UNIVERSIDADE MOGI DAS CRUZES
ALEXANDRE MESSIAS DA SILVA

INTERFACE GRÁFICA COM IMPACTO NA COLETA DE DADOS DA FREQUÊNCIA CARDÍACA VIA SMARTWATCH EM DIFERENTES POSTURAS CORPORAIS

MOGI DAS CRUZES, SP
2025

UNIVERSIDADE MOGI DAS CRUZES

ALEXANDRE MESSIAS DA SILVA

INTERFACE GRÁFICA COM IMPACTO NA COLETA DE DADOS DA FREQUÊNCIA CARDÍACA VIA SMARTWATCH EM DIFERENTES POSTURAS CORPORAIS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Mogi das Cruzes, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Biomédica.
Área de concentração: Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Goroso

MOGI DAS CRUZES, SP

2025

FINANCIAMENTO





Ficha catalográfica
Universidade de Mogi das Cruzes - Biblioteca Central

Silva, Alexandre Messias da
S586i Interface gráfica com impacto na coleta de dados da frequência cardíaca via Smartwatch em diferentes posturas corporais / Alexandre Messias da Silva. -- Mogi das Cruzes, SP: Universidade de Mogi das Cruzes, 2025.
76 f.: il.
Inclui bibliografia

Tese (Doutorado em Engenharia Biomédica) -- Universidade de Mogi das Cruzes, 2025.
Orientação: Prof. Dr. Daniel Gustavo Goroso.

1. Frequência cardíaca 2. Coleta de dados 3. Smartwatch 4. Atividades cotidianas 5. Saúde cardiovascular 6. Sistema nervoso autônomo I. Goroso, Daniel Gustavo II. Universidade de Mogi das Cruzes III. Título

CDD 616.1

ATAS

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA DA UNIVERSIDADE DE MOGI DAS CRUZES

Às quatorze horas e trinta minutos do dia nove de maio de dois mil e vinte e cinco, pela Universidade de Mogi das Cruzes, realizou-se a defesa da tese intitulada "DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE GRÁFICA COM IMPACTO NA COLETA DE DADOS DA FREQUÊNCIA CARDÍACA VIA SMARTWATCH EM DIFERENTES POSTURAS CORPORAIS". para obtenção do grau de doutor(a) pelo(a) candidato(a) **Alexandre Messias da Silva.** Tendo sido o número de créditos alcançados pelo(a) mesmo(a) no total de 76 (setenta e seis), a saber: 40 unidades de crédito em disciplinas e atividades na pós-graduação e 36 unidades de crédito no preparo da tese, o(a) aluno(a) perfaz assim os requisitos para obtenção do grau de doutor(a). A comissão examinadora foi constituída pelos senhores professores doutores: Daniel Gustavo Goroso, Robson Rodrigues da Silva e Terigi Augusto Scardovelli, da Universidade de Mogi das Cruzes, Walter Saraiva Lopes, da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e José Luís Puglisi, da College of Medicine da California Northstate University, Sacramento, CA, EUA, sob a presidência do primeiro como orientador do(a) aluno(a). A sessão pública da defesa da tese foi aberta pelo senhor presidente da comissão que apresentou o(a) candidato(a). Em seguida o(a) candidato(a) realizou uma apresentação oral de seu trabalho, ao final da qual seguiram-se as arguições pelos membros da comissão examinadora. A seguir, a comissão, em sessão secreta, conforme julgamento discriminado por cada membro, considerou o(a) candidato(a)

Aprovado (aprovado(a) /reprovado(a)) por **Unanimidade** (unanimidade/maioria).

Mogi das Cruzes, 09 de maio de 2025.

