas à fisioterapia respiratória.

2. Trabalhos Correlatos (Fase Decisória):

- Revisar estudos anteriores e trabalhos correlatos para fundamentar a pesquisa.

3. Estudo dos Requisitos (Fase Construtiva):

- Identificar as necessidades da reabilitação pulmonar com base em interações com profissionais de saúde.
4. Estudo das Ferramentas Disponíveis (Fase Construtiva):
 - Avaliar e escolher os componentes adequados para a solução, como sensores e microcontroladores.
 5. Proposta do Modelo (Fase Construtiva):
 - Elaborar a proposta inicial do modelo de solução.
 6. Modelagem (Fase Construtiva):
 - Definir a arquitetura e o funcionamento da solução, integrando hardware e software.
 7. Implementação (Fase Construtiva):
 - Desenvolver o protótipo conforme o modelo definido, integrando hardware e software para capturar e registrar os dados respiratórios dos pacientes.
 8. Testes, Validação e Ajustes (Fase Construtiva):
 - Verificar o funcionamento técnico do protótipo por meio de testes com pacientes, com o auxílio de fisioterapeutas, realizando os ajustes necessários no sistema a partir dos resultados colhidos.
 9. Análise dos Resultados (Fase Redacional):
 - Avaliar a eficácia do protótipo e a precisão das medições de pressão (cmH₂O) frente aos parâmetros de normalização.
 10. Escrita do TCC (Fase Redacional):
 - Documentar todo o processo e os resultados obtidos na elaboração do trabalho de conclusão de curso.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas ferramentas de Inteligência Artificial Generativa para otimizar tarefas de rotina e revisão. As plataformas ChatGPT e Gemini atuaram como auxiliares na revisão textual, sugerindo melhorias de coesão e adequação às normas de formatação.

Para a parte técnica, utilizou-se o Claude como suporte na análise lógica e na depuração de trechos específicos do código-fonte. Ressalta-se que essas ferramentas serviram apenas como suporte instrumental, todas as sugestões foram analisadas

criticamente, testadas na prática e modificadas manualmente, garantindo que a concepção da solução e a integridade dos resultados sejam de total responsabilidade do autor.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são abordados aspectos fundamentais da fisioterapia respiratória, equipamentos de avaliação, informática médica e gamificação na saúde. Inicialmente, discute-se a importância da fisioterapia respiratória na prevenção e tratamento de doenças, incluindo métodos de avaliação da função pulmonar. Em seguida, explora-se equipamentos como o espirômetro, manovacuômetro, shaker e Powerbreathe, e suas contribuições no tratamento de disfunções respiratórias.

A fundamentação teórica e a seleção dos trabalhos correlatos foram estruturadas a partir de uma pesquisa bibliográfica realizada em bases de dados científicas reconhecidas, tais como Google Acadêmico, IEEE Xplore e PubMed. A busca foi orientada por descritores em português e inglês que refletem os eixos centrais deste estudo, abrangendo temas como fisioterapia respiratória, sistemas embarcados, manovacuometria e gamificação na saúde.

Os critérios de seleção priorizaram a relevância temática e a solidez conceitual das fontes, buscando estabelecer um equilíbrio entre marcos teóricos consolidados, essenciais para a definição de protocolos clínicos e metodológicos permanentes, e estudos contemporâneos que apresentam o estado da arte em tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e dispositivos médicos.

Na seção sobre informática médica, são apresentados o uso de tecnologias na fisioterapia, como o Fisiolung, um sistema de monitoramento de sessões de fisioterapia respiratória, e o FootInspect, uma ferramenta para diagnósticos plantares.

Além disso, são discutidos estudos que demonstram a evolução dessas soluções no gerenciamento de dados e processos médicos. A gamificação é abordada em relação à sua eficácia na promoção de comportamentos saudáveis e na reabilitação de pacientes por meio de jogos sérios.

Por fim, a seção de trabalhos correlatos apresentará estudos selecionados especificamente para a proposta deste trabalho, abordando o uso de sensores, dispositivos IoT, e gamificação no monitoramento e reabilitação respiratória.

3.1 Fisioterapia Respiratória

A fisioterapia respiratória é uma abordagem terapêutica que atua na prevenção e tratamento de doenças respiratórias, utilizando diversas técnicas em ambientes

ambulatoriais, hospitalares ou de terapia intensiva. Seu objetivo é estabelecer ou restabelecer um padrão respiratório funcional para reduzir os gastos energéticos durante a ventilação, permitindo que o paciente execute suas atividades diárias com maior facilidade e sem prejuízos para sua saúde.

Essa abordagem visa melhorar o *clearance* mucociliar, que é o processo fisiológico de remoção de muco e partículas das vias aéreas através do batimento ciliar, além de otimizar a ventilação pulmonar e prevenir o acúmulo de secreções para favorecer as trocas gasosas.

Além disso, a intervenção busca manter ou aprimorar a mobilidade da caixa torácica e da parede abdominal. As técnicas envolvem manobras manuais, posturais e cinéticas nos componentes tóraco-abdominais, cujos objetivos principais incluem mobilizar e eliminar secreções pulmonares, melhorar a expansão pulmonar, aprimorar a oxigenação, reduzir o trabalho respiratório e diminuir o consumo de oxigênio.

Adicionalmente, as condutas visam fortalecer a musculatura respiratória e aumentar a *endurance*, termo que define a capacidade de resistência à fadiga muscular e permite sustentar o esforço respiratório por períodos prolongados, promovendo assim a independência funcional do paciente. Com essas intervenções, busca-se prevenir complicações e acelerar a recuperação, melhorando a qualidade de vida e a saúde respiratória (Abreu *et al.*, 2007).

O autor Barbosa *et al.* (2022) ressalta de forma significativa a importância da fisioterapia na otimização da capacidade respiratória e na manutenção dos níveis de saturação de oxigênio, especialmente em pacientes afetados pelo vírus SARS-CoV-2. A fisioterapia desempenha um papel crucial no tratamento e na recuperação de pacientes com COVID-19, contribuindo para a restauração da função pulmonar e, por conseguinte, aprimorando sua qualidade de vida.

A relevância da intervenção fisioterapêutica abrange diversos estágios do tratamento, englobando não somente o período de internação, mas também a fase de recuperação e alta hospitalar.

Nesse contexto, a fisioterapia respiratória desempenha um papel vital na restauração da função pulmonar e na promoção da saúde respiratória a longo prazo.

Destaca-se, adicionalmente, a publicação de diretrizes pela Associação Brasileira de Fisioterapia Cardiorrespiratória e Fisioterapia em Unidade Intensiva (ASSOBRAFIR), que visa orientar a prática da fisioterapia respiratória e a implementação de exercícios terapêuticos precoces.

Essas diretrizes têm como objetivo central contribuir para a recuperação integral dos pacientes afetados pela COVID-19, considerando não apenas a recuperação física, mas também a melhoria de sua qualidade de vida no contexto pós-infecção.

Segundo Filho e Araújo (2018) a avaliação da função pulmonar é uma parte essencial da prática médica e fisioterapêutica, fornecendo *insights* sobre a saúde respiratória dos pacientes.

Diversos testes e medidas são utilizados para avaliar a força muscular respiratória, sendo indicados com base em sintomas clínicos específicos ou condições médicas que sugerem um comprometimento dos músculos respiratórios. Entre os métodos de avaliação destacam-se a espirometria, o teste de contagem de números em uma única expiração, o pico de fluxo da tosse, as pressões inspiratória e expiratória máximas e a pressão de inspiração nasal.

Esses testes fornecem informações cruciais sobre a força muscular inspiratória e expiratória, bem como sobre a eficácia da tosse na eliminação de secreções, desempenhando um papel fundamental na detecção precoce de insuficiência respiratória. A avaliação da função pulmonar é particularmente relevante em pacientes com fatores de risco, como aqueles com doenças neuromusculares, DPOC avançada e que necessitam de desmame de respiradores mecânicos.

A fraqueza da musculatura respiratória pode ser um fator determinante na dispneia e na qualidade de vida dos pacientes, e sua avaliação periódica é crucial para prevenir complicações e melhorar a sobrevida.

Para uma avaliação mais precisa, os resultados de diversos testes devem ser analisados em conjunto, uma vez que cada manobra isolada pode não fornecer um diagnóstico completo. A avaliação longitudinal ao longo do tempo é frequentemente mais relevante do que um único valor isolado.

Além disso, é importante destacar a importância da avaliação da musculatura expiratória, muitas vezes negligenciada, mas vital para a prevenção de infecções respiratórias.

Em resumo, a avaliação da função pulmonar desempenha um papel crucial na prática médica e fisioterapêutica, permitindo o diagnóstico precoce de problemas respiratórios, a identificação de pacientes em risco e a melhoria da qualidade de vida. A integração de diferentes métodos de avaliação é fundamental para uma compreensão abrangente da função respiratória do paciente. Essa prática desempenha um papel crucial na saúde e no bem-estar dos pacientes e é especialmente relevante em casos de doenças

neuromusculares, DPOC e em situações de desmame de ventilação mecânica.

3.2 Equipamentos para Avaliação Respiratória

Os equipamentos para avaliação respiratória são ferramentas essenciais para medir e analisar a função pulmonar. Eles desempenham um papel importante no diagnóstico, monitoramento e tratamento de doenças respiratórias, permitindo que os profissionais de saúde avaliem com precisão a eficácia das intervenções terapêuticas e ajustem os tratamentos de acordo com as necessidades dos pacientes.

No contexto deste trabalho, o protótipo em desenvolvimento utilizará o mesmo sistema de análise dos equipamentos manovacuômetro e Powerbreathe para a avaliação da força muscular respiratória e o treinamento respiratório.

Segundo Ribeiro e Shiguemoto (2015), a espirometria, um exame que mede a quantidade de ar que entra e sai dos pulmões, tem se tornado cada vez mais comum na prática clínica devido à disponibilidade de espirômetros portáteis e à padronização da técnica.

Essa técnica, derivada do latim (*spirare*, respirar, e *metrum*, medida), fornece informações sobre os fluxos respiratórios e é baseada na avaliação dos volumes pulmonares e de suas subdivisões. Os volumes pulmonares, como volume corrente, capacidade residual funcional (CRF) e capacidade vital (CV), são determinados através de espirômetros, divididos em modelos de volume e fluxo.

A qualidade do exame depende da precisão, exatidão e linearidade do equipamento, além da adequada execução da manobra pelo paciente. Antes do teste, instruções específicas devem ser fornecidas ao paciente, incluindo restrições alimentares e de medicação broncodilatadora.

Durante o exame, é essencial o controle de qualidade do equipamento, a pausa pós-inspiratória não deve exceder 3 segundos, e o paciente deve realizar um esforço expiratório "explosivo". A interpretação dos resultados é realizada a partir das curvas volume-tempo e fluxo-volume, que fornecem parâmetros importantes como a capacidade vital forçada (CVF), que representa o volume total de ar que uma pessoa consegue expirar após uma inspiração profunda; o volume expiratório forçado no primeiro segundo (VEF1), que mede a quantidade de ar expirada no primeiro segundo dessa expiração forçada, sendo um indicador da função das vias aéreas; e a relação VEF1/CVF, que indica a proporção entre o volume expelido no primeiro segundo e o volume total expelido, sendo

um parâmetro essencial para a identificação de obstruções respiratórias, como ocorre na DPOC. A resposta ao broncodilatador é avaliada pelas variações no VEF1 e CVF após a administração da medicação, permitindo identificar a reversibilidade da obstrução das vias aéreas. Em resumo, a espirometria é uma ferramenta valiosa para a avaliação da função pulmonar, exigindo tanto a compreensão técnica quanto a interpretação cuidadosa dos resultados para uma avaliação precisa e um tratamento adequado.

No mesmo estudo, Ribeiro e Shiguemoto (2015) ressalta que o manovacuômetro, outro equipamento amplamente utilizado na fisioterapia respiratória, é fundamental na prática clínica para avaliar a força muscular respiratória em pacientes com diversas condições pulmonares e neuromusculares. O dispositivo mede as pressões inspiratórias máximas (PI_{máx}) e expiratórias máximas (PE_{máx}), que indicam a capacidade dos músculos respiratórios de gerar pressão durante a respiração máxima.

Essa avaliação é fundamental na detecção de disfunções respiratórias, fornecendo informações valiosas para o diagnóstico e acompanhamento do paciente. O manovacuômetro funciona medindo a pressão gerada pelo paciente ao realizar uma inspiração ou expiração máxima contra uma via ocluída.

As principais métricas obtidas com o aparelho são a PI_{máx}, que reflete a força dos músculos inspiratórios, e a PE_{máx}, que avalia a força dos músculos expiratórios. Esses valores são fundamentais para o entendimento da capacidade muscular respiratória e são utilizados para ajustar terapias e intervenções no tratamento de pacientes com distúrbios respiratórios.

Para garantir medições precisas, é importante considerar fatores como a postura do paciente, o volume pulmonar durante a medição e a escolha entre o uso de um bocal ou uma máscara facial.

Além disso, vazamentos de ar durante o teste podem comprometer a precisão dos resultados, sendo necessária atenção especial para minimizar essas interferências. A interpretação das pressões medidas com o manovacuômetro deve ser feita em comparação com valores de referência que levam em conta variáveis como sexo e idade.

O uso adequado do manovacuômetro e a consideração de fatores técnicos e interpretativos permitem a avaliação precisa da função respiratória, auxiliando no diagnóstico e tratamento de diversas condições respiratórias.

O trabalho de Barton, Choi e Leech (2010) descreve o equipamento shaker como um dispositivo de oscilação oral de alta frequência amplamente utilizado na fisioterapia respiratória para auxiliar na mobilização e eliminação de secreções das vias aéreas. O

dispositivo é simples e funciona quando o paciente sopra através dele, gerando oscilações que são transmitidas para as vias respiratórias, facilitando a soltura do muco acumulado nos pulmões e vias aéreas.

Esse processo promove a expectoração do muco, melhorando significativamente a ventilação pulmonar e a eficácia do sistema respiratório como um todo. O shaker é especialmente útil para pacientes com condições que aumentam a produção de muco, como fibrose cística, bronquite crônica e outras doenças pulmonares obstrutivas. O uso regular do dispositivo pode não apenas reduzir a necessidade de procedimentos invasivos, como a aspiração de secreções, mas também ajudar a prevenir complicações respiratórias, como infecções recorrentes.

Estudos clínicos indicam que pacientes que utilizam o shaker em seus tratamentos experimentam uma melhora na qualidade de vida, com a redução de sintomas respiratórios e a manutenção da função pulmonar.

O trabalho de Geddes *et al.* (2008) descreve o equipamento Powerbreathe como um dispositivo de treinamento muscular inspiratório projetado para fortalecer os músculos respiratórios por meio de exercícios de resistência. Ao inspirar contra a resistência oferecida pelo aparelho, os músculos respiratórios são desafiados e fortalecidos, resultando em melhorias na capacidade pulmonar e na eficiência respiratória.

Esse tipo de treinamento é vantajoso tanto para atletas que desejam aprimorar seu desempenho quanto para pacientes com doenças pulmonares crônicas, que podem experimentar uma redução na dispneia e uma melhora na tolerância ao exercício. Estudos indicam que o uso do Powerbreathe pode aumentar a força muscular inspiratória, que é a capacidade dos músculos respiratórios de gerar pressão, e, conseqüentemente, a qualidade de vida dos seus usuários.

Diante do exposto, observa-se que os equipamentos tradicionais de avaliação e treinamento respiratório, embora eficazes em suas funções específicas, apresentam limitações quanto ao custo elevado e à falta de integração para o registro digital de dados.

O protótipo desenvolvido neste trabalho busca preencher essa lacuna ao implementar funcionalidades análogas às do manovacuômetro e do Powerbreathe em uma única plataforma de baixo custo. A solução proposta não apenas substitui a leitura analógica pela digital, mas agrega valor ao permitir o armazenamento histórico das sessões e o uso de feedback visual em tempo real, transformando dispositivos puramente mecânicos em uma ferramenta de informática médica conectada às necessidades da reabilitação pulmonar contemporânea.

3.3 Tecnologias aplicadas na informática médica

A importância das tecnologias na área da saúde tem crescido substancialmente nas últimas décadas, impactando positivamente o diagnóstico, tratamento, acompanhamento de pacientes e a gestão dos serviços de saúde em diversas áreas, além da respiratória.

Nesta seção, abordaremos a aplicação dessas tecnologias de forma ampla, destacando como a informática médica tem permitido a integração de sistemas, a coleta e análise de dados clínicos, e o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão médica em diferentes especialidades.

A seguir, são apresentados exemplos de projetos que ilustram a relevância dessas inovações em várias frentes da saúde, demonstrando sua aplicação geral e abrangente.

O trabalho de Jardim (2021) é um exemplo da aplicação da informática médica na área de fisioterapia, onde foi desenvolvido de um sistema chamado Fisiolung, destinado a registrar sessões de fisioterapia com um cadastro detalhado dos dados pessoais do paciente e do profissional envolvido. Esse sistema armazena informações cruciais, como anamnese, técnicas utilizadas e uma análise detalhada da técnica de vibração torácica manual. O Fisiolung utiliza um acelerômetro para captar os dados de vibração e uma placa Arduino para processá-los. O software da aplicação emprega a arquitetura *Model-View Controller*, garantindo uma integração eficiente entre o *front-end* e *back-end*.

As análises das sessões de fisioterapia tornam-se vitais para acompanhar a evolução do paciente ao longo do tratamento. A tela de análise exibe gráficos detalhados, além disso, disponibiliza informações relevantes sobre as sessões, como o tempo de análise, os dados de anamnese e as técnicas utilizadas durante a sessão.

Os testes funcionais realizados no sistema foram fundamentais para avaliar o seu desempenho, demonstrando que o Fisiolung alcançou os resultados esperados e proporcionou uma melhora significativa na execução da técnica de vibração torácica, o que beneficiou os pacientes durante o tratamento.

As análises detalhadas das sessões de fisioterapia permitiram um acompanhamento mais preciso e eficaz por parte dos fisioterapeutas, possibilitando a identificação de possíveis melhorias no tratamento e recaídas, contribuindo para a otimização dos resultados obtidos.

Conforme destacado por Affeldt (2018), o projeto FootInspect foi criado com a finalidade de disponibilizar um sistema computacional destinado a auxiliar os profissionais da fisioterapia e saúde em geral, facilitando a análise e diagnóstico de

indivíduos com problemas relacionados às regiões plantares (pés).

O principal objetivo é promover a reabilitação física e melhorar a qualidade de vida dessas pessoas. A solução se baseia em uma palmilha sensível à pressão, de baixo custo, que acompanha as sessões de fisioterapia por meio do monitoramento da distribuição de pressão na planta do pé.

A ideia do projeto criado é um protótipo de um sistema de palmilhas sensíveis à pressão, também conhecido como baropodômetro, utilizando elementos sensores e a plataforma de prototipagem Arduino. Possui um software desenvolvido para auxiliar na análise dos dados coletados durante as avaliações. Por meio dos sensores FSR (Force Sensor Resistor) e do Arduino, são coletados dados sobre a distribuição de pressão exercida durante a marcha, os quais serão processados pelo software para gerar indicadores que os fisioterapeutas poderão utilizar para analisar os padrões de distribuição de pressão plantar.

A integração dos sensores FSR com o módulo de armazenamento foi testada, e dados da pressão plantar foram coletados. Esses dados foram interpolados utilizando técnicas de geoestatística e apresentados aos profissionais de fisioterapia.

O projeto FootInspect exemplifica a convergência da saúde e tecnologia, demonstrando como a informática médica e a engenharia podem ser empregadas para aprimorar a qualidade dos cuidados de saúde. À medida que mais projetos inovadores como esse são desenvolvidos, a promessa de melhorar a qualidade de vida dos pacientes e a eficácia dos tratamentos continua a se fortalecer, marcando uma era empolgante na interseção entre saúde e tecnologia.

Em outra pesquisa, Mota *et al.* (2013) aborda o desenvolvimento de uma taxonomia ontológica para classificar as subáreas da Informática Médica, com um foco especial no uso de ontologias em aplicações de Inteligência Artificial, Engenharia do Conhecimento e Ontologias.

O objetivo do estudo foi mapear a evolução dessa área de forma completa e imparcial. Como não havia uma taxonomia geral disponível, o trabalho se concentrou em construir uma que caracterizasse as subáreas da Informática Médica.

A taxonomia foi desenvolvida com base em uma comparação entre os termos presentes em diferentes taxonomias, onde termos semelhantes ou correlacionados foram selecionados e agregados para criar uma categoria geral. Por exemplo, os termos "Prontuário Eletrônico do Paciente" e "Electronic Medical Records/Electronic Health Records" foram agrupados sob o termo "Electronic Health Records", considerado mais

abrangente para classificar trabalhos relacionados ao desenvolvimento de Registros Eletrônicos aplicados à Saúde.

Uma taxonomia permite classificar informações em uma hierarquia utilizando o relacionamento pai-filho, enquanto uma ontologia permite atribuir características a cada termo existente na taxonomia, garantindo que os estudos sejam corretamente agrupados, classificados e relacionados.

O desenvolvimento da Taxonomia Ontológica em OWL (*Web Ontology Language*), seguindo os padrões do W3C (*World Wide Web Consortium*), possibilita o compartilhamento e uma organização mais eficiente de informações em bases de dados relacionadas à Informática Médica.

Além disso, a integração dessa taxonomia com projetos propostos por outros autores e ferramentas de busca baseadas em tecnologias semânticas é de grande utilidade para o desenvolvimento da Web Semântica. A combinação desses elementos contribui para uma melhor organização e recuperação de informações na Informática Médica, resultando em um campo mais eficaz e eficiente no contexto da saúde e tecnologia.

O trabalho de pesquisa de Ferreira *et al.* (2003) é apresentado nesta revisão como um marco conceitual e pioneiro, selecionado por estabelecer as bases da aplicação de tecnologias de *Workflow* na automação de processos hospitalares complexos.

Embora seja um estudo de 2003, sua relevância reside na introdução da modelagem de fluxos críticos e na integração de dados, princípios que permanecem fundamentais para a interoperabilidade e eficiência da Informática Médica contemporânea. A informatização discutida por Ferreira evoluiu drasticamente nas últimas décadas, mas a necessidade de ferramentas que facilitem o gerenciamento e a tomada de decisões rápidas permanece como um dos principais eixos de pesquisa da área.

A arquitetura proposta pelo autor, dividida em módulos de modelagem (*Designer*), processamento (*Engine*) e interface com o usuário (*Client*), antecipou a estrutura utilizada em muitas soluções modernas de saúde digital. Portanto, manter esta citação permite ao leitor compreender a origem das arquiteturas de gerenciamento de dados hospitalares, servindo de base teórica para entender como sistemas atuais integram informações de pacientes a protocolos terapêuticos de forma automatizada e segura.

Em síntese, a Informática Médica emerge como um domínio de extrema relevância na transformação do cenário de saúde atual. Ao longo desta seção, exploramos uma seleção de soluções que ilustram o potencial das tecnologias aplicadas na otimização do diagnóstico, tratamento e acompanhamento de pacientes.