Comissão Examinadora	Julgamento
Documento assinado digitalmente gov.br TERIGI AUGUSTO SCARDOVELLI Data: 13/05/2025 11:48:46-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Terigi Augusto Scardovelli	**Aprovado** (aprovado(a)/reprovado(a))
Jose Luis Puglisi Digitally signed by Jose Luis Puglisi DN: cn=Jose Luis Puglisi, o=California North State University, ou=College of Medicine, email=jose.puglisi@cnsu.edu, c=US Date: 2025.05.13 11:05:48 -0700	**Aprovado** (aprovado(a)/reprovado(a))
Prof. Dr. José Luís Puglisi	
Documento assinado digitalmente gov.br ROBSON RODRIGUES DA SILVA Data: 13/05/2025 15:29:47-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Robson Rodrigues da Silva	**Aprovado** (aprovado(a)/reprovado(a))
Documento assinado digitalmente gov.br WALTER SARAIVA LOPES Data: 13/05/2025 08:28:46-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Walter Saraiva Lopes	**Aprovado** (aprovado(a)/reprovado(a))
Documento assinado digitalmente gov.br DANIEL GUSTAVO GOROSO Data: 13/05/2025 06:51:18-0300 Verifique em https://validar.iti.gov.br	
Prof. Dr. Daniel Gustavo Goroso	**Aprovado** (aprovado(a)/reprovado(a))

Dedicatória

Dedico este trabalho à pesquisa científica, pilar fundamental que moldou minha jornada acadêmica e profissional, proporcionando-me um contínuo aprendizado e crescimento.

Aos meus pais, agradeço imensamente por serem meus maiores incentivadores e por personificarem os valores e a ética que guiaram cada passo desta trajetória. Seu apoio incondicional e exemplo de vida foram a base para a realização desta pesquisa.

Aos meus familiares e amigos, que com generosidade e compreensão, ofereceram o suporte essencial para que eu pudesse dedicar-me integralmente a esta pesquisa. Sua presença constante, o entusiasmo em minhas conquistas e o acolhimento nos momentos de adversidade foram pilares insubstituíveis nesta jornada.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que tornaram possível esta jornada e a realização desta pesquisa.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por ter proporcionado o período de férias de julho de 2024. Este foi um momento importante, pela dedicação exclusiva e autônoma, permitiu a validação bem-sucedida da interface gráfica de coleta de dados, fundamental para o avanço da pesquisa, superando obstáculos e reafirmando o compromisso com a ciência e a investigação.

Meu sincero agradecimento aos funcionários da Policlínica (UMC). Sua inestimável parceria e dedicação voluntária foram o alicerce para a coleta de dados nos protocolos experimentais que utilizaram smartwatches, e sua contribuição foi fundamental para o sucesso desta pesquisa.

Minha gratidão estende também aos familiares e amigos dos funcionários da Policlínica (UMC), bem como aos meus próprios, que se dedicaram voluntariamente a esta pesquisa. A contribuição de cada um foi essencial para a coleta de dados.

Em particular, destaco a valiosa participação de William Tsutomu Watanabe, cuja contribuição e participação ativa na coleta de seus dados foram de grande importância.

Um agradecimento especialíssimo a Katia de Cassia Monteiro. Sua contribuição não se limitou à própria coleta de dados; seu engajamento exemplar em convidar e mobilizar diversos outros voluntários foi essencial, ampliando significativamente a dimensão e a abrangência da pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da concessão da bolsa de doutorado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do processo nº 21/14231-0, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