A crescente diversidade e amplitude das abordagens revelam a vasta gama de possibilidades que estão sendo implementadas para abordar os desafios complexos da área médica. À medida que mais soluções se desdobram e colaboram para aprimorar a prestação de cuidados médicos, fica claro que a Informática Médica é um terreno fértil para a integração harmoniosa entre ciência, tecnologia e medicina, prometendo um futuro onde a saúde seja impulsionada por inovações tecnológicas.

3.4 Gamificação e Jogos Sérios

A gamificação na saúde envolve a aplicação de princípios e técnicas de jogos para melhorar a motivação, o engajamento e a adesão dos pacientes a tratamentos e práticas de saúde. Elementos como pontuações, níveis, desafios e recompensas são incorporados em programas de saúde para tornar atividades como exercícios físicos, reabilitação e gerenciamento de doenças crônicas mais envolventes e divertidas.

Estudos mostram que a gamificação pode levar a uma maior adesão aos tratamentos e melhores resultados de saúde. Um exemplo notável é o uso de aplicativos móveis que incentivam a atividade física através de desafios diários e competições entre amigos.

Além disso, plataformas gamificadas são usadas em reabilitação física, onde pacientes realizam exercícios de fisioterapia através de jogos interativos. A gamificação pode ser utilizada para promover o bem-estar e a saúde.

Segundo Johnson *et al.* (2016), a gamificação tem se mostrado uma ferramenta valiosa para promover comportamentos saudáveis e o bem-estar, ao transformar tarefas mundanas em experiências interativas e motivadoras. Isso é especialmente evidente em aplicativos de *fitness* que utilizam desafios e recompensas para incentivar a atividade física regular. Intervenções gamificadas na reabilitação física têm mostrado ser eficazes em aumentar a participação dos pacientes e melhorar os resultados de saúde.

De acordo com Lohse *et al.* (2013), intervenções gamificadas na reabilitação física mostraram-se eficazes em aumentar a participação dos pacientes e melhorar os resultados de saúde, através de atividades lúdicas e envolventes. Isso demonstra o potencial da gamificação em transformar práticas tradicionais de reabilitação em experiências mais engajadoras e eficazes.

Os jogos sérios são jogos desenvolvidos com um propósito principal que vai além do entretenimento, sendo frequentemente utilizados em contextos educacionais, de

treinamento e de saúde. Eles são projetados para resolver problemas do mundo real, ensinar habilidades específicas ou promover comportamentos desejados através de uma abordagem interativa e envolvente.

Ao contrário dos jogos comerciais, os jogos sérios focam na eficácia e nos resultados práticos. Por exemplo, em contextos de saúde, jogos sérios podem ser usados para treinar profissionais médicos, educar pacientes sobre doenças ou condições específicas, e até mesmo para ajudar na reabilitação de pacientes.

Através de simulações realistas e feedback imediato, esses jogos oferecem uma plataforma segura e controlada para a prática e o aprendizado.

Os jogos sérios são utilizados em diversas áreas para proporcionar aprendizado e desenvolvimento de habilidades de maneira interativa e envolvente. Segundo Michael e Chen (2006), os jogos sérios são projetados com o objetivo de resolver problemas do mundo real, ensinando habilidades específicas ou promovendo comportamentos desejados através de uma abordagem interativa.

Isso os torna uma ferramenta valiosa em contextos educacionais e de treinamento, onde a prática segura e controlada é essencial. No campo da saúde, os jogos sérios têm mostrado grande potencial para educação e treinamento.

De acordo com Susi, Johannesson e Backlund (2007), jogos sérios podem ser usados para treinar profissionais de saúde, educar pacientes sobre condições específicas e ajudar na reabilitação de pacientes. Esses jogos oferecem simulações realistas e feedback imediato, proporcionando um ambiente seguro para o aprendizado e a prática.

Em resumo, tanto a gamificação quanto os jogos sérios oferecem abordagens para promover comportamentos saudáveis, educação e treinamento, especialmente na área da saúde. A gamificação aplica elementos de jogos, como recompensas e desafios, para aumentar a motivação e o engajamento dos pacientes em tratamentos e atividades de saúde.

Por outro lado, os jogos sérios são desenvolvidos com objetivos específicos de educação e treinamento, proporcionando um ambiente interativo e seguro para a prática de habilidades e a resolução de problemas reais. Combinando essas abordagens, é possível melhorar significativamente a adesão aos tratamentos, a eficácia dos programas de reabilitação e a educação em saúde, tornando essas experiências mais envolventes e eficazes.

3.5 Trabalhos Relacionados

A partir do estudo dos trabalhos correlatos, foram encontradas pesquisas alinhadas com a proposta deste projeto. A seleção desses trabalhos foi baseada em uma busca em bases de dados acadêmicas, considerando publicações relevantes, que tratam de tecnologias aplicadas à fisioterapia respiratória e áreas afins.

Foram incluídos estudos que apresentam soluções tecnológicas, metodologias de avaliação e tratamento respiratório, bem como aqueles que exploram a integração de sistemas de informática médica. A profundidade da busca foi orientada para garantir a inclusão de trabalhos que não apenas abordem temas semelhantes, mas que também contribuam com abordagens complementares ou alternativas à proposta deste projeto.

Na sequência, são apresentados os trabalhos correlatos que exemplificam esses critérios, destacando como diferentes abordagens tecnológicas estão sendo aplicadas na prática da fisioterapia respiratória, além de explorar sua relevância no contexto da saúde digital e da inovação tecnológica.

Um trabalho relevante na área da fisioterapia respiratória é o estudo de Figueiredo, Júnior e Rezende (2023), que apresenta uma metodologia para aproveitar as tecnologias digitais a fim de auxiliar na execução de exercícios fisioterapêuticos voltados à mobilização de secreção em pacientes com Discinesia Ciliar Primária (DCP).

O objetivo principal foi criar um modelo de solução gamificada para facilitar o tratamento e a manutenção desses pacientes, especialmente em casos pediátricos. O projeto propõe adaptar um dispositivo já existente no mercado para fisioterapia respiratória, chamado Shaker, para coletar dados do exercício e aplicar a gamificação como suporte no tratamento.

A solução proposta consiste em captar essa vibração para avaliar o esforço do paciente e determinar se o exercício está sendo realizado corretamente, utilizando um sensor piezoelétrico acoplado ao Shaker e um aplicativo de celular para apresentar os dados em tempo real ao fisioterapeuta.

Outro trabalho relevante apresenta um dispositivo IoT desenvolvido para monitorar a taxa respiratória de pacientes com COVID-19. A relevância dessa solução fundamenta-se no cenário da pandemia, no qual o isolamento domiciliar de pacientes sem monitoramento clínico contínuo elevou o risco de hospitalizações tardias devido à progressão silenciosa da doença.

Para mitigar esse problema, o dispositivo proposto mede a taxa respiratória

utilizando pneumografia por impedância, técnica na qual sinais de microvolt são amplificados e processados por um microcontrolador. Os dados capturados são enviados via Wi-Fi para um servidor, permitindo a avaliação remota por clínicos e a intervenção precoce.

Este estudo destaca-se por demonstrar a viabilidade de sistemas IoT e microcontroladores no monitoramento remoto, reforçando a importância da tecnologia de baixo custo na expansão dos cuidados de saúde fora do ambiente hospitalar (Tincopa *et al.*, 2022).

O trabalho de Castro (2019) apresenta os resultados preliminares de um projeto de frequencímetro digital desenvolvido para detectar as vibrações oscilatórias de um equipamento de fisioterapia respiratória. O objetivo principal é fornecer feedback visual e aconselhamento sobre a força do sopro para aprimorar o tratamento.

Um sensor de efeito Hall Linear é acoplado ao equipamento fisioterapêutico e o sinal de saída foi condicionado por filtros. A Transformada Rápida de Fourier foi utilizada para extrair informações de frequência e apresentá-las em tempo real para os pacientes. Este trabalho é relevante para o desenvolvimento de dispositivos que fornecem feedback em tempo real aos usuários.

O trabalho de Santos *et al.* (2018) apresenta um jogo sério digital, chamado "I Blue It", desenvolvido para auxiliar na reabilitação de pacientes com enfermidades respiratórias. O jogo utiliza um dispositivo chamado PITACO, um pneumotacógrafo baseado no Pneumotacógrafo de Fleisch, que mede o fluxo e volume respiratório. O PITACO utiliza o sensor MPX5010DP para captar as medições de pressão, que são então processadas para determinar o fluxo respiratório dos pacientes. O jogo foi concebido com a colaboração de 85 especialistas em Reabilitação Respiratória e visa tornar a reabilitação mais interativa e motivadora para os pacientes, oferecendo feedback em tempo real sobre o desempenho e incentivando o engajamento através de elementos de gamificação.

Um estudo recente de Silva, Mendes e Pereira (2022) apresentou um sistema IoT baseado em *deep learning* para monitoramento remoto e detecção precoce de problemas de saúde. Este sistema utiliza sensores como o MAX30100 para medir os níveis de oxigênio no sangue e frequência cardíaca, o módulo AD8232 para sinais de ECG, e o sensor infravermelho MLX90614 para medir a temperatura corporal.

Os dados coletados são transmitidos para um servidor usando o protocolo MQTT, onde um modelo de *deep learning* pré-treinado classifica potenciais doenças. O sistema pode detectar diferentes categorias de batimentos cardíacos e febre, fornecendo *feedback*

em tempo real para profissionais de saúde e conectando automaticamente o usuário ao médico mais próximo em caso de anomalias críticas.

Embora existam muitos estudos na área de fisioterapia respiratória e tecnologias associadas, optou-se por incluir uma amostra representativa de trabalhos que oferecem abordagens relevantes e diretamente aplicáveis ao desenvolvimento e aprimoramento das soluções propostas neste projeto. Os trabalhos selecionados são aqueles que mais se alinham com os objetivos de integração de sensores, gamificação e monitoramento em tempo real, elementos centrais para o desenvolvimento do protótipo de baixo custo para fisioterapia respiratória. Essa amostra, embora compacta, captura os aspectos essenciais e diferenciadores que são relevantes para a comparação da solução que está sendo desenvolvida.

Tabela 1 – Comparação dos Trabalhos Correlatos.

Trabalho	Sensores	Comunicação	Processamento	Aplicação	Validação	Impacto e Custo
Figueiredo, Júnior e Rezende (2023)	Sensor Piezoelétrico	Bluetooth	Processamento no aplicativo móvel	Gamificação para exercícios fisioterapêuticos	Eficácia esperada, sem validação formal	Custo moderado, aumento do engajamento
Tincopa et al. (2022)	Sensores de Impedância	WiFi	Processamento por microcontrolador e servidor remoto	Monitoramento de taxa respiratória em pacientes com COVID-19	Validação clínica, alta precisão	Custo elevado, viável em larga escala
Castro (2019)	Sensor de Efeito Hall	Bluetooth	Local (Micro-controlador)	Feedback de sopros	Testes de bancada	Hardware de baixo custo
Santos et al. (2018)	MPX5010DP	Bluetooth	Processamento no aplicativo móvel	Jogo digital para reabilitação respiratória	Validação com especialistas	Custo acessível, incentivou adesão
Silva, Mendes e Pereira (2022)	MAX30100, AD8232, MLX90614	MQTT	Modelo de deep learning	Monitoramento remoto de saúde	Alta precisão, validação em deep learning	Custo elevado, prevenção de doenças
Trabalho Proposto	MPX5010DP, MPX5500DP	Bluetooth	Processamento local no ESP32	Monitoramento e treinamento respiratório	Validação prevista com dados clínicos	Custo otimizado, impacto positivo

Fonte: Autor (2025).

Ao comparar os trabalhos correlatos com o projeto proposto, conforme mostrado na Tabela 1, é possível identificar semelhanças e diferenças importantes. O estudo de Figueiredo, Júnior e Rezende (2023) utiliza um sensor piezoelétrico com comunicação via Bluetooth para gamificar exercícios respiratórios fisioterapêuticos. O processamento é feito em um aplicativo móvel e, apesar de não haver validação formal, a eficácia esperada

do sistema é considerada positiva. O custo moderado e o aumento no engajamento dos pacientes demonstram o impacto da gamificação nas terapias respiratórias, algo que se alinha parcialmente aos objetivos do projeto proposto.

De forma semelhante, o trabalho de Santos *et al.* (2018) também se concentra na gamificação para reabilitação respiratória, utilizando o sensor MPX5010DP e comunicação via Bluetooth, com processamento no aplicativo móvel. Um ponto positivo relevante para a proposta é o uso de gamificação e sensores para incentivar a adesão dos pacientes ao tratamento, algo que se alinha ao objetivo do projeto proposto. Além disso, o custo acessível e o aumento da adesão reforçam a viabilidade de soluções gamificadas.

Por outro lado, os trabalhos de Tincopa *et al.* (2022) e Silva, Mendes e Pereira (2022) são focados no monitoramento remoto de saúde e validaram suas soluções em ambientes clínicos, utilizando modelos de *deep learning* com alta precisão. No entanto, suas tecnologias de comunicação (WiFi e MQTT) e o alto custo de implementação em larga escala os tornam menos aplicáveis ao projeto atual, que prioriza o treinamento respiratório em vez da detecção contínua de sinais vitais.

Já o trabalho de Castro (2019), embora use sensores de efeito Hall e processamento com microcontroladores e tenha sido validado preliminarmente, foca na frequência dos sopros, algo que não se alinha completamente ao objetivo do projeto proposto, que visa medir a força muscular respiratória utilizando outro sensor. Ainda assim, esse estudo destacou-se pelo baixo custo e pela contribuição significativa para a melhoria da técnica de sopro.

Assim, embora os trabalhos correlatos ofereçam bases sólidas, o projeto proposto se destaca por otimizar custos e focar em uma solução gamificada voltada ao exame e treinamento respiratório, com validação clínica planejada. A análise desses estudos foi essencial para a definição da proposta, influenciando a escolha de tecnologias e estratégias, como o uso de sensores e gamificação.

Na sequência, é apresentada a proposta do trabalho, detalhando o que está sendo desenvolvido e as tecnologias utilizadas. São exibidos a modelagem, o infográfico do sistema, o caso de uso, e o diagrama de sequência. Além disso, são discutidos os valores de referência e de normalidade empregados para a avaliação dos parâmetros respiratórios dos pacientes, seguidos pela prototipação, resultados e discussões.

4 RESPIRO.SCAN: SOLUÇÃO PARA AVALIAÇÃO E TREINAMENTO RESPIRATÓRIO

O estudo dos trabalhos correlatos permitiu identificar avanços significativos na abordagem da fisioterapia respiratória. A solução desenvolvida integra uma variedade de aspectos, como destacado na Tabela 1. Uma das principais contribuições é a criação de um jogo que visa aprimorar o treinamento respiratório. Nesse sentido, o projeto incorpora a integração de microcontroladores e sensores de pressão de ar, resultando em uma abordagem abrangente para a fisioterapia respiratória.

O desenvolvimento desse trabalho consistiu em um sistema onde os dados do sensor de pressão de ar são transmitidos para um aplicativo móvel. O aplicativo exhibe em tempo real os valores durante os exercícios respiratórios do paciente, permitindo que o fisioterapeuta analise os dados e ajuste o treinamento de forma personalizada.

A eficiência deste sistema é definida pela acurácia dos dados coletados, que foi devidamente comprovada por meio da comparação direta com um manovacuômetro analógico na Subseção 4.3.4. Além disso, o sistema destaca-se pela capacidade de fornecer informações em tempo real e pelo custo otimizado de implementação decorrente do uso de sensores de prateleira e microcontroladores. Tais recursos permitem uma melhora efetiva na condição clínica do paciente, viabilizada pelo acompanhamento detalhado e pela personalização do tratamento.

O processo se inicia com a realização do exame de manovacumetria utilizando o protótipo desenvolvido. Esse exame avalia a força dos músculos respiratórios ao medir as pressões máximas inspiratória e expiratória. As informações coletadas durante o exame são transmitidas via Bluetooth para o aplicativo móvel, onde são armazenadas e analisadas. O aplicativo fornece uma interface intuitiva para que os fisioterapeutas possam acessar os resultados do exame de manovacumetria e utilizá-los para planejar o treinamento respiratório.

Após o exame, o paciente participa de um treinamento respiratório interativo, também utilizando o protótipo. O treinamento é baseado em um jogo que torna o processo mais atraente e motivador. Durante o treinamento, o aplicativo continua a monitorar e registrar os dados do sensor de pressão de ar, fornecendo feedback em tempo real sobre o desempenho do paciente. Isso permite ajustes imediatos e personalizados no plano de tratamento, garantindo uma abordagem mais eficaz.

Através do aplicativo, o fisioterapeuta terá acesso a todas as informações coletadas

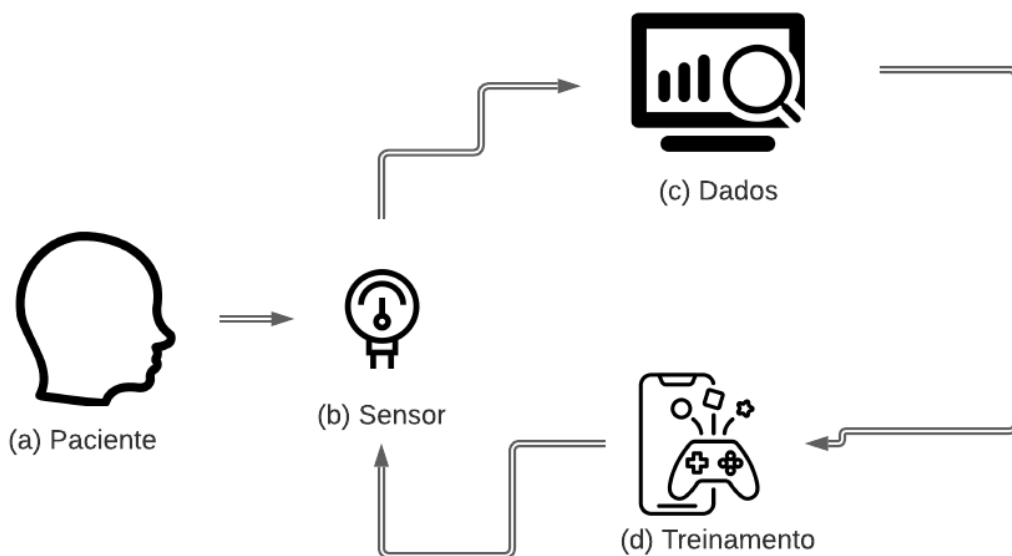
durante o exame de manovacuometria e as sessões de treinamento respiratório. Essa funcionalidade permitirá um acompanhamento detalhado do progresso do paciente ao longo do tempo. Com essas informações em mãos, o fisioterapeuta poderá ajustar o tratamento de forma individualizada e personalizada.

Com essa abordagem, o trabalho desenvolvido visa aprimorar a reabilitação de pacientes com problemas respiratórios. Ao tornar o treinamento respiratório mais atrativo e ao fornecer dados detalhados ao fisioterapeuta, acredita-se que o projeto desenvolvido possa contribuir significativamente para o bem-estar e a qualidade de vida dos pacientes, proporcionando uma nova perspectiva no tratamento dessas condições de saúde.

4.1 Arquitetura Respiro.Scan

Nessa seção, é apresentada a arquitetura geral do sistema Respiro.Scan, destacando o funcionamento integrado entre os componentes de hardware e software. São descritas as etapas do processo de avaliação e treinamento respiratório, bem como os fluxos de dados entre sensores, microcontrolador, aplicativo móvel e profissional da saúde.

Figura 3 – Modelagem da Solução.



Fonte: Autor (2025).

Na Figura 3, é apresentada a arquitetura da solução, que funciona da seguinte

forma: (a) O paciente é conduzido até o sensor de pressão de ar, onde realiza um teste inicial para avaliação respiratória. Em seguida, os dados coletados são analisados (c) pelo fisioterapeuta durante a fase de diagnóstico. Com base nessa análise, o profissional realiza o ajuste do treinamento por meio de dois mecanismos complementares: no aplicativo, ele define o nível de dificuldade do jogo (fácil, médio ou difícil), o que adapta os limites de pontuação e o comportamento dos elementos gamificados à força do paciente.

Simultaneamente, o fisioterapeuta ajusta manualmente o registro de esfera no bocal mecânico, utilizando a régua de 180 graus como referência para regular a resistência ao fluxo de ar, conforme detalhado na Subseção 4.3.4. Essa combinação de ajustes eletrônicos e mecânicos garante que o exercício seja executado em uma zona terapêutica segura e personalizada.

O treinamento consiste na execução de ciclos de manobras de inspiração ou expiração forçada contra a resistência mecânica do bocal, em que o paciente utiliza o biofeedback visual dos jogos para controlar a intensidade e a sustentação do esforço respiratório.

Após essa etapa de exercícios, o paciente é liberado, e o fisioterapeuta marca uma nova sessão. Durante essa nova sessão, uma nova coleta é realizada por meio do sensor (b), gerando novos dados (c). Esses dados são novamente analisados pelo fisioterapeuta, que verifica se há necessidade de um novo ciclo de treinamento. Se os resultados indicarem que o paciente ainda precisa de melhorias, o fisioterapeuta ajusta o treinamento (d) com base nos dados coletados e analisados (c). Caso contrário, se o fisioterapeuta concluir que o paciente atingiu os objetivos do tratamento, ele é liberado.

Essa abordagem visa promover a reabilitação respiratória de forma mais dinâmica e personalizada, utilizando o feedback contínuo do sensor de pressão de ar para acompanhar o progresso do paciente e adaptar o tratamento de acordo com suas necessidades específicas.

O trabalho utiliza um modelo proposto para a reabilitação respiratória utilizando um microcontrolador ESP32 conectado a um sensor de pressão de ar. O modelo utilizado possui duas versões, uma com o sensor de pressão de ar MPX5010DP, que mede até 10 kPa, sendo voltado para um público mais infantil, pois satura rapidamente com a pressão exercida pelo paciente. A outra versão utilizando o sensor MPX5500DP, cuja medida vai até 500 kPa, abrangendo todos os pacientes.

Ambas as versões utilizaram o ESP32 (ESP-WROOM-32) com dois protótipos equipados com dispositivos que registram o fluxo de ar. Para medir o fluxo na válvula

de escape, foi utilizado um registro de esfera semelhante aos utilizados em sistemas de controle de fluxo de água. Esse registro permite regular a passagem de ar através da abertura da válvula, e a régua de 180 graus acoplada ao registro serve como orientação para indicar o nível de fluxo de ar.

O sensor de pressão de ar foi calibrado por meio de uma comparação direta com um manovacuômetro analógico, garantindo que os valores obtidos fossem consistentes com os padrões esperados de pressão respiratória. Este procedimento de validação consistiu na conexão simultânea de ambos os dispositivos à mesma linha de pressão para ajuste de offset e sensibilidade, conforme detalhado na Subseção 4.3.4.