RESUMO

A variabilidade da frequência cardíaca é um indicador importante da saúde cardiovascular e do sistema nervoso autônomo, refletindo a capacidade do organismo de se adaptar a diversos estímulos. Sendo que a alta variabilidade da frequência cardíaca indica um sistema nervoso autônomo equilibrado e adaptável, enquanto a baixa sugere menor flexibilidade e maior risco de doenças crônicas. Há necessidade de analisar e comparar as medições da frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca obtidas por smartwatch nas diferentes posturas da atividade da vida diária. Este estudo propõe o desenvolvimento de uma interface gráfica para otimizar a coleta de dados de frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca. O objetivo é analisar e comparar esses dados, coletados por meio de três smartwatches**,** em dois protocolos experimentais distintos. Além disso, a pesquisa busca avaliar a confiabilidade do dispositivo para o monitoramento de atividades da vida diária, integrando os resultados à interface desenvolvida para facilitar a visualização e interpretação. Nessa metodologia foi utilizado smartwatch Samsung Galaxy Watch 4 para monitorar continuamente a frequência cardíaca em dois protocolos (sentado-movimento-sentado e deitado-movimento-deitado), analisando frequência cardíaca e variabilidade da frequência cardíaca em diferentes posturas. Uma interface gráfica em PHP foi desenvolvida para otimizar a coleta de dados.

Os resultados indicaram que um valor de $p<0,05$ mostra diferenças significativas, enquanto $p\geq0,05$ sugere similaridade nas medições. A normalidade dos dados foi avaliada por valores de 0,940, 0,923 e 0,900, onde valores mais próximos de 1 indicam maior normalidade. Apesar da boa normalidade observada no Smartwatch 1 (0,84) e Smartwatch 2 (0,28), o Smartwatch 3 (0,07) podendo gerar preocupações, por estar próximo do limite de 0,05, o que pode impactar a validade de certas análises estatísticas. A interface em PHP foi importante para a eficiência e acurácia da coleta de dados.

Palavras-chaves: Interface gráfica para coleta de dados; smartwatch; variabilidade da frequência cardíaca; atividade da vida diária.

ABSTRACT

Heart rate variability is an important indicator of cardiovascular health and the autonomic nervous system, reflecting the body's ability to adapt to different stimuli. High heart rate variability indicates a balanced and adaptable autonomic nervous system, while low heart rate variability suggests less flexibility and a higher risk of chronic diseases. There is a need to analyze and compare heart rate and heart rate variability measurements obtained by smartwatches in different postures during daily activities.This study proposes the development of a graphical interface to optimize the collection of heart rate and heart rate variability data. The objective is to analyze and compare these data, collected through three smartwatches, in two different experimental protocols. In addition, the research seeks to evaluate the reliability of the device for monitoring activities of daily living, integrating the results into the developed interface to facilitate visualization and interpretation. In this methodology, a Samsung Galaxy Watch 4 smartwatch was used to continuously monitor heart rate in two protocols (sitting-movement-sitting and lying-movement-lying), analyzing heart rate and heart rate variability in different postures. A graphical interface in PHP was developed to optimize data collection.
The results indicated that a p-value <0.05 shows significant differences, while $p \geq 0.05$ suggests similarity in the measurements. The normality of the data was assessed by values of 0.940, 0.923 and 0.900, where values closer to 1 indicate greater normality. Despite the good normality observed in Smartwatch 1 (0.84) and Smartwatch 2 (0.28), Smartwatch 3 (0.07) may raise concerns, as it is close to the limit of 0.05, which may impact the validity of certain statistical analyses. The PHP interface was important for the efficiency and accuracy of data collection.