Os dados do sensor são inicialmente transmitidos via Bluetooth para um aplicativo, onde o fisioterapeuta poderá analisar os valores obtidos no exame realizado pelo paciente. Após essa análise e o ajuste dos parâmetros de carga, inicia-se a fase de treinamento. Esta etapa consiste na execução de ciclos de manobras de inspiração ou expiração contra a resistência mecânica do bocal, utilizando um jogo sério no qual o paciente controla o personagem na tela através do esforço respiratório.

Através da plataforma Respiro.Scan, o paciente recebe feedback visual em tempo real, o que auxilia na manutenção da intensidade necessária para a reabilitação muscular.

Na Figura 4 é apresentado um infográfico detalhado do sistema desenvolvido, ilustrando o fluxo de trabalho e as etapas envolvidas no processo de avaliação e treinamento respiratório. O infográfico serve como uma ferramenta visual que descreve cada fase do sistema, desde o cadastro inicial do paciente até a análise dos dados e a integração dos resultados no perfil do paciente.

A seguir, estão descritas as etapas representadas no infográfico, fornecendo uma visão abrangente de como o sistema funciona e como cada componente contribui para a eficácia do treinamento e avaliação respiratória.

Figura 4 – Infográfico do Sistema.



Fonte: Autor (2025).

1. **Cadastro no Sistema:** O paciente é cadastrado no sistema, fornecendo informações básicas ou seleciona o paciente já cadastrado.
2. **Seleção do Exame:** O profissional de saúde seleciona o exame para o paciente cadastrado realizar.
3. **Manovacumetria:** O paciente realiza o teste de manovacumetria.
4. **Seleção do Treinamento:** Após a manovacumetria, o profissional da saúde seleciona o protocolo de treinamento, definindo o nível de dificuldade (limiares de pressão) e a carga mecânica no bocal conforme a capacidade identificada no paciente.

5. **Treinamento Respiratório:** O paciente é direcionado para um treinamento respiratório em formato de jogo sério.
6. **Análise dos Dados:** O sistema coleta e apresenta de forma visual os resultados, como os picos de pressão (PImáx e PEmáx) obtidos no teste e o desempenho do paciente, medido pela pontuação final e pelo tempo de sustentação do esforço. Gráficos automáticos de pressão versus tempo (curva de pressão) proporcionam uma visão clara da evolução do paciente em cada sessão.
7. **Integração no Cadastro:** Os resultados são integrados ao perfil do paciente no sistema.
8. **Finalizar a Sessão:** Conclusão da interação. Possibilita o acompanhamento contínuo do paciente.

4.2 Modelagem

Nesta seção, são apresentados os principais elementos de modelagem do sistema Respiro.Scan. Estão incluídos os diagramas de casos de uso e de sequência, bem como os requisitos funcionais e não funcionais identificados ao longo do projeto. Essa modelagem orientou o desenvolvimento da solução, assegurando uma organização lógica e coerente das funcionalidades.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos requisitos do sistema, enquanto no Apêndice A eles são descritos de forma detalhada. Segundo Sommerville (2007), os requisitos devem ser claramente compreendidos e documentados de forma a garantir que o produto final atenda às necessidades de todas as partes interessadas.

O levantamento dos requisitos para o desenvolvimento do sistema baseou-se na análise das funcionalidades dos equipamentos de referência clínica como o manovacuômetro e o Powerbreathe aliados às necessidades de monitoramento digital. A definição do que o aplicativo deveria executar foi estabelecida para garantir que o fluxo de trabalho do fisioterapeuta fosse contemplado de forma integrada e automatizada desde a avaliação inicial até o acompanhamento do histórico dos pacientes.

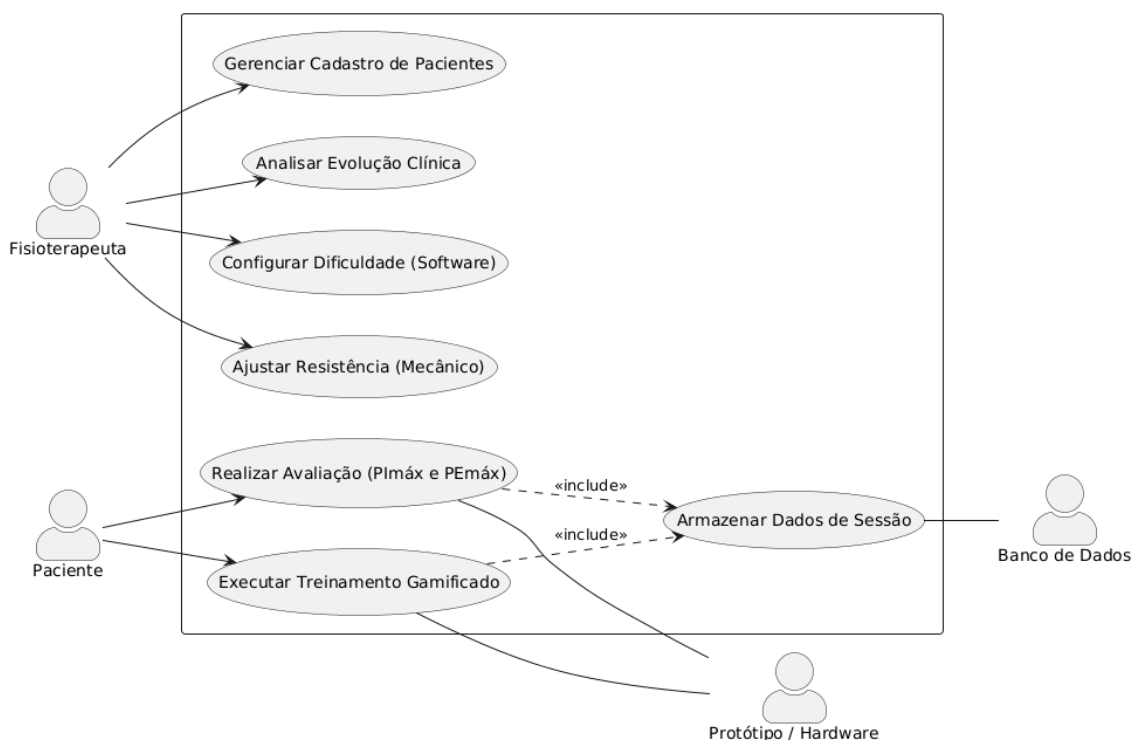
Tabela 2 – Requisitos do Sistema.

Tipo	ID	Descrição
Funcional	RF01	Cadastro de fisioterapeutas.
Funcional	RF02	Cadastro de pacientes.
Funcional	RF03	Realização de Avaliação: Execução de exames de manovacuometria para medição de pressões respiratórias máximas.
Funcional	RF04	Seleção e Configuração de Treinamento: O sistema permite selecionar o protocolo de exercício e ajustar os níveis de dificuldade com base na avaliação.
Funcional	RF05	Execução de Treinamento Gamificado: Realização de sessões de treinamento com uso de jogos sérios e monitoramento em tempo real.
Funcional	RF06	Recebimento de dados via <i>Bluetooth</i> .
Funcional	RF07	Armazenamento de dados no <i>Firebase</i> .
Funcional	RF08	Visualização de histórico de exames e treinamentos.
Funcional	RF09	Edição de informações dos pacientes.
Não Funcional	RNF01	Segurança dos dados.
Não Funcional	RNF02	Compatibilidade com dispositivos Android.
Não Funcional	RNF03	Usabilidade.
Não Funcional	RNF04	Confiabilidade.

Fonte: Autor (2025).

O diagrama de caso de uso, ilustrado na Figura 5, detalha as interações entre os atores e as funcionalidades do sistema. A modelagem evidencia as diferentes camadas de comunicação: o protótipo (bocal e sensores) comunica-se com o aplicativo via Bluetooth, enquanto o aplicativo sincroniza as informações com o banco de dados via internet.

Figura 5 – Casos de Uso.



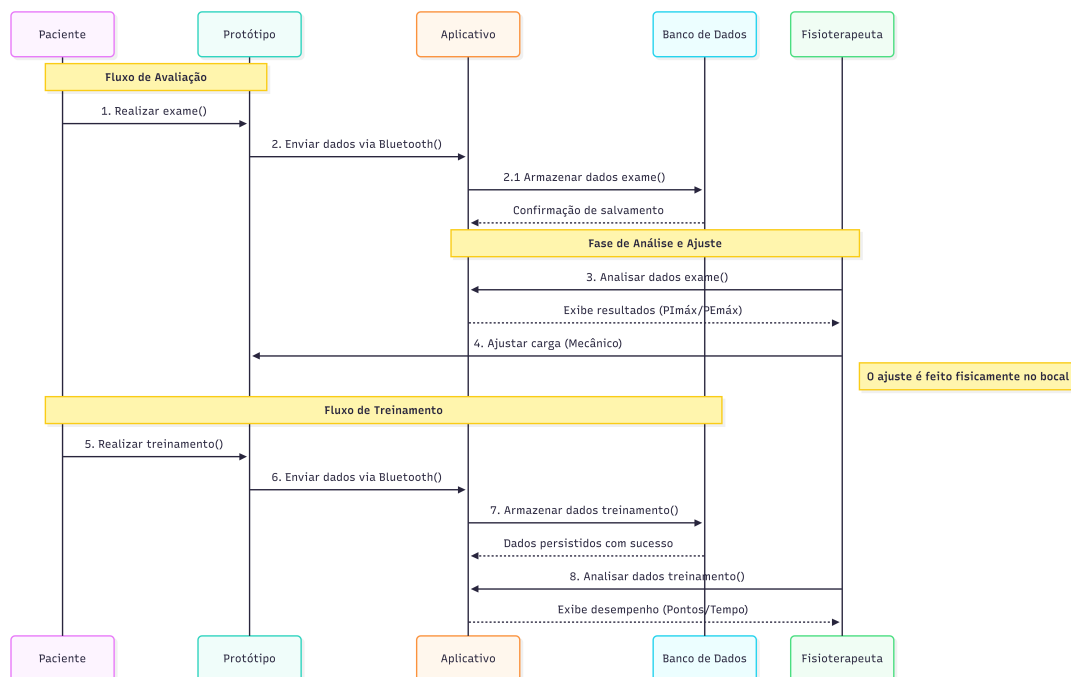
Fonte: Autor (2025).

Os principais atores são o paciente e o fisioterapeuta. O paciente é o responsável pela execução de ambas as atividades principais: a avaliação e o treinamento. Para isso, ele utiliza o bocal mecânico, onde o fluxo de ar gerado pelo seu esforço ativa o sensor de pressão, que envia os dados ao aplicativo.

O fisioterapeuta atua no controle da sessão, sendo responsável por selecionar no aplicativo qual modo o paciente irá executar. Durante a avaliação, o sistema identifica os picos de pressão inspiratória e expiratória máxima (PImáx e PEmáx). Já no treinamento, o paciente utiliza o bocal para interagir com a interface lúdica, enquanto o sistema monitora a pontuação e o tempo de sustentação. Conforme indicado pelo relacionamento de inclusão (*include*), o armazenamento desses dados ocorre de forma automática após a execução de qualquer uma das duas atividades, garantindo que os resultados do paciente sejam salvos sem erros manuais.

Além de iniciar as sessões, o fisioterapeuta gerencia o cadastro e analisa a evolução clínica pelo histórico. O profissional também personaliza a terapia em duas frentes: ajusta manualmente a resistência ao fluxo de ar no registro do bocal e configura no aplicativo o nível de dificuldade do jogo, adequando o exercício à capacidade respiratória demonstrada pelo paciente.

Figura 6 – Diagrama de Sequencia.



Fonte: Autor (2025).

O diagrama de sequência, apresentado na Figura 6, descreve o fluxo de interação cronológica entre os componentes do sistema. Após a coleta dos dados do exame, o protótipo envia os valores via Bluetooth para o aplicativo móvel. O aplicativo gerencia a persistência dessas informações no banco de dados, que retorna uma confirmação de salvamento ao sistema.

Em seguida, o fisioterapeuta acessa o aplicativo para analisar os picos de pressão (PImáx e PEmáx) e ajustar o protótipo para o treinamento respiratório, regulando mecanicamente o registro de esfera que controla o fluxo de ar. O paciente realiza então o treinamento gamificado, gerando dados de desempenho e pontuação que são novamente enviados ao aplicativo e armazenados na nuvem.

Esse fluxo permite ao fisioterapeuta avaliar a evolução do paciente em tempo real e finalizar a sessão com um histórico completo. O diagrama evidencia a integração entre hardware e software, promovendo um acompanhamento contínuo e personalizado do tratamento fisioterapêutico.

4.3 Projeto Piloto - Implementação e Resultados Iniciais da Primeira Etapa

As etapas descritas a seguir correspondem à primeira fase deste estudo, dedicada à construção do protótipo inicial e à validação preliminar dos conceitos. Os resultados obtidos nesta etapa serviram de base fundamental para o refinamento da solução e a continuidade da pesquisa.

4.3.1 Valores de Referência e Limiares de Normalidade

Nesta seção, serão apresentados os valores de referência e as equações de normalização utilizadas para calcular as pressões respiratórias máximas em função da idade e do sexo. As equações de normalização são fórmulas matemáticas que permitem ajustar os valores de pressões respiratórias, considerando as características individuais dos pacientes, como idade e sexo. A utilização dessas equações é para garantir a precisão dos resultados, pois possibilita a normalização dos dados obtidos no exame de manovacuometria. Sem essa normalização, os resultados poderiam ser interpretados de maneira incorreta, levando a conclusões imprecisas sobre a saúde respiratória do paciente.

Tabela 3 – Equações de normalização das pressões respiratórias máximas.

Homens de 20 a 80 anos	
P _{Imáx} (cmH ₂ O)	120 – 0,41A
P _{Emáx} (cmH ₂ O)	174 – 0,83A
Mulheres de 20 a 80 anos	
P _{Imáx} (cmH ₂ O)	108 – 0,61A
P _{Emáx} (cmH ₂ O)	131 – 0,86A

* A = idade em anos.

Fonte: Neder *et al.* (1999).

A Tabela 3 apresenta as equações de normalização utilizadas para calcular as pressões respiratórias máximas (P_{Imáx} e P_{Emáx}) em função da idade, separadas por sexo. Para homens e mulheres, as equações são aplicáveis na faixa etária de 20 a 80 anos. As equações para P_{Imáx} são apresentadas em valores absolutos, e "A" representa a idade em anos. A normalização permite que os resultados obtidos com o protótipo sejam comparáveis aos valores de referência estabelecidos, garantindo assim a precisão

e a confiabilidade das medições. O uso dessas equações viabiliza a interpretação dos resultados, auxiliando na identificação de possíveis disfunções respiratórias e contribuindo para o desenvolvimento de tratamentos adequados.

Tabela 4 – Valores de referência para as pressões respiratórias máximas.

Idade (anos)	PI _{máx} (Homens)	PI _{máx} (Mulheres)	PE _{máx} (Homens)	PE _{máx} (Mulheres)
20-29	128 ± 29	96 ± 23	166 ± 34	118 ± 32
30-39	120 ± 27	92 ± 22	157 ± 33	116 ± 31
40-49	110 ± 28	85 ± 20	149 ± 32	109 ± 30
50-59	101 ± 28	78 ± 20	140 ± 31	102 ± 29
60-69	92 ± 30	70 ± 21	131 ± 30	95 ± 28
70-79	84 ± 31	63 ± 22	122 ± 29	89 ± 27

Fonte: Neder *et al.* (1999).

Além das equações de normalização, a Tabela 4 fornece valores de referência para as pressões respiratórias máximas por idade e sexo, baseados no estudo de Neder *et al.* (1999). Esses padrões são fundamentais para comparar os resultados coletados pelo sistema com o que é esperado para uma pessoa saudável, permitindo avaliar a força muscular respiratória de forma precisa.

A validação do protótipo ocorreu por meio de uma análise comparativa, na qual os valores medidos pelo sistema foram confrontados com um manovacuômetro comercial de referência. Para garantir a confiabilidade técnica do hardware, adotou-se o limite de erro máximo de 5%, conforme recomendado pelas diretrizes da American Thoracic Society e European Respiratory Society (2005). Esse percentual representa a margem de erro aceitável para que o sensor seja considerado preciso em ambiente clínico.

Com a precisão do sensor validada, torna-se possível distinguir com clareza o erro do equipamento de uma real disfunção do paciente. Enquanto os 5% de variação são inerentes à eletrônica do transdutor, a disfunção respiratória é identificada apenas quando o valor medido situa-se abaixo dos níveis previstos na literatura.

Dessa forma, a validação assegura que os resultados apresentados pelo aplicativo refletem com fidelidade a condição clínica do indivíduo, e não instabilidades do dispositivo desenvolvido.

4.3.2 Tecnologias utilizadas

As alterações na musculatura respiratória é essencial para diagnosticar condições como insuficiência respiratória, fraqueza ou fadiga muscular. Nesse contexto, o manovacuômetro é um equipamento amplamente utilizado para medir com precisão a força da musculatura inspiratória e expiratória, por meio da pressão negativa e positiva.

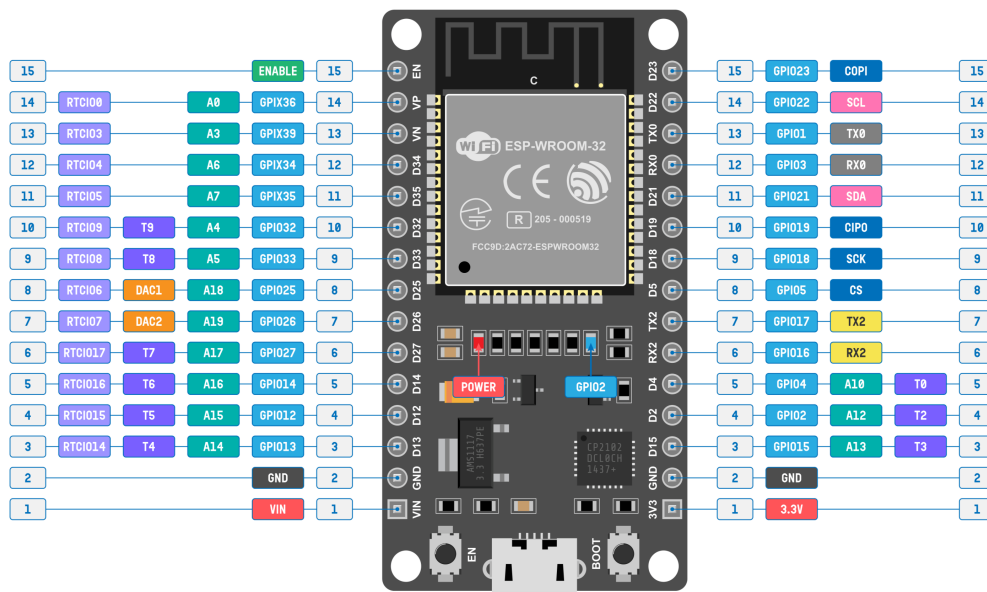
Este trabalho propõe uma abordagem que utiliza a ideia do manovacuômetro combinada com tecnologias modernas para auxiliar no treinamento e análise respiratória. Para isso, foram empregadas as seguintes tecnologias:

- Microcontrolador ESP32 (Esp-wroom-32): Responsável por captar os dados do sensor de pressão de ar e enviá-los via Bluetooth.
- Sensor de pressão de ar: Utiliza dois tipos de sensores, o MPX5010DP de menor capacidade e o MPX5500DP de maior capacidade, ambos capazes de medir o fluxo de ar durante a inspiração e expiração do paciente.
- Flutter: Utilizado para desenvolver o aplicativo, fornecendo a interface de usuário e interação com o sistema.
- Firebase : Usado para armazenar os dados coletados e mantê-los acessíveis para análise.
- Flame : Engine usado para criar a gamificação do treinamento respiratório.

Essa abordagem visa tornar o processo de análise e treinamento respiratório mais eficiente, interativo e acessível. O uso de tecnologias modernas possibilita o acompanhamento mais preciso do paciente e a elaboração de protocolos terapêuticos mais personalizados.

Para este trabalho, foi utilizado o modelo ESP32 Esp-wroom-32 DOIT ESP32 DevKit V1, conforme ilustrado na Figura 7. O ESP32 é um microcontrolador versátil, que integra Wi-Fi e Bluetooth dual-mode, tornando-o ideal para uma ampla gama de aplicações IoT (Internet das Coisas).

Figura 7 – Esp32 sem Bateria.



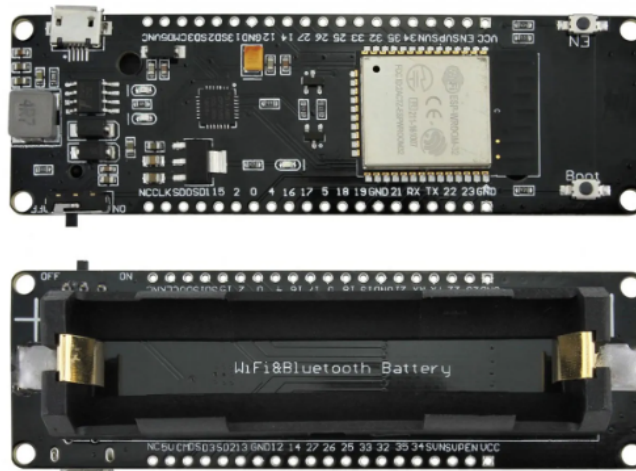
Fonte: Mohanan (2022).

O modelo ESP32 (módulo ESP-WROOM-32) apresenta alta eficiência em aplicações que exigem conectividade e processamento simultâneos. Essa capacidade é fundamentada em seu processador dual-core Xtensa LX6, operando em frequências de até 240 MHz, o que permite gerenciar a pilha de protocolos sem fio e o controle de periféricos em tempo real sem perda de desempenho. O módulo dispõe de uma arquitetura versátil que integra GPIOs, ADCs, DACs, UARTs, SPIs, I2Cs e PWM, características que o qualificam para sistemas de monitoramento clínico que demandam precisão e transmissão contínua de dados.

Para viabilizar a prototipagem, utilizou-se a placa DOIT ESP32 DevKit V1, que facilita o acesso aos pinos de entrada e saída do módulo e inclui interface micro USB para alimentação e programação. Devido à facilidade de integração e ao amplo suporte documental, essa placa é amplamente aplicada em dispositivos vestíveis e monitoramento remoto.

Buscando aprimorar a portabilidade do sistema, implementou-se uma variação desse hardware com suporte integrado para bateria, conforme ilustrado na Figura 8. A utilização deste modelo específico permitiu eliminar a dependência de fontes externas de energia via cabo, conferindo maior autonomia ao protótipo e facilitando o manuseio durante as sessões de fisioterapia respiratória.

Figura 8 – Esp32 com Bateria.



Fonte: Casa da Robótica (2025).

O DOIT ESP32 DevKit V1 com suporte para bateria oferece a mesma funcionalidade e capacidade do modelo Esp-wroom-32, mas com a vantagem adicional de um conector para baterias LiPo. Esta característica permite que o dispositivo seja alimentado de maneira autônoma, tornando-o ideal para aplicações móveis ou onde a conexão com uma fonte de energia fixa não é viável.

Este modelo inclui um circuito de carregamento integrado, que permite que a bateria seja recarregada diretamente através do conector micro-USB, simplificando o gerenciamento de energia do dispositivo. Além disso, o suporte para baterias facilita a implementação de projetos em ambientes externos ou em locais de difícil acesso, onde a autonomia energética é crucial.

Os testes foram realizados inicialmente apenas com o ESP32 sem bateria, e posteriormente, foram estendidos a ambos os modelos, garantindo que ambos estivessem plenamente funcionais. Essa abordagem permite comparar o desempenho e a eficiência energética de cada versão, assegurando que a solução final seja a mais adequada para as necessidades do projeto.

Diferentes sensores de pressão foram utilizados para coletar dados relacionados à capacidade respiratória dos pacientes. Esses sensores desempenham um papel na medição da pressão gerada durante as fases de inspiração e expiração, permitindo a análise detalhada da força muscular respiratória. A seguir, são apresentados os principais sensores utilizados e suas especificações técnicas.

O sensor MPX5010DP conforme mostrado na Figura 9, fabricado pela NXP

Semiconductors, é um sensor de pressão diferencial que permite medir a diferença de pressão entre dois pontos ou a pressão em relação à atmosfera. Sua saída consiste em uma tensão proporcional à pressão aplicada, o que o torna adequado para a integração em sistemas baseados em microcontroladores. Como sua resposta é linear, o sinal pode ser facilmente digitalizado por conversores analógico digitais (ADCs), permitindo o processamento numérico preciso dos níveis de pressão capturados.

Além disso, sua operação independe de componentes externos e pode ser alimentado por uma única fonte de energia. Com uma sensibilidade de 4,413 mV por mmH₂O (milímetros de coluna de água, uma unidade de medida de pressão comumente usada em aplicações de baixa pressão), o sensor MPX5010DP oferece uma precisão confiável de $\pm 1,5\%$ na faixa de medição de 0 a 10 kPa (0 a 1020 mmH₂O). Essa sensibilidade indica que, para cada 1 mmH₂O de pressão aplicada, o sensor gera uma variação de 4,413 milivolts na saída. O sensor mantém essa precisão em uma ampla faixa de temperatura, variando de -40°C a 125°C , garantindo desempenho em diferentes condições ambientais.

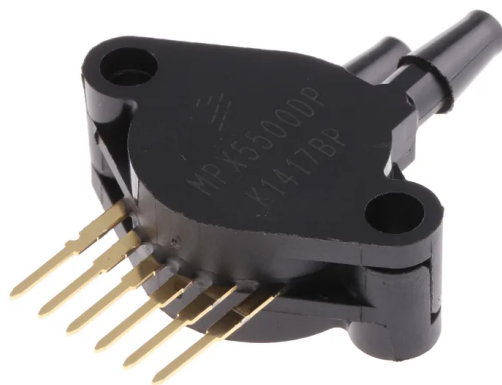
Por outro lado, o MPX5500DP conforme mostrado na Figura 10, também fabricado pela NXP Semiconductors, é um sensor de pressão que fornece uma saída de tensão proporcional à pressão do ar aplicada. Com uma faixa de operação de 72,52 PSI (500 kPa) e uma precisão de $\pm 2,5\%$. Possui uma sensibilidade de 0,2 mV/kPa, garantindo uma resposta precisa mesmo em condições extremas de temperatura, entre -40°C e 125°C .

Figura 9 – MPX5010DP



Fonte: RS Components(2024).

Figura 10 – MPX5500DP



Fonte: RS Components(2024).

Ambos os sensores são cruciais em diversas aplicações que envolvem medição de pressão, tais como sistemas de controle de fluidos, monitoramento de nível de líquidos e sistemas de segurança.

Para este trabalho, realizou-se a calibração dos sensores por meio da comparação

direta entre os valores lidos pelo protótipo e os níveis de pressão indicados por um manovacuômetro comercial de referência.

Esse procedimento envolveu o ajuste do *offset*, que consiste na zeragem do sinal para garantir que o sensor indique valor nulo quando não houver pressão aplicada, eliminando ruídos iniciais de leitura.

Adicionalmente, ajustou-se a sensibilidade do sistema, que define a razão de mudança entre a tensão de saída e a pressão física detectada, assegurando que o fator de escala estivesse correto em toda a faixa de medição.

Esses refinamentos foram essenciais para nivelar as respostas do hardware, proporcionando maior segurança nos resultados obtidos e garantindo a integridade das análises clínicas realizadas.

No caso do sensor MPX5010DP, as especificações nominais do fabricante indicam um *offset* inicial de 200 mV e uma sensibilidade de 4,413 mV/mmH₂O. Tecnicamente, a sensibilidade representa a razão entre a variação da tensão de saída e a pressão aplicada. Quanto maior esse valor, maior será a variação de voltagem detectada para cada unidade de pressão, o que favorece a resolução do sinal.

A implementação desses ajustes e a programação do ESP32 foram realizadas através da IDE do Arduino, plataforma escolhida pela eficiência no desenvolvimento de código e suporte a bibliotecas de sensores. Os ajustes de *offset* e sensibilidade não ocorreram nos componentes físicos, mas sim de forma lógica.

No código, esses parâmetros foram definidos como variáveis, permitindo refinamentos manuais sucessivos. O procedimento consistiu em aplicar pressões conhecidas e comparar, em tempo real, a leitura digital gerada pelo microcontrolador com a indicação visual de um manômetro analógico de referência.

Dessa forma, os valores das variáveis no código foram ajustados de forma empírica até que os resultados processados estivessem alinhados ao instrumento analógico. Após esse processo, o *offset* do MPX5010DP foi configurado em 61,9 mV e a sensibilidade em 3,02 mV/mmH₂O.

De modo semelhante, o sensor MPX5500DP resultou em um *offset* de 10 mV e sensibilidade de 0,088 mV/mmH₂O. Tais correções foram necessárias também devido a fatores de integração, como o uso de um divisor de tensão para regular a saída do sensor de 5V para 3,3V, tornando-a compatível com o pino GPIO36 do ESP32.

O sinal analógico foi então digitalizado pelo conversor analógico digital (ADC) integrado de 12 bits, que transforma as variações de tensão em valores numéricos entre

0 e 4095. A função implementada no código mapeou essas leituras para a faixa de operação real, garantindo que o processamento matemático fornecesse valores de pressão condizentes com a realidade física observada durante os testes.

O desenvolvimento do aplicativo que acompanhará o protótipo foi realizado utilizando as tecnologias ilustradas na Figura 11. O Android Studio, uma das IDEs para o desenvolvimento de aplicações móveis, será o ambiente de desenvolvimento. Integrado com o Flutter, um *framework* multiplataforma desenvolvido pelo Google, o Android Studio oferece uma plataforma robusta para a criação de interfaces modernas e eficientes. O uso do Flutter, junto com a *engine* Flame, possibilitou a construção de um aplicativo com funcionalidades e elementos interativos.

Figura 11 – Linguagem e Tecnologias.



Fonte: Autor (2025).

O Flutter foi escolhido para o desenvolvimento do aplicativo devido à sua capacidade de criar interfaces de usuário altamente responsivas e de alto desempenho a partir de uma única base de código. Utilizando a linguagem Dart, o Flutter ofereceu uma ampla gama de *widgets* pré-construídos e personalizáveis, além de ferramentas robustas para testes e depuração. Tecnologias alternativas, como React Native e Xamarin, também proporcionam desenvolvimento multiplataforma, mas o Flutter se destacou pela eficiência na renderização de componentes visuais e pela sua arquitetura flexível.

Como os dados dos pacientes precisavam ser armazenados e comparados por sessões de diagnóstico e treinamento, optou-se pelo Firebase. Apesar de alternativas como AWS Amplify e MongoDB Atlas, o Firebase foi escolhido por pertencer ao mesmo ecossistema do Google, oferecendo pacotes oficiais que garantem alta compatibilidade com o Flutter.

Além disso, a implementação de serviços como banco de dados em tempo real e autenticação acelerou o desenvolvimento sem comprometer a segurança das informações clínicas.

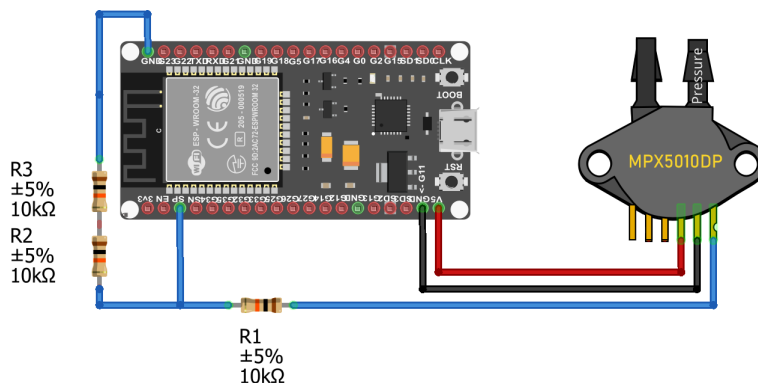
Por fim, o aplicativo contou com jogos de treinamento respiratório desenvolvido com a *engine* Flame, especializada em jogos 2D. O Flame ofereceu ferramentas para animação, gerenciamento de imagens e detecção de colisões, fundamentais para criar uma experiência interativa. Embora alternativas como Unity e Godot tenham sido consideradas, o Flame foi selecionado pela sua excelente integração com o ciclo de vida do Flutter e pela simplicidade no desenvolvimento de mecânicas lúdicas voltadas à saúde. Esses recursos foram fundamentais para a criação e implementação do aplicativo, assegurando seu funcionamento adequado e desempenho eficiente durante os testes realizados.

4.3.3 Construção e Prototipagem do Modelo Digital

O modelo digital foi projetado com o objetivo de integrar o sensor de pressão de ar ao ESP32, permitindo a leitura e o processamento dos dados de pressão respiratória. Os requisitos para esse modelo incluíram a necessidade de garantir a compatibilidade entre os níveis de tensão do sensor e do microcontrolador, bem como a capacidade de processar as medições de maneira precisa e segura. A estrutura foi planejada para ser expansível, permitindo a implementação de melhorias como o uso de uma bateria para aumentar a portabilidade.

Após a definição do projeto, deu-se início à implementação do primeiro modelo, conforme ilustrado na Figura 12. O desenvolvimento do protótipo envolveu a integração de três resistores de 10 kohm, configuração essencial para ajustar a tensão de saída do sensor. A alimentação do dispositivo foi feita através da porta Vin, que fornece 5V. No pino de saída de dados, a tensão também se manteve em 5V; entretanto, para garantir a compatibilidade com o pino de entrada do ESP32, que suporta no máximo 3,3V, utilizou-se um divisor de tensão com os resistores mencionados, reduzindo o sinal para um nível seguro ao microcontrolador.

Figura 12 – Primeiro Modelo Proposto.

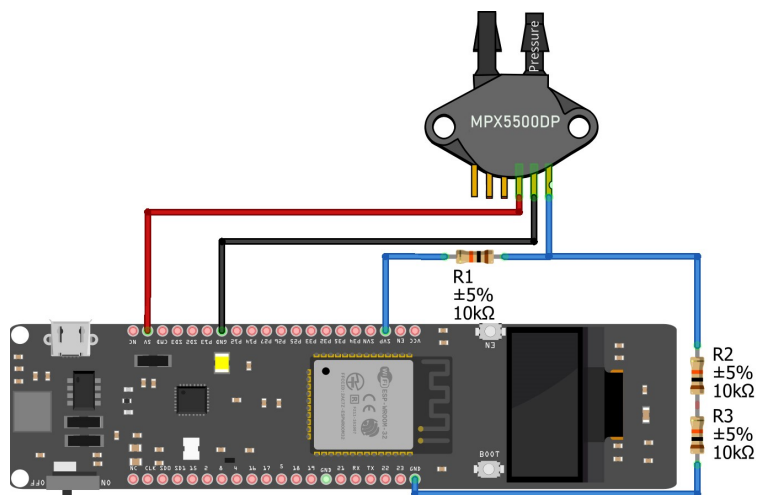


Fonte: Autor (2025).

O pino GPIO36 utilizou um conversor analógico digital (ADC) de 12 bits, capaz de gerar até 4096 valores distintos para representar a tensão recebida.

Essa resolução mostrou-se adequada para a aplicação clínica pois, considerando a faixa de operação de 0 a 3,3V, o sistema apresentou uma sensibilidade de aproximadamente 0,8 mV por unidade digitalizada. Comparando essa capacidade com os sensores utilizados, o MPX5010DP possui uma sensibilidade de 3,02 mV/mmH₂O, resultando em uma resolução de sistema de aproximadamente 0,26 mmH₂O por nível do ADC. Como as pressões respiratórias humanas variam em centímetros de água (cmH₂O), a capacidade de detecção do protótipo foi cerca de quarenta vezes superior à menor unidade de medida clínica usual. Essa margem garantiu que o ESP32 processasse os dados com a precisão necessária para identificar variações sutis no esforço respiratório, assegurando um processamento eficiente e correto.

Figura 13 – Segundo Modelo Proposto.



Fonte: Autor (2025).

Este segundo modelo, conforme ilustrado na Figura 13, representou uma das versões de implementação exploradas durante o projeto piloto. Nessa configuração, utilizou-se o ESP32 com suporte integrado para bateria com o intuito de testar a viabilidade da alimentação autônoma, visando eliminar a necessidade de fios conectados a fontes externas e tornar o sistema mais prático.

Embora os componentes e a lógica de funcionamento tenham permanecido idênticos ao primeiro modelo, essa versão serviu como uma prova de conceito para a portabilidade do dispositivo, precedendo as modificações posteriores onde se optou pela utilização de um *shield* de bateria específico para a alimentação do protótipo final.

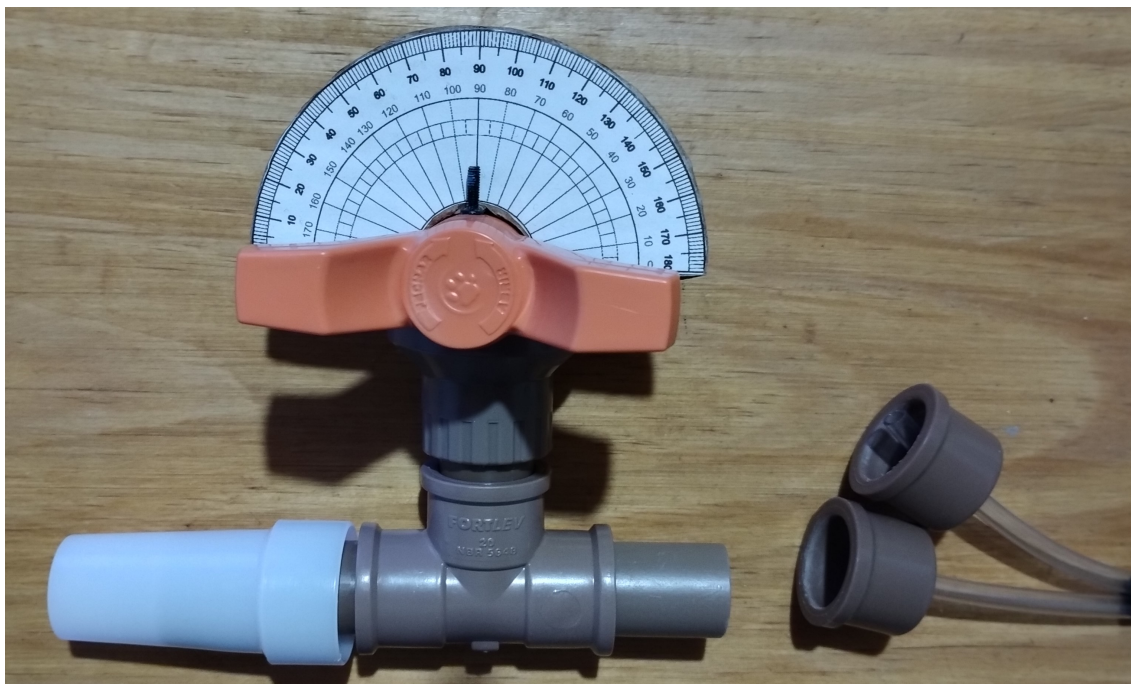
4.3.4 Construção do Modelo Mecânico

O modelo mecânico foi desenvolvido como uma interface entre o paciente e o modelo digital, proporcionando uma conexão eficaz com o sensor de pressão. Ele contou com um bocal que permitiu ao paciente respirar, enquanto o sensor no modelo digital realizou as medições necessárias. Foi equipada também uma saída de ar com um registro, permitindo que o fisioterapeuta ajustasse o fluxo de ar para o treinamento respiratório.

Os requisitos estabelecidos para este modelo visaram garantir uma conexão estável e hermética entre o paciente e o sistema de medição, o que foi fundamental para otimizar a captação dos dados respiratórios. Ao definir especificações rigorosas para a interface física e o tempo de resposta do sensor, o projeto buscou minimizar perdas de pressão e interferências externas, assegurando que o processamento dos sinais refletisse com fidelidade o esforço ventilatório realizado.

Após a criação do modelo digital, a coleta de dados foi realizada utilizando o bocal mecânico desenvolvido, que foi projetado com uma entrada de ar em uma extremidade e um registro de esfera para regular o fluxo, conforme ilustrado na Figura 14. A outra extremidade do bocal serviu como suporte para a conexão com o sensor de pressão de ar.

Figura 14 – Protótipo do Bocal Mecânico.



Fonte: Autor (2025).

Além disso, foi colado um pedaço de cartão ao registro, servindo como um referencial de abertura, com uma impressão de uma régua de 180 graus. Quando o registro está completamente fechado, ele aponta para 90 graus.

Para a aferição dos valores obtidos pelo sensor de pressão de ar, foi utilizado um manovacuômetro para assegurar a precisão dos valores. O manovacuômetro foi conectado a uma extremidade do sistema, enquanto o sensor de pressão de ar foi conectado à outra extremidade conforme mostrado na Figura 15.

Foi possível verificar que os valores medidos pelo sensor de pressão de ar no ESP32 eram equivalentes aos valores mostrados pelo manovacuômetro. Isso confirmou que o sensor estava corretamente ajustado, levando em consideração as alterações feitas no *offset* e na sensibilidade do sensor durante a programação do ESP32 utilizando a IDE do Arduino.

Essa aferição foi realizada para ambos os sensores e para ambas as entradas e saídas de ar, ou seja, para a expiração e inspiração.

Figura 15 – Protótipo com Manovacuometro.



Fonte: Autor (2025).

Para aferir os valores da abertura do registro, foi utilizado um processo de medição gradual, cujos resultados estão organizados nas Tabelas 5 e 6. Essas tabelas apresentam os dados em cmH_2O da Pressão Máxima Inspiratória (PMI) e da Pressão Máxima Expiratória (PME). A metodologia de preenchimento dessas tabelas envolveu a análise da respiração de três pacientes, considerando tanto a fase inspiratória quanto a expiratória.

Inicialmente, os dados foram coletados com o registro completamente fechado. Posteriormente, o registro foi aberto gradualmente em incrementos de 10° , até atingir 80° . Esse processo foi repetido para cada paciente, com os valores de pressão registrados a cada abertura.

A análise dos dados mostrou que, conforme o fluxo de ar aumentava, a pressão exercida no sensor diminuía. Isso indica que o paciente precisa gerar um fluxo de ar maior para manter a pressão no sensor.

Tabela 5 – Tabela PMI.

	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3
Fechado	70	90	110
10°	70	90	105
20°	60	80	100
30°	50	70	80
40°	40	50	70
50°	30	40	50
60°	30	30	50
70°	30	30	40
80°	20	20	30
Aberto	10	10	20

Fonte: Autor (2025).

Tabela 6 – Tabela PME.

	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3
Fechado	160	150	180
10°	140	120	170
20°	140	100	160
30°	130	90	140
40°	110	60	120
50°	110	40	110
60°	80	50	100
70°	60	40	70
80°	40	20	60
Aberto	30	10	40

Fonte: Autor (2025).

Os dados registrados evidenciam como a pressão varia em função dos diferentes níveis de abertura do registro, destacando a relação inversa entre o aumento do fluxo de ar e a redução da pressão no sensor.

Essa variação é importante, pois reflete o esforço do paciente: quanto maior a abertura do registro, menor a pressão exercida. Para compensar essa redução, o paciente precisa gerar um fluxo de ar maior, o que exige mais esforço.

Esse princípio será utilizado no treinamento respiratório, onde o paciente precisará treinar sua respiração para alcançar valores de pressão mais altos, melhorando gradualmente sua capacidade respiratória.

Essa metodologia proporcionou uma compreensão do comportamento da pressão em diferentes condições de fluxo de ar, o que é importante para o planejamento do tratamento respiratório.

Ao entender como a pressão muda em função da abertura do registro, o fisioterapeuta pode ajustar o treinamento respiratório de forma personalizada, determinando as resistências adequadas para cada paciente e auxiliando na progressão gradual do tratamento.

4.3.5 Desenvolvimento do Protótipo de Software e Avaliação Preliminar (Projeto Piloto)

Com o nó sensor implementado, composto por um ESP32 e um sensor de pressão de ar, deu-se início ao desenvolvimento da solução em software. Para isso, utilizou-se a linguagem Dart, juntamente com o *framework* Flutter, o motor gráfico Flame e o banco de dados Firebase, conforme descrito na Seção 4.3.2.

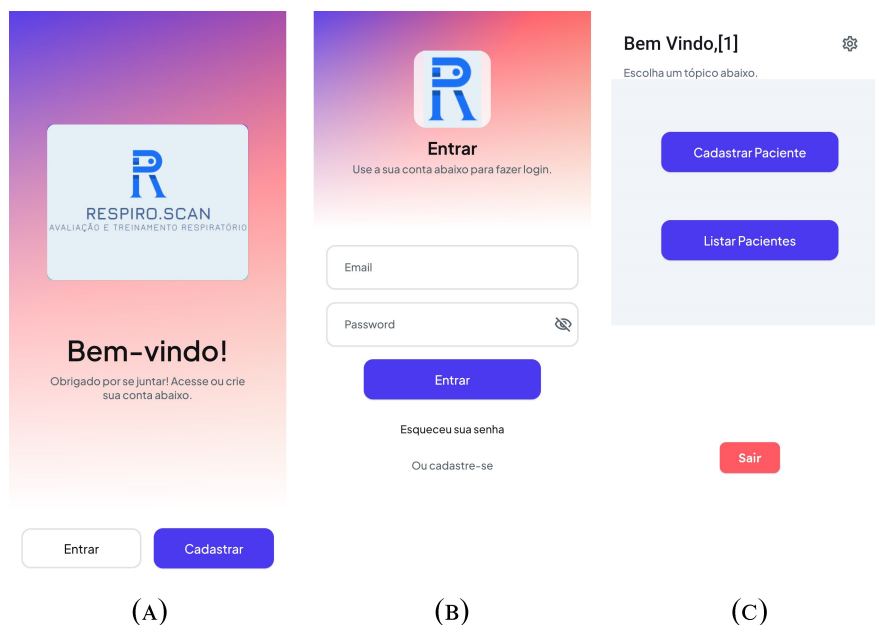
Nesta etapa, optou-se por apresentar a prototipação das telas, demonstrando o funcionamento do sistema. A prototipação das telas do aplicativo segue a seguinte sequência:

A **Tela Inicial** (Figura:16A) permite que o fisioterapeuta acesse o aplicativo utilizando suas credenciais cadastradas, como e-mail e senha. Caso ainda não tenha cadastro, ele pode acessar a opção de registro através de um botão disponível na tela.

Na **Tela de Login** (Figura:16B), o fisioterapeuta insere suas credenciais para acessar o aplicativo. Caso tenha esquecido a senha, há uma opção para redefini-la. Além disso, a tela oferece a possibilidade de se cadastrar, caso ainda não possua uma conta.

A **Tela Principal** (Figura:16C), ou Home Page, oferece ao fisioterapeuta as seguintes funcionalidades: cadastrar novos pacientes, acessar a lista de pacientes já cadastrados, e, se necessário, sair do aplicativo, retornando à Tela de Login. No canto superior, há um ícone de engrenagem que permite editar as informações do fisioterapeuta.

Figura 16 – Tela Inicial, Login e Principal.



Fonte: Autor (2025).

Figura 17 – Tela de Lista de Pacientes, Criação de Conta e Cadastro de Pacientes.



Fonte: Autor (2025).

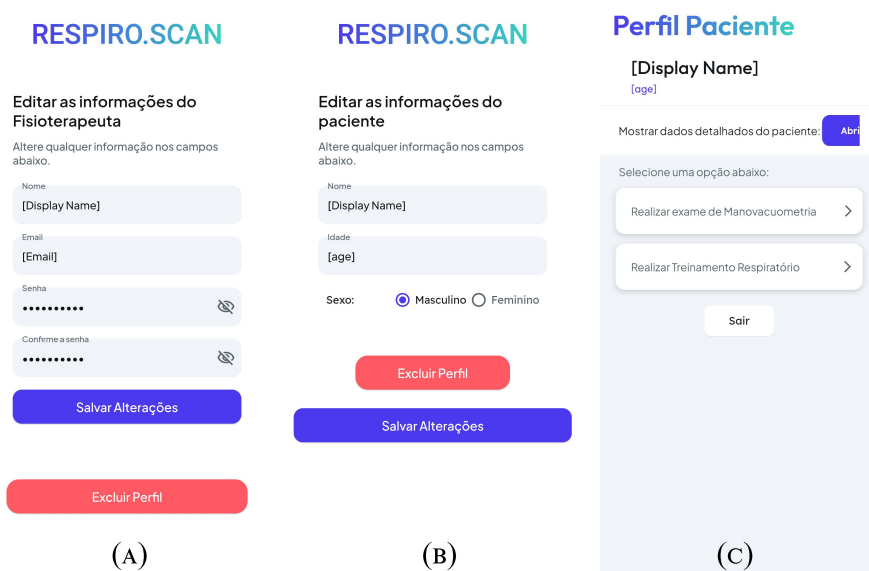
A **Tela de Lista de Pacientes** (Figura 17A) permitiu a gestão dos usuários cadastrados por meio de uma interface de consulta com filtragem por nome. Para cada registro, o sistema disponibilizou funcionalidades de edição de dados biométricos e acesso ao módulo de intervenção, onde foram realizados os procedimentos de diagnóstico e treinamento respiratório.

Na **Tela de Criação de Conta** (Figura 17B), implementou-se o fluxo de

autenticação do fisioterapeuta, onde foram registrados o nome, e-mail e credenciais de acesso. Esse processo garantiu a segurança das informações no *Firebase*, retornando o usuário à interface de *login* após a validação do cadastro.

A **Tela de Cadastro de Pacientes** (Figura 17C) viabilizou a inclusão de novos perfis à base de dados. O fisioterapeuta forneceu os dados de identificação (nome, idade e sexo), que foram indexados para permitir a personalização dos parâmetros de referência clínica. A execução dessas operações, que abrangem desde a gestão de acesso até a manipulação de dados sensíveis, reflete a complexidade das interações detalhadas no diagrama de caso de uso do sistema.

Figura 18 – Tela de Edição do Fisioterapeuta, Edição do Paciente e Perfil do Paciente.



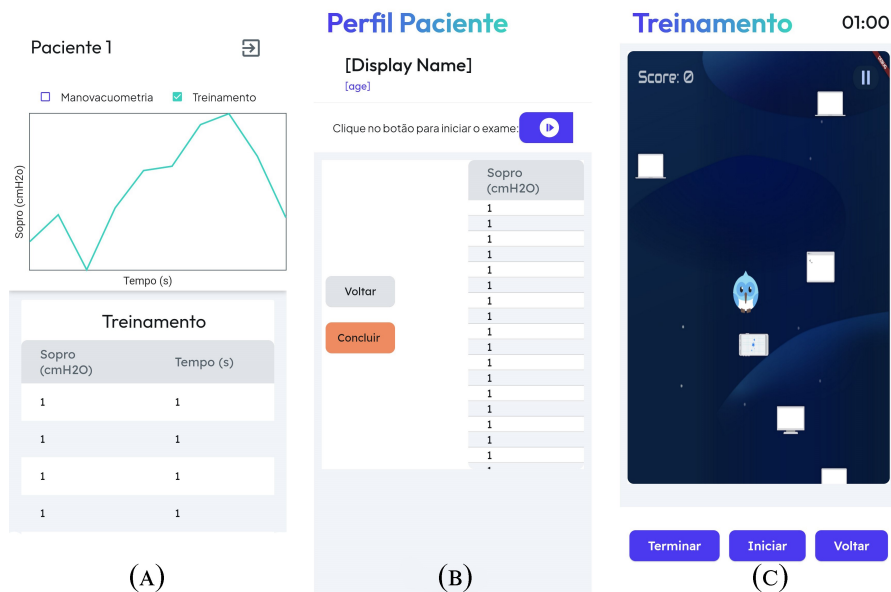
Fonte: Autor (2025).

A **Tela de Edição de Informações do Fisioterapeuta** (Figura:18A) permite que o fisioterapeuta altere suas informações pessoais, como nome, e-mail e senha, conforme necessário.

Na **Tela de Edição de Informações do Paciente** (Figura:18B), o fisioterapeuta pode alterar o nome, idade e sexo de um paciente já cadastrado, conforme necessário.

A **Tela de Perfil do Paciente** (Figura:18C) é exibida ao selecionar um paciente. Ela mostra o nome e a idade do paciente, além de fornecer botões para acessar dados detalhados, realizar exames de manovacuometria, iniciar o treinamento respiratório e retornar à lista de pacientes.

Figura 19 – Tela de Dados do Paciente, Exame e Treinamento.



Fonte: Autor (2025).

A **Tela de Dados Detalhados do Paciente** (Figura:19A) exibe o nome do paciente, um gráfico com os resultados dos exames de manovacuometria e treinamento, além de uma tabela com os valores registrados. Um seletor permite alternar entre os gráficos. Há também um botão para retornar ao perfil do paciente.

A **Tela de Exame** (Figura:19B) exibe o nome e a idade do paciente, além de um botão para iniciar o exame. Durante o exame, os valores são exibidos em uma tabela. Há também botões para voltar à tela anterior ou concluir o exame.

Na **Tela de Treinamento** (Figura:19C), um temporizador exibe o tempo no jogo. Os valores obtidos são mostrados no canto superior. A tela possui botões para iniciar o jogo, encerrar o treinamento ou retornar à tela anterior.

4.3.6 Avaliação dos resultados obtidos

Após a construção do protótipo, que incluiu tanto o modelo digital quanto o mecânico, com o bocal devidamente calibrado e funcional, os dados coletados ficaram dentro dos limites esperados. Com essas informações, realizou-se uma avaliação detalhada dos resultados processados pelo sensor durante as fases de inspiração e expiração, utilizando a IDE do Arduino para o monitoramento.

A seguir, apresenta-se um exemplo que utiliza a tabela de referência e a equação de normalização aplicadas aos dados coletados. A Figura 20 ilustra os resultados dessa etapa,

onde os testes realizados foram fundamentais para confirmar a precisão e a consistência das medições, validando a eficácia do sistema proposto.

Figura 20 – Dados do Sensor.

Pressure: 1.05 cmH2O	Pressure: 6.49 cmH2O
Pressure: 2.41 cmH2O	Pressure: 3.77 cmH2O
Pressure: 2.41 cmH2O	Pressure: 6.49 cmH2O
Pressure: 2.41 cmH2O	Pressure: 6.49 cmH2O
Pressure: 3.77 cmH2O	Pressure: 9.21 cmH2O
Pressure: 18.73 cmH2O	Pressure: 6.49 cmH2O
Pressure: 33.70 cmH2O	Pressure: 20.09 cmH2O
Pressure: 47.30 cmH2O	Pressure: 40.50 cmH2O
Pressure: 33.70 cmH2O	Pressure: 74.51 cmH2O
Pressure: 40.50 cmH2O	Pressure: 96.27 cmH2O
Pressure: 37.78 cmH2O	Pressure: 105.80 cmH2O
Pressure: 21.45 cmH2O	Pressure: 126.20 cmH2O
Pressure: 20.09 cmH2O	Pressure: 127.56 cmH2O
Pressure: 22.81 cmH2O	Pressure: 158.85 cmH2O
Pressure: 37.78 cmH2O	Pressure: 131.64 cmH2O
Pressure: 44.58 cmH2O	Pressure: 120.76 cmH2O
Pressure: 62.26 cmH2O	Pressure: 94.91 cmH2O
Pressure: 78.59 cmH2O	Pressure: 119.40 cmH2O
Pressure: 66.35 cmH2O	Pressure: 98.99 cmH2O
Pressure: 70.43 cmH2O	Pressure: 98.99 cmH2O
Pressure: 75.87 cmH2O	Pressure: 108.52 cmH2O
Pressure: 62.26 cmH2O	Pressure: 107.16 cmH2O
Pressure: 62.26 cmH2O	Pressure: 130.28 cmH2O
Pressure: 62.26 cmH2O	Pressure: 149.33 cmH2O
Pressure: 66.35 cmH2O	Pressure: 141.17 cmH2O
Pressure: 1.05 cmH2O	Pressure: 130.28 cmH2O
Pressure: 26.89 cmH2O	Pressure: 124.84 cmH2O
Pressure: 17.37 cmH2O	Pressure: 123.48 cmH2O
	Pressure: 105.80 cmH2O
	Pressure: 93.55 cmH2O
	Pressure: 74.51 cmH2O

Inspiração

Expiração

Fonte: Autor (2025).

Com base na coleta de dados, verificou-se que o valor máximo obtido na inspiração foi de 78 cmH₂O, enquanto na expiração foi de 158 cmH₂O. Para avaliar esses resultados, utilizou-se como referência a tabela para homens de 30 a 39 anos. De acordo com a tabela de referência:

- P_{Imáx} (Homens): 120 ± 27 cmH₂O
- P_{Emáx} (Homens): 157 ± 33 cmH₂O

Isso significa que a maioria dos indivíduos nessa faixa etária apresenta uma P_{Imáx} entre 93 e 147 cmH₂O, e uma P_{Emáx} entre 124 e 190 cmH₂O. Comparando com os valores medidos:

- P_{Imáx} medida: 78 cmH₂O (referência: 93 - 147 cmH₂O)
- P_{Emáx} medida: 158 cmH₂O (referência: 124 - 190 cmH₂O)

Embora o valor de P_{Imáx} medido tenha sido inferior à referência absoluta, a interpretação clínica na fisioterapia respiratória baseia-se na porcentagem do valor predito. De acordo com a literatura, valores entre 70% e 100% do esperado indicam normalidade, considerando as variações biológicas de cada indivíduo. No caso avaliado,

a $PI_{m\acute{a}x}$ de 78 cmH₂O encontra-se dentro dessa faixa (acima de 70%), descartando a indicação de fraqueza inspiratória.

A confiança na precisão desse resultado provém da validação direta do protótipo frente a um manovacuômetro analógico convencional, utilizado como padrão de referência durante a calibração.

Ao comparar os dois instrumentos, observou-se uma correspondência fiel entre as leituras, garantindo que o sensor digital processe a pressão real sem distorções. Além disso, a capacidade do sistema em registrar valores elevados, como a $PE_{m\acute{a}x}$ de 158 cmH₂O, confirma que o sensor opera de forma linear e segura em toda a sua escala, validando o protótipo como uma ferramenta precisa para o diagnóstico clínico.

Na sequencia, é apresentada a equação de normalização para visualizar melhor essa análise. Para calcular as pressões respiratórias máximas esperadas, aplicamos as seguintes fórmulas:

Para a pressão inspiratória máxima, $PI_{mx} = 120 - (0,41 \times \text{idade})$, e para a pressão expiratória máxima, $PE_{mx} = 174 - (0,83 \times \text{idade})$. Para um homem de 35 anos, essas fórmulas resultam em uma PI_{mx} esperada de 105,65 cmH₂O e uma PE_{mx} esperada de 144,95 cmH₂O.

Comparando esses valores com os resultados obtidos, observamos que a $PI_{m\acute{a}x}$ medida está abaixo do esperado, correspondendo a aproximadamente 74% do valor de referência. No entanto, como a normalidade para a $PI_{m\acute{a}x}$ situa-se entre 70% e 100% do valor esperado, podemos considerar que a $PI_{m\acute{a}x}$ de 78 cmH₂O está dentro do padrão aceitável.

Por outro lado, a $PE_{m\acute{a}x}$ de 158 cmH₂O está ligeiramente acima do valor esperado, mas ainda dentro da faixa normal, indicando uma performance expiratória adequada. Esse contraste nos resultados reforça a importância de garantir a precisão dos dados durante a fase de desenvolvimento e calibração do protótipo.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram superadas dificuldades técnicas, especialmente na calibração do sensor. O ajuste de *offset* e de sensibilidade foi otimizado pela comparação direta com o manovacuômetro analógico, o que simplificou a calibração e garantiu a confiabilidade dos dados.

Outro desafio resolvido foi a implementação do divisor de tensão para a interface entre o sensor e o ESP32. Optou-se pela utilização de resistores de 10 kΩ, escolha que proporcionou uma tensão de saída estável e preservou a precisão necessária para as medições clínicas.

A prototipagem inicial das telas, concebida de forma abstrata nas etapas de planejamento, permitiu uma visão clara da arquitetura do sistema e das interações necessárias. Embora tenham ocorrido ajustes refinados durante a implementação final para otimizar a usabilidade, a estrutura base foi mantida e consolidada.

Com a conclusão das fases de testes e validação, o projeto cumpriu todos os requisitos estabelecidos no planejamento inicial, resultando no desenvolvimento completo e funcional do sistema de manovacuometria digital apresentado neste trabalho.

4.4 Implementação do Respiro.Scan

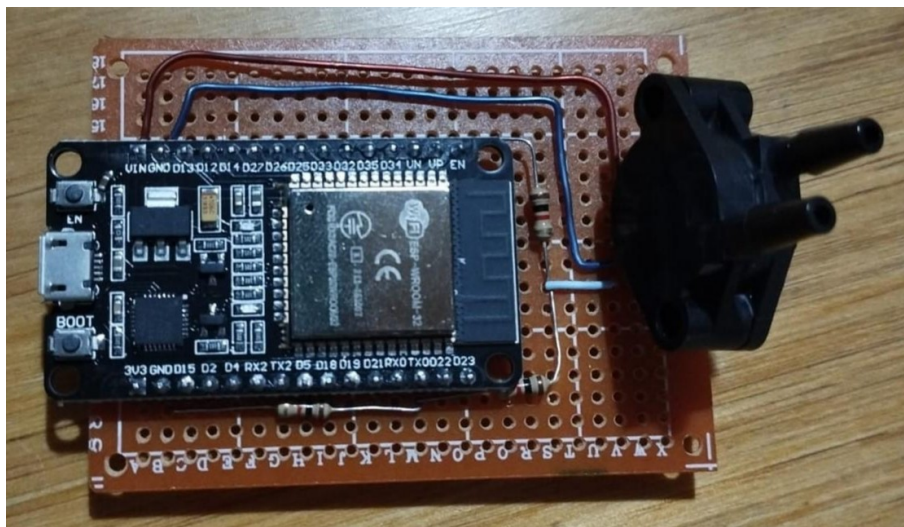
Com base na validação do Projeto piloto e na modelagem previamente definida, esta seção detalha a implementação final dos componentes do sistema. Serão descritas as especificações definitivas do hardware, o desenvolvimento do aplicativo móvel e a integração aprimorada entre as partes, consolidando as funcionalidades propostas.

4.4.1 Hardware e Integração

O modelo digital do Respiro.Scan manteve a arquitetura, utilizando o microcontrolador ESP32 (ESP-WROOM-32) e os sensores de pressão de ar MPX5010DP e MPX5500DP, conforme descrito na Seção 4.3.2. A principal melhoria implementada foi o ajuste do código embarcado no ESP32, desenvolvido na IDE do Arduino, para otimizar o envio de dados via Bluetooth Low Energy (BLE). Essa padronização de comunicação assegura a compatibilidade e a eficiência para ambos os modelos de ESP32 utilizados (com e sem bateria), garantindo que os dados de pressão respiratória sejam transmitidos de forma consistente para o aplicativo móvel.

A fase de consolidação do hardware buscou aprimorar a durabilidade e a portabilidade do protótipo. Os componentes eletrônicos, incluindo o ESP32 e o sensor de pressão, foram soldados em uma placa perfurada para criar uma montagem mais compacta e robusta, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 – Módulo de hardware com componentes soldados em placa perfurada.



Fonte: Autor (2025).

Um desafio significativo na alimentação do sensor de pressão de ar MPX, que opera com 5V, foi identificado. Observou-se que o modelo de ESP32 com bateria inclusa, conforme mostrado na Figura 8, quando alimentado exclusivamente pela bateria 18650 (3.7V), desativava o pino de 5V, impedindo o funcionamento adequado do sensor. Para solucionar essa limitação e garantir a portabilidade do protótipo para uso com bateria, foi integrado um shield externo de bateria como ilustrado na Figura 22 (compatível com a bateria 18650 e com entrada USB-C). Este shield permite alimentar o ESP32 através de sua porta USB, garantindo que o pino de 5V permaneça ativo e, conseqüentemente, que o sensor de pressão seja corretamente energizado, tornando o protótipo mais prático para o uso em sessões de fisioterapia sem a necessidade constante de recarga.

Figura 22 – Shield de Bateria para Alimentação.



Fonte: Saravati (2025).

Quanto ao condicionamento de sinal, manteve-se a estrutura do divisor de tensão com resistores de 10 kOhm validada na etapa do Projeto Piloto, garantindo a proteção da porta GPIO36. A partir disso, a conversão dos valores analógicos brutos para unidades de pressão (cmH₂O) foi aprimorada e realizada diretamente no código. Nesse processamento digital, aplicaram-se os parâmetros de offset e sensibilidade definidos durante a calibração com o manovacuômetro, garantindo a precisão das leituras. Os dados finais, já processados, são então transmitidos pelo ESP32 via BLE para o aplicativo.

4.4.2 Aplicativo Móvel e Gamificação

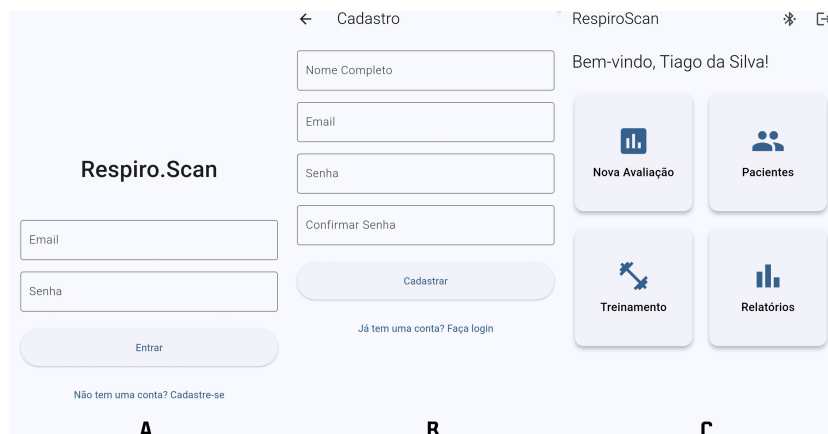
O aplicativo móvel do Respiro.Scan foi desenvolvido utilizando as mesmas tecnologias empregadas no Projeto Piloto: Flutter para a interface do usuário, Firebase para o *backend-as-a-service* (BaaS) e o motor gráfico Flame para os jogos gamificados. A escolha dessas tecnologias, detalhada na Seção 4.2 (Modelagem), foi mantida devido à sua eficiência, integração nativa e capacidade de proporcionar uma experiência de usuário responsiva e dinâmica.

4.4.2.1 Fluxo de Navegação e Gerenciamento

A interface do aplicativo foi projetada para ser intuitiva e funcional, guiando o fisioterapeuta através das principais etapas de utilização do sistema. Conforme ilustrado na Figura 23, o fluxo de navegação inicia-se com as telas de acesso e cadastro para os profissionais de saúde, concedendo a eles entrada e registro no sistema, respectivamente.

Após o *login*, a tela principal (*home*) serve como ponto de partida para todas as funcionalidades, incluindo o gerenciamento de pacientes, as avaliações respiratórias e o acesso aos relatórios. Para uma visão mais abrangente das demais interfaces de navegação e gerenciamento, incluindo detalhes de cadastro de pacientes e listagens, consulte o Apêndice B.

Figura 23 – Telas de Acesso e Navegação Principal do Aplicativo Respiro.Scan.



Fonte: Autor (2025).

A tela de *login* (Figura 23A) é o ponto de entrada seguro do sistema, requerendo credenciais para acesso. Caso o profissional ainda não possua cadastro, a tela de cadastro (Figura 23B) permite o registro de novas contas com informações essenciais como nome, e-mail e senha.

Uma vez autenticado, o fisioterapeuta é direcionado para a tela principal (*home*), apresentada na Figura 23C, que oferece um panorama das funcionalidades disponíveis, como a criação de novas avaliações, o acesso à lista de pacientes, a iniciação de treinamentos e a visualização de relatórios de progresso. Essa organização visa facilitar a navegação e a gestão das atividades diárias do profissional.

Figura 24 – Telas de Avaliação em Tempo Real e Relatório.



Fonte: Autor (2025).

A realização de avaliações respiratórias é um dos pilares do Respiro.Scan. A Figura 24A demonstra a tela de avaliação em andamento, onde a pressão atual é exibida em cmH₂O e um gráfico dinâmico visualiza o comportamento da pressão ao longo do tempo. Esta funcionalidade permite ao fisioterapeuta monitorar em tempo real a performance inspiratória ou expiratória do paciente, identificando picos e variações cruciais para a análise da força muscular respiratória e para ajustes terapêuticos. Complementarmente, a Figura 24B apresenta a tela de relatórios, que oferece uma visão consolidada do histórico de avaliações e treinamentos de cada paciente, essencial para o acompanhamento longitudinal e o planejamento de intervenções futuras.

4.4.2.2 Armazenamento de Dados no Firebase

O Firebase, um banco de dados NoSQL baseado em documentos (Firestore), é utilizado para armazenar e gerenciar os dados da aplicação. Sua estrutura foi projetada para facilitar o acesso e a recuperação dos históricos de exames e treinamentos por paciente, organizando as informações de forma escalável e flexível.

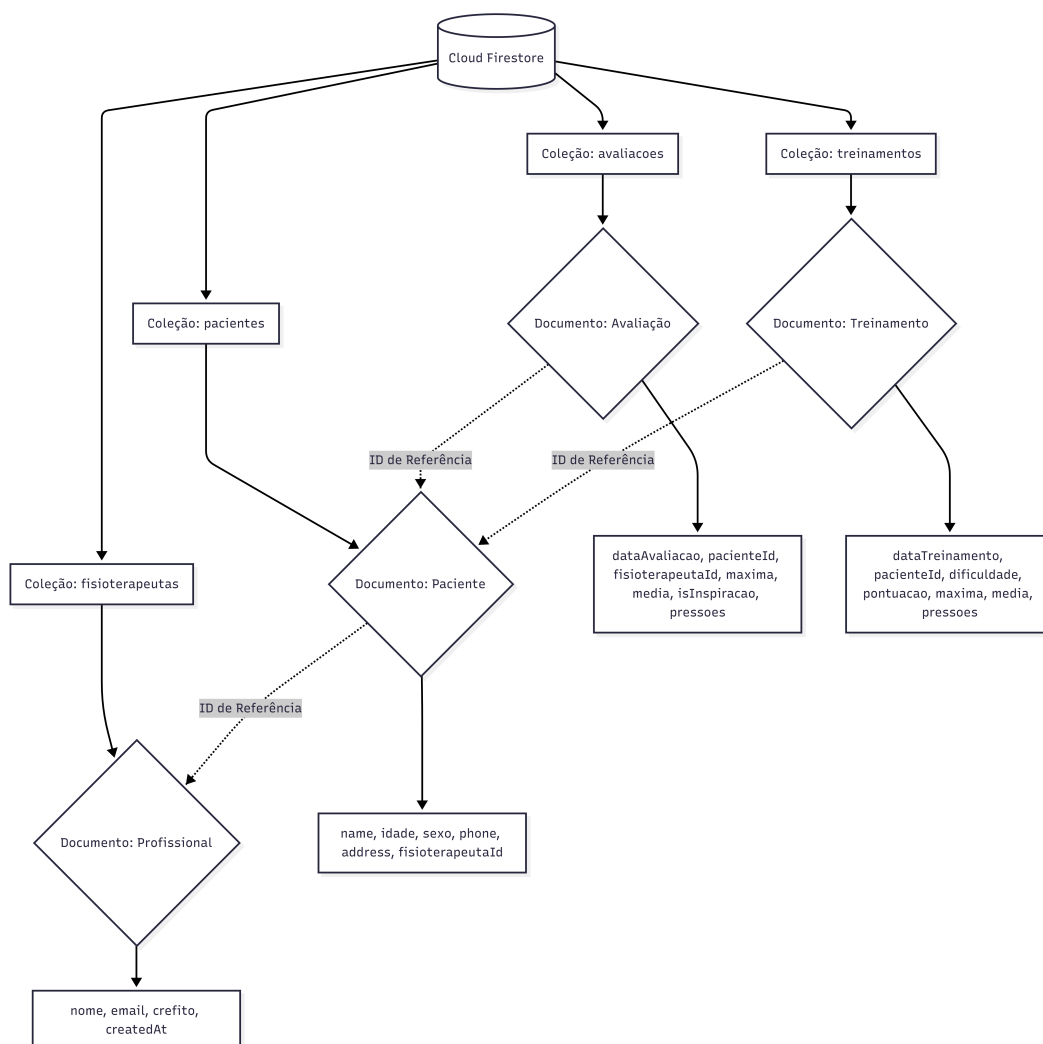
A base de dados é composta por coleções principais, que abrigam os documentos contendo os detalhes específicos. As coleções de nível raiz incluem:

- **Fisioterapeutas:** Esta coleção armazena os dados dos profissionais de saúde. Cada documento de fisioterapeuta é identificado por um ID único e contém informações como nome, e-mail e a data de criação do registro.
- **Pacientes:** Nesta coleção, são registrados os detalhes de cada paciente. Cada documento de paciente possui um ID próprio e inclui dados como nome, idade, sexo, endereço, telefone, e uma referência ao ID do fisioterapeuta que o cadastrou.
- **Avaliações:** Responsável por guardar os resultados dos exames de manovacuometria. Cada documento de avaliação contém a data e hora da medição, o ID do fisioterapeuta e do paciente associados, o tipo de medição (inspiratória ou expiratória), os valores de pressão máxima e média, e um *array* com os dados brutos de pressão coletados durante o exame.
- **Treinamentos:** Armazena os registros das sessões de treinamento gamificado. O sistema converte a intensidade do esforço respiratório em interações dentro de uma interface lúdica, onde o paciente visualiza sua pontuação em tempo real de acordo com a manutenção do exercício. Cada documento inclui a data, o tipo de treinamento, o jogo utilizado, o nível de dificuldade e a pontuação total alcançada,

que fica vinculada ao registro do paciente para acompanhamento. Também são armazenados os valores de pressão máxima, média e *arrays* detalhados de pressão e tempo. Esses dados são fundamentais para futuras comparações de desempenho, embora a análise de evolução clínica de longo prazo exceda o escopo deste trabalho, que foca na implementação e validação técnica da plataforma.

A organização dos dados no banco NoSQL segue uma estrutura de coleções independentes, representada graficamente pela árvore de hierarquia na Figura 25. Esta arquitetura utiliza chaves de referência para manter a integridade entre os registros, onde as coleções de `avaliacoes` e `treinamentos` apontam para um `pacienteId` específico, que por sua vez está vinculado ao seu respectivo profissional através do `fisioterapeutaId`.

Figura 25 – Estrutura hierárquica das coleções no banco de dados NoSQL.



Fonte: Autor (2025).

No registro de conta do usuário (fisioterapeuta), são armazenados dados essenciais para a autenticação e identificação, como o registro profissional (`crefито`) e informações de contato. A coleção de pacientes, gerenciada por este usuário, detém o perfil clínico e demográfico, incluindo idade e endereço. Os documentos de sessões lúdicas e diagnósticas são os mais densos, contendo metadados como a `dataAvaliacao` ou `dataTreinamento`, o nível de dificuldade selecionado, a pontuação alcançada e os índices de pressão máxima e média.

Além disso, o armazenamento de *arrays* brutos no campo `pressoes` permite a reconstrução fidedigna das curvas de desempenho, validando a capacidade do sistema em processar e recuperar grandes volumes de dados temporais para acompanhamento clínico.

4.4.2.3 Jogos Gamificados

Para promover o engajamento e a adesão ao treinamento respiratório, dois jogos sérios foram desenvolvidos e integrados ao aplicativo, transformando a terapia em uma experiência interativa e motivadora. A Figura 26 apresenta as interfaces de seleção de treinamento e os ambientes dos jogos.

Figura 26 – Interfaces dos Jogos.



Fonte: Autor (2025).

O fluxo para iniciar o treinamento gamificado inicia-se no menu de seleção,

ilustrado na Figura 26A. Nesta interface, desenvolvida em ambiente Flutter, o profissional de saúde define o nível de dificuldade, o tipo de treinamento e seleciona o jogo: Copo ou FlapBird. Ressalta-se que o desenvolvimento destes jogos priorizou a adaptação de recursos de código aberto consolidados.

O **Jogo do Copo** (Figura 26B) foi implementado utilizando componentes gráficos da biblioteca Syncfusion (2025), que permitem a criação de um elemento visual dinâmico onde o nível de um líquido é diretamente proporcional à pressão exercida no bocal.

Ao realizar a manobra, o *software* traduz a intensidade da força no deslocamento vertical do fluido na tela. Quanto maior a pressão sustentada, mais elevado torna-se o nível, desafiando o usuário a preencher o recipiente de forma constante e controlada.

Já o **Jogo do FlapBird (Adaptado)** (Figura 26C) teve sua mecânica baseada no projeto de código aberto de Yin (2015), sendo portado para o motor Flame. A lógica converte o esforço respiratório em impulsos verticais: sempre que o paciente ultrapassa um limiar de pressão predefinido, o sistema aplica uma força ascendente ao personagem, simulando um salto. Na ausência de pressão, a gravidade do jogo desloca o personagem para baixo, exigindo que o paciente module a frequência de seus ciclos respiratórios para desviar dos obstáculos.

Para garantir o engajamento, ambos os jogos incorporam um sistema de pontuação em tempo real, incentivando o paciente a superar seus próprios records. Ao final da sessão, os resultados de pressão máxima, média e pontuação são automaticamente vinculados ao perfil do paciente no banco de dados, permitindo que o profissional monitore a evolução clínica de forma objetiva.

4.4.3 Integração com o Hardware via Bluetooth Low Energy (BLE)

A comunicação entre o módulo de hardware e o aplicativo móvel é um componente crítico do sistema Respiro.Scan. Para esta integração, foi utilizado o protocolo Bluetooth Low Energy (BLE), que se mostrou mais adequado para os requisitos do projeto do que o Bluetooth Clássico.

A comunicação inicial utilizava a biblioteca `flutter_bluetooth_serial`, baseada no protocolo Bluetooth Clássico. No entanto, observou-se que esse protocolo apresentava um consumo energético elevado e uma latência de emparelhamento que não atendia aos requisitos de portabilidade do dispositivo.

Diante disso, realizou-se uma migração estratégica para o protocolo *Bluetooth*

Low Energy (BLE), utilizando a biblioteca `flutter_bluetooth_serial_ble`. O BLE é projetado especificamente para o envio intermitente de pequenos pacotes de dados com baixíssimo consumo de energia, o que se alinha perfeitamente à natureza das medições do sensor de pressão. Essa transição não apenas estendeu a autonomia da bateria do protótipo, mas também garantiu uma conexão mais estável e eficiente durante as sessões de treinamento e avaliação.

Essa característica resulta em um consumo de energia consideravelmente menor em comparação com o Bluetooth Clássico. A redução do gasto energético é crucial para a portabilidade da solução, especialmente no modelo alimentado por bateria, pois prolonga a autonomia do protótipo e o torna mais prático para o uso em múltiplas sessões de fisioterapia sem a necessidade de recargas constantes.

No *firmware* do ESP32, os dados de pressão, já processados e convertidos para a unidade de cmH_2O , são empacotados e transmitidos em intervalos regulares. No aplicativo desenvolvido em Flutter, a biblioteca `flutter_bluetooth_serial_ble` gerencia a descoberta do dispositivo, o estabelecimento da conexão e a recepção contínua desses dados. Essa integração assegura que as informações sejam exibidas em tempo real nas telas de avaliação e utilizadas para controlar os jogos gamificados, proporcionando um *feedback* imediato e preciso ao paciente e ao fisioterapeuta.

4.4.4 Alterações e Melhorias

Com base nos aprendizados do Projeto piloto e na validação inicial do conceito, as seguintes melhorias e alterações foram implementadas:

- **Otimização da Comunicação Bluetooth:** A refatoração do código no ESP32 e no aplicativo Flutter consolidou o uso do protocolo *Bluetooth Low Energy* (BLE). Esta atualização padronizou o fluxo de dados entre o hardware e o software, garantindo que o sistema opere com a mesma eficiência e estabilidade independentemente da fonte de alimentação do ESP32 (via USB ou bateria). Além da economia energética já mencionada, essa padronização simplificou a manutenção do código e melhorou a velocidade de resposta da interface lúdica aos estímulos respiratórios do paciente.
- **Consolidação e Otimização do Hardware para Alimentação:** A fase de consolidação do hardware enfrentou um desafio na alimentação do sensor de

pressão de ar MPX, que opera com 5V. Inicialmente, o modelo de ESP32 com bateria inclusa desativava o pino de 5V quando alimentado exclusivamente pela bateria 18650 (3.7V), impedindo o funcionamento adequado do sensor. Para solucionar essa limitação e garantir a portabilidade do protótipo, foi integrado um *shield* externo de bateria (compatível com a bateria 18650 e com entrada USB-C). Este *shield* alimenta o ESP32 através de sua porta USB, garantindo que o pino de 5V permaneça ativo e, conseqüentemente, que o sensor de pressão seja corretamente energizado. Adicionalmente, os componentes foram soldados em placa perfurada para ambos os modelos (com e sem bateria), aprimorando a durabilidade e o aspecto físico do protótipo e tornando-o mais próximo de um produto final.

- **Expansão da Gamificação:** A estratégia de gamificação, que já previa um jogo, foi expandida com o desenvolvimento de um segundo jogo interativo (*Jogo do Copo*). Essa adição oferece maior variedade e adaptabilidade aos diferentes objetivos e níveis de dificuldade do treinamento respiratório.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos a partir dos experimentos realizados com o protótipo Respiro.Scan. Inicialmente, descreve-se a metodologia aplicada, detalhando a seleção dos participantes e os procedimentos de coleta. Em seguida, são expostos os resultados quantitativos e qualitativos, abrangendo as avaliações de manovacuometria, o desempenho nos jogos de treinamento respiratório e o *feedback* do profissional de saúde. Por fim, realiza-se a discussão dos resultados à luz da literatura e dos objetivos propostos.

5.1 Metodologia dos Experimentos

Para validar a funcionalidade, a usabilidade e a eficácia do sistema, foi delineada uma metodologia experimental conduzida em um ambiente clínico, com a colaboração e supervisão de uma fisioterapeuta respiratória. Esta seção detalha os critérios de inclusão, os materiais utilizados e os procedimentos adotados para a coleta de dados.

5.1.1 Participantes

O experimento foi conduzido em ambiente clínico, onde uma fisioterapeuta utilizou a plataforma Respiro.Scan para realizar a avaliação da força muscular respiratória e aplicar sessões de treinamento nos voluntários. O protocolo consistiu no uso do protótipo para a coleta de dados de manovacuometria e na interação dos usuários com os jogos sérios desenvolvidos, sempre sob supervisão profissional.

O público que participou do experimento foi composto por uma amostra de 6 indivíduos, distribuídos equitativamente entre os sexos (3 homens e 3 mulheres), com idades entre 36 e 74 anos. Embora o tamanho da amostra seja reduzido para fins de generalização epidemiológica, ele mostrou-se tecnicamente suficiente para a validação do protótipo como prova de conceito.

O grupo incluiu participantes com diferentes perfis antropométricos e níveis de força muscular respiratória, o que permitiu testar a sensibilidade do sensor e a robustez do sistema em diversos cenários de uso. Todos os testes foram realizados mediante o consentimento dos envolvidos, focando na verificação da estabilidade da

conexão Bluetooth e na precisão da captura dos dados frente à variabilidade biológica dos voluntários.

5.1.2 Materiais e Equipamentos

Os seguintes recursos foram empregados durante a fase experimental:

- **Protótipo Respiro.Scan:** A versão final do hardware, conforme descrito na Seção 4.4.1, composta por um microcontrolador ESP32, sensor de pressão de ar, *shield* de bateria para portabilidade e bocal com válvula de ajuste de fluxo de ar.
- **Plataforma de Software:** O aplicativo Respiro.Scan, desenvolvido para o sistema operacional Android, foi utilizado para a execução dos exames, dos jogos de treinamento e para a visualização dos dados em tempo real.
- **Equipamento de Referência:** Foi utilizado um manovacuômetro analógico profissional para validar a calibração do sistema. Uma vez que os parâmetros de *offset* e sensibilidade foram fixados de forma estática no código-fonte após essa comparação, o protótipo não exige recalibração a cada uso, mantendo a fidelidade das medições de maneira automatizada.

5.1.3 Experimentos

Os experimentos seguiram um protocolo de atendimento definido pela fisioterapeuta responsável, executado ao longo de 60 dias. O foco central deste estudo consistiu em avaliar as funcionalidades do sistema Respiro.Scan, analisando questões de usabilidade e aplicabilidade da ferramenta no suporte à reabilitação respiratória.

Cada sessão experimental foi estruturada em uma sequência de etapas que simulou o fluxo de trabalho de um atendimento clínico real:

1. **Preparação da Sessão:** Cadastro do participante no aplicativo e estabelecimento da conexão Bluetooth com o protótipo.
2. **Avaliação (Manovacuetria):** O participante realizou manobras de inspiração ou expiração máxima com o bocal ocluído, enquanto o aplicativo registrava os dados de pressão em tempo real.
3. **Treinamento Gamificado:** Aplicação dos jogos sérios “Jogo do Copo” e

“FlapBird”, com ajuste de dificuldade personalizado de acordo com a capacidade respiratória do paciente.

4. **Coleta de Feedback:** Ao final das atividades com os pacientes, a fisioterapeuta respondeu a um instrumento de pesquisa estruturado para avaliar a usabilidade e a eficácia clínica da solução. Este instrumento foi elaborado com base nas diretrizes de Gil (2008), visando garantir a coleta sistemática e objetiva das percepções do profissional.

O questionário aplicado ao profissional de saúde conteve cinco questões abertas, desenhadas para cobrir os critérios de usabilidade, eficácia clínica e engajamento, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Instrumento de pesquisa (Questionário)

Questões
1. Como você avalia a facilidade de navegação no aplicativo espiro.Scan, desde o cadastro até a execução dos treinos?
2. Os gráficos em tempo real forneceram informações visuais úteis para a análise da qualidade da manobra do paciente?
3. Em sua percepção, os valores apresentados pelo protótipo foram consistentes com a experiência do manovacuômetro analógico?
4. Você observou diferença na motivação dos pacientes ao utilizarem os jogos (gamificação) em comparação ao método convencional?
5. Você integraria uma solução de baixo custo como esta na sua rotina clínica diária?

Fonte: Autor (2025).

5.2 Resultados dos Experimentos

A seguir, são detalhados os dados de caracterização da amostra, os resultados quantitativos das avaliações respiratórias e o desempenho nas sessões de treinamento.

5.2.1 Caracterização dos Participantes

Para assegurar a privacidade, os nomes dos participantes estão ocultos na Tabela 8. A composição desta amostra permitiu testar a robustez das equações de predição para diferentes grupos.

Tabela 8 – Caracterização demográfica dos participantes

Identificação	Idade (anos)	Sexo
Participante 1	57	Feminino
Participante 2	40	Feminino
Participante 3	47	Masculino
Participante 4	74	Masculino
Participante 5	36	Masculino
Participante 6	72	Feminino

Fonte: Autor (2025).

A distribuição dos dados evidencia uma amostra com amplitude etária significativa (36 a 74 anos) e equilíbrio entre os gêneros. Essa heterogeneidade é estratégica para o estudo, pois permite verificar a sensibilidade do protótipo em extremos de desempenho: tanto em indivíduos com maior força muscular quanto naqueles com pressões respiratórias reduzidas.

A inclusão de participantes com menor força muscular é fundamental para validar o comportamento do sensor em cenários de baixa pressão, garantindo que o sistema mantenha a precisão e a estabilidade na captura de dados mesmo diante de sinais mais sutis, o que é essencial para o monitoramento de pacientes com limitações respiratórias severas.

5.2.2 Análise Quantitativa das Avaliações (Manovacuometria)

Nesta etapa, o sistema mensurou a Pressão Inspiratória Máxima (PI_{máx}) e a Pressão Expiratória Máxima (PE_{máx}). Os valores medidos foram comparados automaticamente com os valores de referência previstos pelas equações de Neder *et al.* (1999).

Tabela 9 – Resultados da Avaliação de PImáx e PEmáx

Participante	Teste	Medido (cmH_2O)	Previsto (cmH_2O)	% do Previsto	Classificação
Part. 1 (57 anos, F)	Inspiração	76	82,47	92,2%	Normal
	Expiração	99	80,83	122,5%	Normal
Part. 2 (40 anos, F)	Inspiração	67	83,60	80,1%	Normal
	Expiração	98	96,60	101,4%	Normal
Part. 3 (47 anos, M)	Inspiração	71	117,70	60,3%	Abaixo do Esperado
	Expiração	70	127,23	55,0%	Abaixo do Esperado
Part. 4 (74 anos, M)	Inspiração	91	96,10	94,7%	Normal
	Expiração	64	105,36	60,7%	Abaixo do Esperado
Part. 5 (36 anos, M)	Inspiração	72	126,50	56,9%	Abaixo do Esperado
	Expiração	76	136,14	55,8%	Abaixo do Esperado

Fonte: Autor (2025).

Os resultados demonstraram a capacidade do sistema em identificar diferentes perfis clínicos. A participante 1, por exemplo, superou o valor previsto na expiração. Em contrapartida, os participantes 3 e 5 apresentaram valores abaixo de 60% do previsto, classificados corretamente como “Abaixo do Esperado”. Essa análise detalhada evidencia que a ferramenta garante um nível de entendimento mais preciso no processo de reabilitação respiratória, uma vez que disponibiliza dados pontuais de cmH_2O , permitindo diagnósticos quantitativos que fundamentam melhor a tomada de decisão clínica.

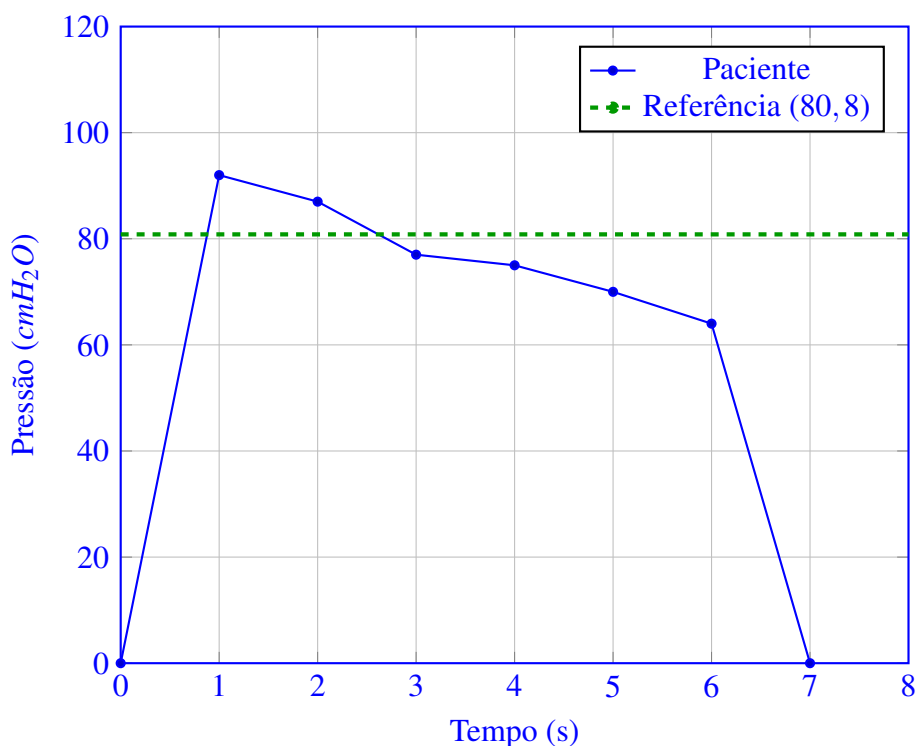
5.2.3 Análise das Curvas Gráficas de Pressão

A análise visual das curvas de pressão ($P \times t$) geradas pelo aplicativo vai além dos números, permitindo avaliar a qualidade da execução da manobra. Para facilitar a interpretação clínica, os gráficos incluem uma linha tracejada de referência, que representa o valor esperado (predito) para o paciente, calculado com base nas equações de Neder *et al.* (1999). Esta linha funciona como uma meta terapêutica: idealmente, a curva de esforço do paciente deve alcançar ou superar este nível.

5.2.3.1 Padrão de Normalidade e Superação da Meta

A Figura 27 apresenta os resultados da avaliação de Pressão Expiratória Máxima (PE_{máx}) da Participante 1 (57 anos). A linha tracejada verde indica o valor de referência previsto de 80,83 cmH_2O . Observa-se que o esforço real (curva azul) ultrapassou a meta, atingindo um pico de 99 cmH_2O com manutenção de platô por aproximadamente 4 segundos, evidenciando uma capacidade muscular acima da média esperada para sua faixa etária.

Figura 27 – Avaliação de PE_{máx}: Participante 1 (Acima da Referência)



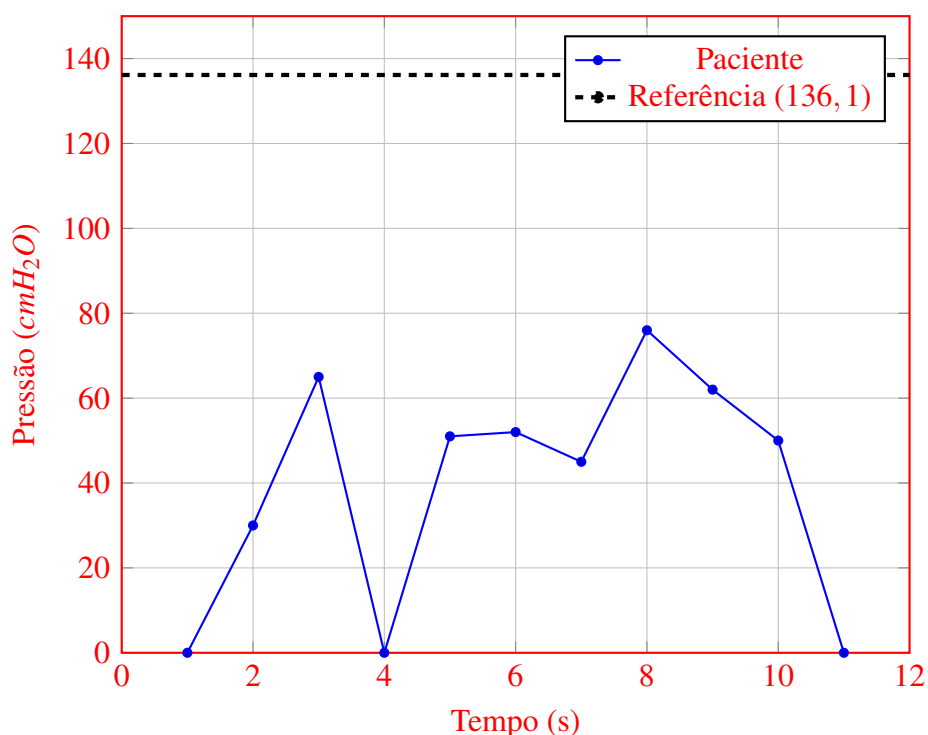
Fonte: Dados extraídos do aplicativo Respiro.Scan (2025).

O registro deste perfil evidencia que o sistema é capaz de documentar a integridade da musculatura respiratória em usuários com alto desempenho. A manutenção do esforço acima do valor predito, representada graficamente pelo platô na curva, confirma que o dispositivo não apenas identifica o pico de força, mas mapeia com fidelidade a resistência muscular, permitindo caracterizar usuários que superam as expectativas médias da literatura.

5.2.3.2 Déficit de Força (Abaixo da Referência)

O gráfico de avaliação de PEmáx do Participante 5 (36 anos), apresentado na Figura 28, evidencia um cenário de déficit funcional. Por se tratar de um homem jovem, sua meta teórica (linha tracejada preta) é elevada, fixada em 136,14 cmH_2O . No entanto, o esforço máximo registrado atingiu apenas 76 cmH_2O . A acentuada distância vertical entre a curva de desempenho real e a linha de referência permite identificar de forma imediata o grau de fraqueza muscular respiratória, o que facilita o diagnóstico clínico e a tomada de decisão pelo profissional de saúde.

Figura 28 – Avaliação de PEmáx: Participante 5 (Abaixo da Referência)



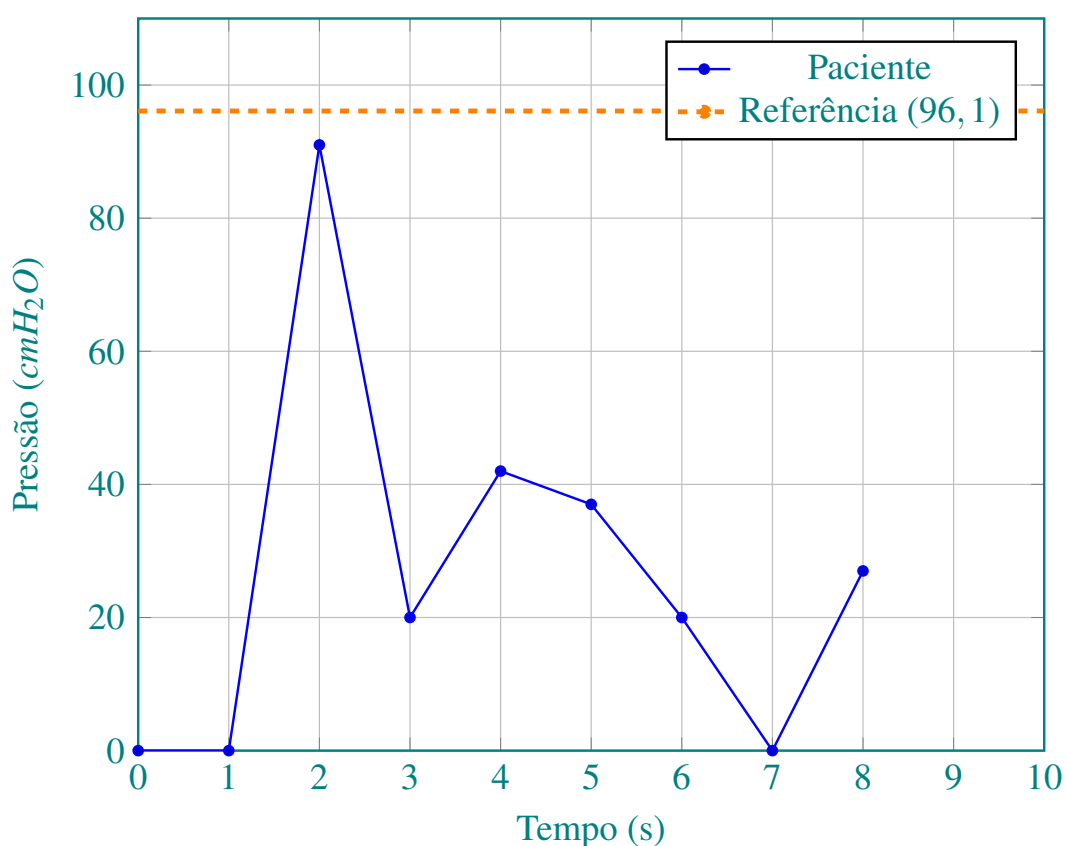
Fonte: Dados extraídos do aplicativo Respiro.Scan (2025).

Neste cenário de déficit funcional, a utilidade do sistema reside na quantificação objetiva da fraqueza muscular. A lacuna visível entre o realizado e o esperado fornece ao profissional de saúde uma evidência concreta para fundamentar o planejamento terapêutico, transformando o dado numérico em uma ferramenta de triagem para pacientes que necessitam de fortalecimento respiratório.

5.2.3.3 Sensibilidade e Proximidade da Meta em Idosos

A Figura 29 apresenta a avaliação de P_{Imáx} do Participante 4 (74 anos). A linha de referência laranja indica a meta de 96,10 cmH_2O , enquanto o esforço real do paciente atingiu um pico de 91 cmH_2O . A proximidade entre as curvas demonstra que o voluntário mantém uma força inspiratória condizente com os padrões de normalidade para sua faixa etária.

Figura 29 – Avaliação de P_{Imáx}: Participante 4 (Próximo à Referência)



Fonte: Dados extraídos do aplicativo Respiro.Scan (2025).

A detecção precisa destes valores valida a sensibilidade do sensor MPX5010DP em escalas de pressão reduzidas. Essa resposta técnica garante a ausência de "zonas mortas" de leitura, assegurando que o protótipo mantenha a mesma fidelidade analógica tanto em picos de alta intensidade quanto em sinais respiratórios mais sutis, típicos de pacientes idosos ou debilitados.

5.2.4 Resultados do Treinamento Gamificado

Após a etapa de avaliação diagnóstica, os participantes foram submetidos a sessões de treinamento utilizando os jogos sérios desenvolvidos. Esta fase teve como objetivo verificar a resposta do sistema durante o uso contínuo e o comportamento dos pacientes frente aos estímulos lúdicos.

Foram utilizados dois modos de jogo com mecânicas distintas: o “Jogo do Copo”, focado na sustentação do fluxo aéreo (treino de resistência), e o “FlappyBird”, que exige controle rápido de picos de pressão (treino de potência e agilidade).

A Tabela 10 consolida os dados quantitativos das sessões de treinamento gamificado. As métricas de P_{mx} e $P_{méd}$ detalham, respectivamente, o pico de força e a média de pressão mantida pelos participantes durante a execução dos desafios propostos.

Tabela 10 – Desempenho dos participantes nas sessões de treinamento gamificado

Part.	Perfil	Jogo	Modo	$P_{mx}(cmH_2O)$	$P_{méd}(cmH_2O)$
P1	57a, F	Copo	Inspiração	88,00	22,80
		FlappyBird	Expiração	113,00	11,16
P2	40a, F	Copo	Inspiração	57,00	14,14
		FlappyBird	Expiração	125,00	28,48
P4	74a, M	Copo	Inspiração	87,00	26,86
		FlappyBird	Expiração	72,00	8,68
P5	36a, M	Copo	Inspiração	136,00	30,00
		Copo	Expiração	70,00	23,13
		FlappyBird	Inspiração	110,00	19,22
		FlappyBird	Expiração	101,00	20,66
P6	72a, F	Copo	Inspiração	60,00	19,09
		Copo	Expiração	72,00	27,94

Fonte: Autor (2025).

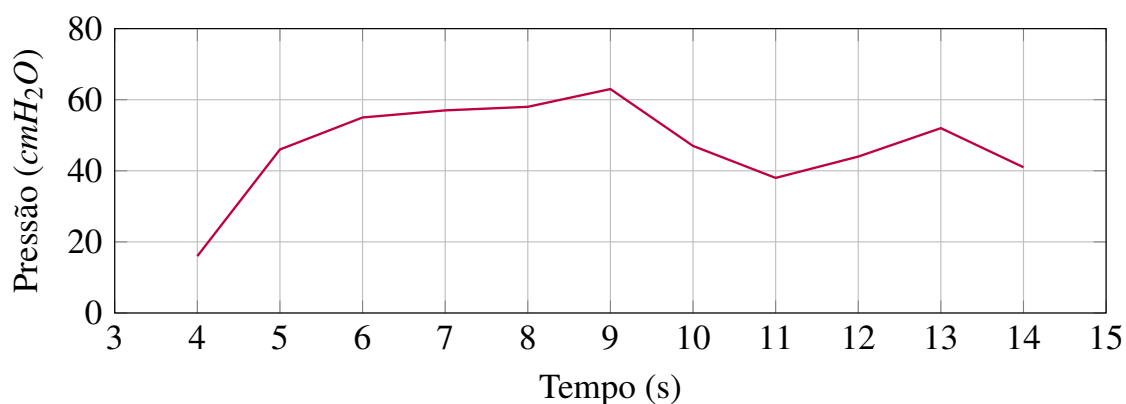
Os dados de $P_{méd}$ evidenciam a constância do esforço exigido pelas mecânicas de jogo. Embora o usuário acompanhe apenas a pontuação e a pressão instantânea para fins de engajamento, a estabilidade desses valores reflete o comportamento da curva de

pressão registrada pelo sistema. Conforme discutido na seção de desenvolvimento, essa curva é disponibilizada via relatório após o treino, permitindo correlacionar a pontuação obtida com a qualidade técnica do esforço respiratório realizado.

5.2.4.1 Análise de Usabilidade e Desempenho nos Jogos

A análise detalhada das curvas de pressão geradas durante as sessões de treinamento permite inferir a adequabilidade clínica de cada jogo para diferentes perfis de pacientes. O “Jogo do Copo” destacou-se pela sua acessibilidade e foco na resistência aeróbia. O desempenho da Participante 6 (72 anos), ilustrado na Figura 30, demonstra um padrão de esforço rítmico e controlado, onde a paciente foi capaz de modular a pressão expiratória (mantendo-a predominantemente na faixa de 40 a 60 cmH_2O) sem fadiga súbita. Este comportamento valida a interface como uma ferramenta eficaz e segura para o treino de sustentação de fluxo, especialmente para a população idosa.

Figura 30 – Desempenho no Jogo do Copo - Participante 6 (72 anos)

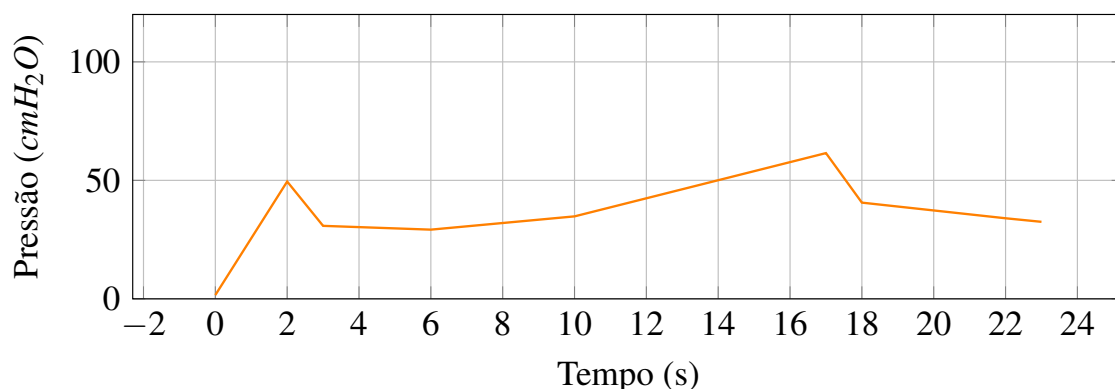


Fonte: Dados extraídos do aplicativo Respiro.Scan (2025).

Em contrapartida, o jogo “FlappyBird” revelou-se uma ferramenta de alta exigência para a coordenação pneumo-funcional e potência muscular. Diferente da estabilidade observada no jogo anterior, a mecânica deste jogo exige variações rápidas de pressão para o controle da altitude do personagem. A Figura 31 apresenta a performance do Participante 5 (36 anos), caracterizada por picos agudos e intervalos curtos de repouso, configurando um treino de agilidade respiratória. A capacidade deste participante em pontuar consistentemente, em contraste com as dificuldades apresentadas pelos demais, sugere que este modo é ideal para pacientes em fases mais avançadas de reabilitação que

necessitam de refino no controle neuromuscular fino.

Figura 31 – Controle Dinâmico no FlappyBird - Participante 5



Fonte: Dados extraídos do aplicativo Respiro.Scan (2025).

A integração dessas duas modalidades na plataforma viabiliza uma estratégia terapêutica progressiva. Enquanto o Jogo do Copo prioriza a sustentação de fluxo, oferecendo a estabilidade necessária para pacientes com limitações funcionais ou idade avançada, o FlappyBird introduz uma dinâmica de variações rápidas de pressão, impondo a complexidade exigida para o ganho de potência e agilidade. Essa complementaridade garante que o sistema acompanhe a evolução clínica do usuário, fornecendo estímulos adequados para as diferentes fases da reabilitação respiratória.

5.2.5 Feedback do Profissional

Ao finalizar a etapa de experimentos, onde a fisioterapeuta definiu e conduziu o protocolo de avaliação e treinamento, a profissional respondeu a um instrumento de pesquisa conforme mostrado na Tabela 7. O objetivo foi validar a solução sob a ótica clínica e técnica. As observações obtidas, que refletem a percepção sobre a aplicabilidade e a usabilidade do sistema, são sintetizadas e discutidas a seguir:

Usabilidade da Interface: A profissional relatou que o fluxo de navegação é intuitivo e lógico, facilitando o cadastro rápido de pacientes e o início dos exames sem necessidade de treinamento complexo.

Relevância Clínica dos Dados: Os gráficos gerados em tempo real foram considerados essenciais para a *biofeedback*, permitindo que o fisioterapeuta corrija a postura ou o esforço do paciente durante a execução da manobra.

Comparação com Equipamento de Referência: Segundo a avaliadora, a sensação de esforço e os valores numéricos apresentados pelo protótipo demonstraram boa consistência quando comparados à experiência prática com o manovacuômetro analógico.

Engajamento (Gamificação): Foi observado um aumento notável no interesse dos pacientes em realizar as manobras repetitivas. O “Jogo do Copo” foi destacado como eficaz para manter a atenção de idosos pela sua mecânica acessível, enquanto o “FlappyBird” atuou como um fator motivacional de desafio para pacientes com maior controle respiratório.

Viabilidade de Adoção: A fisioterapeuta responsável pela clínica onde os testes foram realizados manifestou interesse explícito em integrar a solução à sua prática clínica diária, destacando a portabilidade e o baixo custo como diferenciais. Embora a percepção de aceitação esteja baseada em um estudo de caso específico, a experiência clínica da profissional permitiu validar a utilidade prática do protótipo no ambiente real de atendimento. Ressalta-se que, para uma generalização estatística da aceitação de mercado, estudos futuros com uma amostra expandida de fisioterapeutas são recomendados, contudo, para os fins de validação funcional deste projeto, o *feedback* positivo imediato reforça o potencial de adoção da tecnologia desenvolvida.

5.3 Discussão dos Resultados

A análise dos dados coletados durante os experimentos, somada à avaliação qualitativa fornecida pela fisioterapeuta, permitiu identificar a viabilidade técnica e clínica do sistema. Essa validação integrada confirma as hipóteses iniciais do projeto, demonstrando que uma solução baseada em microcontroladores de baixo custo pode oferecer métricas confiáveis e ferramentas de treinamento eficazes para a fisioterapia respiratória. Os resultados obtidos dialogam diretamente com os objetivos de promover acessibilidade e engajamento no tratamento de disfunções pulmonares.

5.3.1 Validação Técnica e Comparação com Referenciais

A análise dos dados quantitativos demonstrou que o protótipo *Respiro.Scan* atingiu um alto grau de confiabilidade técnica. Ao confrontar os valores medidos com as equações de predição de Neder *et al.* (1999), o sistema foi capaz de classificar corretamente os participantes, identificando perfis de normalidade (como nos Participantes 1 e 2) e desvios funcionais significativos (Participantes 3 e 5).

Além disso, a sensibilidade do sensor MPX permitiu o registro preciso de uma vasta gama de pressões, desde picos de 136 *cmH₂O* em adultos jovens até curvas inspiratórias mais sutis em pacientes idosos (Participante 4).

Esses resultados técnicos corroboram diretamente a percepção qualitativa relatada pela fisioterapeuta. No questionário de *feedback*, a profissional destacou que “os valores numéricos apresentados pelo protótipo demonstraram boa consistência quando comparados à experiência prática com o manovacuômetro analógico”. Ela enfatizou ainda que os gráficos gerados em tempo real foram essenciais para a correção postural e do esforço durante a manobra.

Cruzando os dados técnicos com a validação profissional, estabeleceu-se que a principal vantagem do sistema não é apenas a precisão numérica, mas a capacidade de fornecer *biofeedback* visual. Enquanto o equipamento analógico fornece apenas o valor de pico, o gráfico *Pressão × Tempo* do aplicativo permite avaliar a sustentação (platô) e a qualidade do esforço. Essa funcionalidade está alinhada com o que propõe Castro (2019), que destaca a importância do *feedback* visual em tempo real para aprimorar a técnica e a consciência corporal do paciente durante a terapia respiratória.

5.3.2 Impacto da Gamificação e Usabilidade na Reabilitação

A observação do desempenho dos participantes nos jogos revelou padrões distintos de interação. No “Jogo do Copo”, observou-se uma estabilidade de pressão notável, especialmente entre os participantes idosos (P4 e P6), que mantiveram médias consistentes sem fadiga precoce. Em contraste, o “FlappyBird” exigiu reflexos rápidos e variações bruscas de pressão, resultando em dificuldade para a maioria dos usuários, exceto para o Participante 5 (36 anos), que demonstrou maior controle neuromuscular.

Essa dicotomia nos resultados dialoga com a avaliação da profissional de saúde, que relatou um “aumento notável no interesse dos pacientes” e apontou o “Jogo do Copo”

como sendo particularmente eficaz para manter a atenção e a adesão da população idosa. A fisioterapeuta validou a usabilidade da interface, classificando o fluxo de navegação como intuitivo, o que facilitou a introdução da tecnologia na sessão sem criar barreiras cognitivas.

A síntese entre o desempenho medido e a observação clínica sugere que a gamificação na saúde não deve ser uma abordagem única, mas sim adaptável. O “Jogo do Copo” atua como uma ferramenta de acessibilidade e resistência, validando o conceito de que jogos sérios podem promover a inclusão digital em terapias, conforme discutido por Santos *et al.* (2018). Já o “FlappyBird” posiciona-se como um treino de potência e coordenação para fases avançadas. Essa estratégia de diversificação atende ao que Lopes e Silva (2020) descrevem como essencial para o engajamento: a criação de um ambiente motivador que respeite as limitações e capacidades individuais do paciente, transformando a terapia monótona em uma experiência estimulante.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo propor, desenvolver e validar uma solução de baixo custo utilizando microcontrolador e sensor de pressão de ar para auxiliar fisioterapeutas no processo de avaliação e treinamento de pacientes com disfunções respiratórias. Conclui-se que o objetivo geral foi plenamente alcançado, resultando na entrega do sistema Respiro.Scan, uma ferramenta funcional, portátil e financeiramente acessível.

Em resposta direta ao problema de pesquisa, este estudo demonstrou que a utilização de microcontroladores (ESP32) associados a sensores de pressão é eficaz para auxiliar profissionais tanto na avaliação quanto no treinamento muscular inspiratório e expiratório. A solução comprovou ser capaz de fornecer dados quantitativos precisos e ferramentas lúdicas que suprem as demandas clínicas, validando a hipótese de que a tecnologia acessível pode atuar como um suporte robusto à reabilitação pulmonar.

A evolução do projeto, desde a fase de prototipagem até a consolidação final, permitiu o cumprimento dos objetivos específicos relacionados ao refinamento do hardware e do software. A integração do módulo *shield* de bateria e a otimização da comunicação via Bluetooth Low Energy (BLE) garantiram a portabilidade necessária para o uso clínico, eliminando a dependência de cabos e fontes de energia fixas. Além disso, o desenvolvimento do aplicativo móvel com armazenamento em nuvem (Firebase) possibilitou a gestão eficiente dos dados dos pacientes e o histórico de evoluções.

Os experimentos realizados com seis participantes de diferentes faixas etárias e perfis antropométricos validaram a eficácia técnica da solução. Na avaliação manovacuumétrica, o sistema demonstrou precisão na captura das pressões máximas inspiratórias e expiratórias, apresentando consistência com os valores de referência previstos na literatura (Neder *et al.*, 1999) e sensibilidade adequada para detectar tanto a força elevada em adultos jovens quanto as limitações funcionais em pacientes idosos.

A introdução da gamificação provou ser um diferencial significativo para o engajamento terapêutico. Os testes revelaram que o “Jogo do Copo” é uma ferramenta altamente eficaz e inclusiva para o treinamento de sustentação da respiração, sendo bem aceito por participantes da terceira idade. Por outro lado, o jogo “FlappyBird” mostrou-se valioso para o treinamento de potência e controle neuromuscular fino, oferecendo desafios adequados para pacientes em estágios mais avançados de reabilitação.

Por fim, a avaliação qualitativa realizada pela profissional de fisioterapia

corroborou a viabilidade clínica do Respiro.Scan. O *biofeedback* visual em tempo real e a facilidade de uso foram destacados como pontos fortes, indicando que a solução tem potencial real para complementar os métodos tradicionais, modernizando o atendimento sem onerar os custos operacionais das clínicas.

6.1 Trabalhos Futuros

Apesar dos resultados promissores, o desenvolvimento de tecnologias para a saúde é um processo contínuo. Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se:

- Realização de um estudo clínico longitudinal com uma amostra maior de pacientes, visando quantificar o ganho de força muscular proporcionado pelo uso contínuo dos jogos gamificados em comparação ao tratamento convencional.
- Implementação de novos jogos sérios com mecânicas adaptativas, que ajustem automaticamente a dificuldade baseando-se no histórico de desempenho do paciente (algoritmos de aprendizado de máquina).

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. C. de *et al.* Uma visão da prática da fisioterapia respiratória: ausência de evidência não é evidência de ausência. **Arquivos Médicos do ABC**, v. 32, 2007.
- AFFELDT, D. M. **Projeto de desenvolvimento de um protótipo de baropodômetro**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2018. Bacharelado em Engenharia de Computação.
- American Thoracic Society; European Respiratory Society. Standardization of spirometry. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, American Thoracic Society, v. 152, n. 2, p. 1107–1136, 2005.
- BARBOSA, G. P. *et al.* A importância da fisioterapia respiratória na recuperação de pacientes acometidos pela covid-19. In: **Anais Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar & Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar**. [S.l.]: [s.n.], 2022.
- BARCELLOS, R. de A. *et al.* Análise dos custos da internação hospitalar de pacientes em ventilação mecânica invasiva e fatores associados. **Clinical and Biomedical Research**, v. 40, n. 1, p. 14–20, 2020.
- BARROS, A. J. P. de; LEHFELD, N. A. de S. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. 4. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2000.
- BARTON, C.; CHOI, A.; LEECH, M. The use of oscillating positive expiratory pressure devices in the management of patients with bronchiectasis. **Respiratory Care**, v. 55, n. 7, p. 922–932, 2010.
- BUSATO, C. **Funcionalidades para sistemas de registro eletrônico em saúde na atenção primária à saúde**. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/115081>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- CASA DA ROBÓTICA. **Esp32 D1 Suporte a Bateria Recarregável Wifi Expressif**. 2025. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/placas-embarcadas/esp/placas/esp32-d1-suporte-a-bateria-recarregavel-wifi>. Acesso em: 27 nov. 2025.
- CASTRO, R. M. de. **Desenvolvimento de sistema de medição de frequência e interface móvel para equipamento de fisioterapia respiratória**. 2019.
- CRESWELL, J. W. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. [S.l.]: SAGE Publications, 2014.
- FERREIRA, L. *et al.* Medical workflow management: Uma proposta para gerenciamento do processo hospitalar utilizando a tecnologia de workflow integrada ao padrão dicom. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Computação (CBComp)**. [S.l.: s.n.], 2003.
- FIGUEIREDO, M. G. S. M.; JÚNIOR, R. M. F. de M.; REZENDE, A. L. A. Adaptshaker: um dispositivo gamificado para o tratamento da discinesia ciliar primária. **Anais do Seminário Tecnologias Aplicadas a Educação e Saúde**, p. 95–101, 2023.

FILHO, J. C. R.; ARAÚJO, A. M. S. Pressões respiratórias estáticas máximas. **Pulmão RJ**, v. 27, n. 1, p. 69–74, 2018.

GEDDES, E. L. *et al.* Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. **Respiratory Medicine**, v. 102, n. 12, p. 1715–1729, 2008.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, M. P. *et al.* Avaliação da força muscular inspiratória e expiratória em idosas praticantes de atividade física e sedentárias. **Revista brasileira de ciência e movimento**, v. 14, n. 1, p. 37–44, 2006.

JARDIM, A. T. **Fisioterapia Respiratória: Proposta de um sistema para o monitoramento de sessões**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021.

JOHNSON, D. *et al.* Gamification for health and wellbeing: A systematic review of the literature. **Internet Interventions**, Elsevier, v. 6, p. 89–106, 2016.

LOHSE, K. *et al.* Game-based interventions for physical rehabilitation: A systematic review. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, BioMed Central, v. 10, p. 1–12, 2013.

LOPES, J.; SILVA, M. Gamificação e jogos sérios na saúde: Um estudo sobre o engajamento de pacientes em tratamentos terapêuticos. **Revista Brasileira de Tecnologias Aplicadas à Saúde**, Universidade de Saúde Pública, v. 10, n. 3, p. 45–58, 2020.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. [S.l.]: Atlas, 2010.

MICHAEL, D. R.; CHEN, S. **Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform**. [S.l.]: Thomson Course Technology, 2006.

MOHANAN, V. **DOIT ESP32 DevKit V1 Wi-Fi Development Board – Pinout Diagram & Arduino Reference**. 2022. Disponível em: <https://www.circuitstate.com/pinouts/doit-esp32-devkit-v1-wifi-development-board-pinout-diagram-and-reference>. Acesso em: 22 ago. 2024.

MORAES, L. **Fisioterapia respiratória**. Rio de Janeiro: SESES, 2017.

MOTA, M. R. de A. *et al.* Uma taxonomia ontológica para a classificação de estudos em informática médica. In: **Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**. [S. l.]: [s. n.], 2013. p. 589–600.

NEDER, J. A. *et al.* Reference values for lung function tests: Ii. maximal respiratory pressures and voluntary ventilation. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, SciELO Brasil, v. 32, n. 6, p. 719–727, 1999.

PASCOTINI, F. dos S. *et al.* Espirometria de incentivo a volume versus a fluxo sobre parâmetros respiratórios em idosos. **Fisioterapia e Pesquisa**, SciELO Brasil, v. 20, p. 355–360, 2013.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de Software: Uma Abordagem Profissional**. 8. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2016. ISBN 9788580554369.

RIBEIRO, D. C.; SHIGUEMOTO, T. S. **O ABC da Fisioterapia Respiratória**. Editora Manole, 2015. E-book. ISBN 9788520451625. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520451625/>.

RS COMPONENTS. **Sensores de pressão de ar**. 2024. Disponível em: <https://br.rsdelivers.com/>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SANTOS, A. M. dos *et al.* I blue it: Um jogo sério para auxiliar na reabilitação respiratória. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital**. [S.l.: s.n.], 2018.

SARAVATI. **Dual ESP32 Shield Bateria 18650 Battery Shield V8 USB-C**. 2025. Disponível em: <https://www.saravati.com.br/dual-esp32-shield-bateria-18650-battery-shield-v8-usb-c.html>. Acesso em: 27 nov. 2025.

SILVA, E. F.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC, 2001.

SILVA, I. C. da. **Análise da força muscular respiratória e da capacidade funcional de indivíduos com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC): estudo clínico longitudinal**. Dissertação (Dissertação (Mestrado)) — Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2020.

SILVA, R.; MENDES, C.; PEREIRA, L. Sistema iot para monitoramento de saúde remoto com deep learning. **Journal of Healthcare Engineering**, Hindawi, v. 2022, 2022.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 8. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2007. ISBN 9788576051236.

SUSI, T.; JOHANNESSON, M.; BACKLUND, P. **Serious Games: An Overview**. Skövde, Sweden, 2007.

Syncfusion. **Syncfusion Flutter Widgets**. 2025. Biblioteca de componentes gráficos. Disponível em: <https://flutter.syncfusion.com/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

TINCOPA, J. P. *et al.* Development of an iot device for measurement of respiratory rate in covid-19 patients. **Journal of Healthcare Engineering**, v. 2022, p. 1–10, 2022.

YÁÑEZ, M. F. O. **Evidência científica sobre avaliação da musculatura respiratória e tratamento dos distúrbios respiratórios do sono em acidente vascular cerebral**. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Bacharelado em Fisioterapia.

YIN, R. K. **Case Study Research: Design and Methods**. [S.l.]: SAGE Publications, 2015.

APÊNDICE A – DOCUMENTO DE REQUISITOS

1. Introdução

Este documento detalha os requisitos essenciais para o desenvolvimento, teste e homologação do sistema proposto. A definição clara dos requisitos, conforme descrito por Sommerville (2007) e Pressman e Maxim (2016), é fundamental para garantir que o sistema atenda às expectativas e necessidades dos usuários finais. Os requisitos deste projeto são apresentados nas seguintes seções, além desta introdução:

- **Seção 2 – Descrição do sistema:** Fornece uma visão geral do sistema.
- **Seção 3 – Requisitos funcionais:** Lista os requisitos funcionais, descrevendo as operações que o sistema deve realizar, bem como suas entradas e saídas.
- **Seção 4 – Requisitos não funcionais:** Detalha os requisitos não funcionais, categorizando-os conforme os critérios de usabilidade, confiabilidade, desempenho, segurança, conectividade, e compatibilidade com dispositivos Android.

Identificação dos requisitos: Os requisitos são identificados utilizando as siglas RF para requisitos funcionais e RNF para requisitos não funcionais, seguidos por um número sequencial.

Prioridades dos requisitos: Os requisitos são classificados em três níveis de prioridade: “essencial”, “importante” e “desejável”. Requisitos essenciais são indispensáveis para o funcionamento do sistema; sem eles, o sistema não funcionará corretamente. Requisitos importantes são aqueles cuja ausência permite que o sistema funcione, ainda que de maneira limitada. Já os requisitos desejáveis são aqueles que, embora não comprometam a funcionalidade básica do sistema, melhoram a experiência do usuário caso sejam implementados.

2. Descrição do sistema

O sistema proposto é uma plataforma digital desenvolvida para auxiliar fisioterapeutas e pacientes na execução e monitoramento de exercícios de fisioterapia respiratória. O sistema permite a realização de exames de manovacuometria, um método de avaliação da força dos músculos respiratórios, bem como o acompanhamento de treinamentos respiratórios em tempo real. A plataforma foi projetada para ser utilizada em

dispositivos Android, garantindo conectividade com sensores de pressão via Bluetooth e armazenamento seguro dos dados no Firebase.

3. Requisitos Funcionais

- **Requisito N°: [RF01] Cadastro de Fisioterapeutas**

- **Descrição:** O sistema deve permitir o cadastro de fisioterapeutas.
- **Entradas:** Nome, e-mail e senha.
- **Processo:**
 1. O fisioterapeuta acessa a tela de cadastro.
 2. O fisioterapeuta insere os dados necessários.
 3. O fisioterapeuta clica no botão "Cadastrar".
- **Saída:** O sistema registra o fisioterapeuta e o redireciona para a tela principal.
- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF02] Cadastro de Pacientes**

- **Descrição:** O sistema deve permitir o cadastro de pacientes.
- **Entradas:** Nome, idade e sexo.
- **Processo:**
 1. O fisioterapeuta acessa a tela de cadastro de pacientes.
 2. O fisioterapeuta insere os dados do paciente.
 3. O fisioterapeuta clica no botão "Cadastrar Paciente".
- **Saída:** O sistema registra o paciente e o associa ao fisioterapeuta correspondente.
- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF03] Realização de Avaliação (Manovacuometria)**

- **Descrição:** O sistema deve permitir a execução de exames de manovacuometria para medir as pressões respiratórias máximas.

- **Processo:**

1. O fisioterapeuta seleciona o paciente cadastrado.
2. O fisioterapeuta inicia o modo "Exame de Manovacuometria".
3. O paciente realiza o esforço e o sistema captura os picos de pressão.

- **Saída:** Os valores de P_{Imáx} e P_{Emáx} são gerados e exibidos na tela.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF04] Seleção e Configuração de Treinamento**

- **Descrição:** O sistema deve permitir que o profissional selecione o protocolo de treinamento e ajuste os parâmetros de dificuldade.

- **Processo:**

1. O fisioterapeuta acessa a tela de configuração após a avaliação.
2. O profissional define o nível de dificuldade no aplicativo.
3. O profissional ajusta a carga física no bocal mecânico conforme a meta.

- **Saída:** O treinamento é configurado e o sistema está pronto para a sessão.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF05] Execução de Treinamento Gamificado**

- **Descrição:** O sistema deve executar o treinamento utilizando jogos sérios para fornecer feedback visual.

- **Processo:**

1. O paciente interage com o jogo através de ciclos respiratórios.
2. O sistema processa os dados e movimenta o personagem.
3. O aplicativo contabiliza a pontuação e o tempo de sustentação.

- **Saída:** Dados de desempenho gerados em tempo real.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF06] Recebimento de Dados via Bluetooth**

- **Descrição:** O sistema deve receber dados do sensor de pressão via Bluetooth.

- **Processo:**

1. O ESP32 envia os dados capturados.
2. O aplicativo recebe e processa o sinal.

- **Saída:** Dados prontos para exibição e processamento clínico.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF07] Armazenamento de Dados no Firebase**

- **Descrição:** O sistema deve salvar os dados associando-os ao paciente correspondente.

- **Processo:**

1. Após a captura, o sistema organiza as informações.
2. O sistema sincroniza os dados com a nuvem do Firebase.

- **Saída:** Dados armazenados de forma persistente.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF08] Visualização de Histórico**

- **Descrição:** O sistema deve permitir a visualização do histórico de sessões.

- **Processo:**

1. O fisioterapeuta acessa o perfil do paciente.
2. O sistema exibe a lista cronológica de atividades.

- **Saída:** Histórico detalhado exibido em tela.

- **Prioridade:**

	Essencial	X	Importante		Desejável
--	-----------	---	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RF09] Edição de Informações dos Pacientes**

- **Descrição:** O sistema deve permitir editar os dados cadastrais.

- **Processo:**

1. O profissional seleciona "editar" no perfil.
2. Altera os dados e confirma.

- **Saída:** Banco de dados atualizado com as novas informações.

- **Prioridade:**

	Essencial	X	Importante		Desejável
--	------------------	---	-------------------	--	------------------

4. Requisitos Não Funcionais

- **Requisito N°: [RNF01] Segurança dos Dados**

- **Descrição:** O sistema deve garantir que os dados sejam armazenados de forma segura.

- **Processo:**

1. O sistema utiliza criptografia para o armazenamento dos dados.
2. Medidas de segurança adicionais, como autenticação, são implementadas.

- **Saída:** Os dados são armazenados de forma segura e protegidos contra acessos não autorizados.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	------------------	--	-------------------	--	------------------

- **Requisito N°: [RNF02] Compatibilidade com Dispositivos Android**

- **Descrição:** O sistema deve ser compatível com dispositivos Android.

- **Processo:**

1. O sistema é desenvolvido e testado em diferentes versões do Android.
2. Garantir que o aplicativo funcione corretamente em uma variedade de dispositivos.

- **Saída:** O sistema opera de forma consistente e eficiente em dispositivos Android.

- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RNF03] Usabilidade**

- **Descrição:** O sistema deve ser fácil de usar, com uma interface intuitiva para fisioterapeutas.
- **Processo:**
 1. Realizar testes de usabilidade com fisioterapeutas para ajustar a interface.
 2. Implementar feedback visual e sonoro para orientar o usuário durante o uso.
- **Saída:** O sistema é considerado fácil de usar pelos fisioterapeutas e minimiza erros operacionais.
- **Prioridade:**

	Essencial	X	Importante		Desejável
--	-----------	---	------------	--	-----------

- **Requisito N°: [RNF04] Confiabilidade**

- **Descrição:** O sistema deve ser confiável, garantindo que os dados sejam sempre capturados e armazenados corretamente.
- **Processo:**
 1. Implementar testes automatizados para verificar a integridade dos dados.
 2. Utilizar mecanismos de redundância para evitar perda de dados.
- **Saída:** O sistema mantém a integridade e consistência dos dados em todas as operações.
- **Prioridade:**

X	Essencial		Importante		Desejável
---	-----------	--	------------	--	-----------

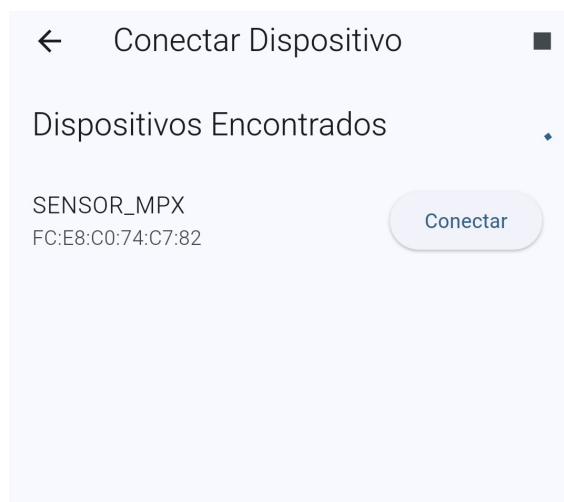
APÊNDICE B – INTERFACES COMPLEMENTARES DO APLICATIVO

Este apêndice apresenta o detalhamento das interfaces auxiliares do aplicativo *Respiro.Scan*, documentando o fluxo operacional completo do sistema. As telas a seguir ilustram as funcionalidades de conectividade, gerenciamento de pacientes, configuração de exames e visualização de histórico, complementando a descrição técnica apresentada no corpo do trabalho.

1. Gerenciamento de Conectividade

A comunicação entre o dispositivo móvel e o hardware do protótipo é estabelecida através da interface de conexão Bluetooth, apresentada na Figura 32. Ao iniciar o aplicativo, o sistema realiza uma varredura automática por dispositivos BLE (*Bluetooth Low Energy*) próximos. A lista “Dispositivos Encontrados” exibe o nome e o endereço MAC dos equipamentos detectados. O usuário deve selecionar o dispositivo correspondente ao protótipo e acionar o botão “Conectar” para estabelecer o vínculo de comunicação serial para a transmissão de dados em tempo real.

Figura 32 – Interface de Conexão Bluetooth (BLE)



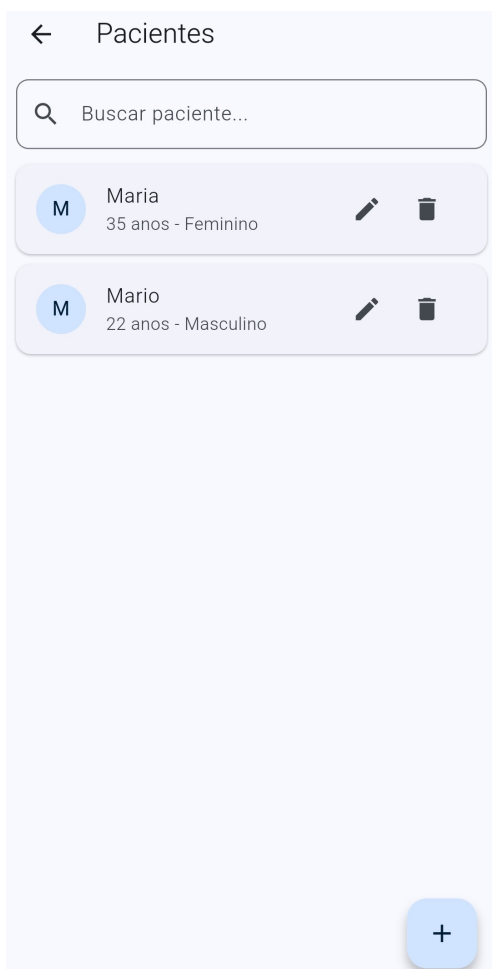
Fonte: Autor (2025).

2. Gestão de Pacientes

O módulo de gestão de pacientes é centralizado na tela de listagem (Figura 33). Esta interface apresenta os pacientes cadastrados no banco de dados, exibindo informações resumidas como nome, idade e sexo para rápida identificação. A interface dispõe de uma barra de busca no topo para filtrar registros e ícones de ação em cada card (lápiz para edição e lixeira para exclusão). O botão flutuante (+) no canto inferior direito direciona o usuário para o formulário de cadastro.

A Figura 34 detalha a tela de cadastro de novos pacientes. O formulário foi projetado para ser conciso, coletando apenas os dados antropométricos essenciais para os cálculos de referência: Nome Completo, Idade e Sexo (selecionável via botões de opção). Campos adicionais como Telefone e Endereço são armazenados para fins de registro clínico.

Figura 33 – Tela de Listagem de Pacientes



Fonte: Autor (2025).

Figura 34 – Formulário de Cadastro

Fonte: Autor (2025).

3. Configuração de Exames

Antes de iniciar a coleta de dados do sensor, o sistema requer a configuração do tipo de manobra a ser realizada. A Figura 35 apresenta a tela de “Nova Avaliação”, onde o nome do paciente selecionado é exibido no topo para confirmação de segurança. O fisioterapeuta deve selecionar o tipo de manobra a ser realizada através dos botões “Inspiração” ou “Expiração”. Esta escolha configura o algoritmo de processamento para interpretar os sinais de pressão (positiva ou negativa) e ajusta as escalas gráficas para a visualização em tempo real. O botão “Iniciar Coleta” ativa a leitura dos sensores e a transmissão de dados.

Figura 35 – Seleção do Tipo de Avaliação



Fonte: Autor (2025).

4. Histórico e Detalhes da Sessão

A visualização longitudinal do progresso do paciente é realizada na tela de Relatórios. A interface de listagem (Figura 36) organiza os registros históricos cronologicamente, separando “Avaliações” e “Treinamentos”. Ao selecionar um registro específico, o sistema exibe a tela de Detalhes (Figura 37), que apresenta o gráfico completo da sessão e as métricas finais. Nesta tela, o profissional dispõe das opções

para “Gerar PDF” (exportando um laudo completo para compartilhamento) ou “Excluir” o registro caso seja um teste ou erro de execução.

Figura 36 – Lista de Histórico de Relatórios



Fonte: Autor (2025).

Figura 37 – Detalhes e Opções (PDF/Excluir)



Fonte: Autor (2025).