Keywords: Graphical interface for data collection; smartwatch; heart rate variability; daily life activity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Inervação Simpática e Parassimpática do Coração 17
Figura 2 - Ciclo Cardíaco 18
Figura 3 - Eletrocardiograma normal 19
Figura 4 - Smartwatch Samsung Galaxy Watch 4 25
Figura 5 – Esquema de coleta e processamento de dados. 30
Figura 6 – Diagrama de Banco de Dados 33
Figura 7 – Interface de Coleta de Dados 34
Figura 8 - Interface Gráfica para coleta de dados 36
Figura 9 – Processo de Aquisição da Interface para Coletas de Dados 38
Figura 10 - Diagrama de desenvolvimento de Interface Gráfica 39
Figura 11 – Interface para coleta de dados. 40
Figura 12 - Diagrama de caso de uso. 41
Figura 13 – Requisitos Funcionais. 42
Figura 14 – Requisitos Não Funcionais 45
Figura 15 - Diagrama DFD para gravação de dados. 48
Figura 16 – Diagrama DFD para parar a gravação de dados. 49
Figura 17 – Diagrama DFD para limpar os requisitos do relógio. 49
Figura 18 – Diagrama DFD da gravação de dados 49
Figura 19 – Posição dos smartwatches. 50
Figura 20 – Protocolo I. 52
Figura 21 – Protocolo II. 53
Figura 22 – Protocolo I – Sentado. 56
Figura 23 – Protocolo II – Deitado. 58
Figura 24 – Dados brutos. 60
Figura 25 – Interpolação Cúbica. 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Código Idperfil.....50
Tabela 2 - Descriptives - Teste de Friedman 61
Tabela 3 - Descriptives - Teste de Durbin-Conover 62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AV	Atrioventriculares
AVD	Atividade da Vida Diária
BPM	Batimentos por Minuto
DFD	Diagrama de Fluxo de Dados
ECG	Eletrocardiograma
FC	Frequência Cardíaca
Fleem System	Free Living Energy Expenditure Monitoring System
HF	Alta Frequência
HIPAA	Health Insurance Portability and Accountability Act
IMC	Índice de Massa Corporal
LF	Baixa Frequência
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
PHP	Hypertext Preprocessor
RR	Intervalo RR
SNA	Sistema Nervoso Autônomo
SNP	Sistema Nervoso Parassimpático
SNS	Sistema Nervoso Simpático
SUS	Sistema Único de Saúde
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca
WEAR OS	Sistema Operacional do Google

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA. 14
1.2 OBJETIVO. 14
1.2.1 OBJETIVO GERAL. 14
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 15
1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA. 15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
2.1 ANATOMIA DO CORAÇÃO E A FC 16
2.2 ANÁLISE DO ELETROCARDIOGRAMA 19
2.3 FATORES QUE INTERFEREM NA VFC 20
2.4 CÁLCULO DOS PARÂMETROS RR E VFC NO PYBIOS 21
2.5 ESTADO DA ARTE 23
2.5.1 DISPOSITIVOS VESTÍVEIS 23
2.5.2 LIMITAÇÕES E DESAFIOS DOS DISPOSITIVOS VESTÍVEIS NO MONITORAMENTO DA SAÚDE 25
2.5.3 O SAMSUNG GALAXY WATCH 4 COMO FERRAMENTA PARA MONITORAMENTO CARDÍACO EM AVD. 26
2.5.4 A IMPORTÂNCIA DA CALIBRAÇÃO DE SMARTWATCHES PARA UM MONITORAMENTO PRECISO DA SAÚDE CARDIOVASCULAR 27
2.5.5 WATANABE: EM PRÉ-PROCESSAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS COM PYTHON 28
3. MATERIAIS E MÉTODOS 31
3.1 NFRAESTRUTURA DE REDE DE COMPUTADORES E DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA CONTROLE DA COLETA DE DADOS 31
3.2 INTRODUÇÃO À INTERFACE DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS. 33
3.3 INTERFACE GRÁFICA PARA COLETA DE DADOS. 38

3.3.1 REQUISITOS FUNCIONAIS – INTERFACE PARA COLETA DE DADOS...41
3.3.2 REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS – INTERFACE PARA COLETA DE DADOS. ... 44
3.3.3 NORMAS RELEVANTES. ...47
3.3.4 FUNCIONALIDADE E IMPACTO ...48
3.4 PROTOCOLO EXPERIMENTAL. ... 50
3.5 PERFIL CLÍNICO DOS PARTICIPANTES. ...53
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA. ... 54
3.7 ANÁLISE DO GRÁFICO DE DISPERSÃO. ... 55
4. RESULTADOS ...59
4.1 DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DA INTERFACE GRÁFICA ...59
4.2 COLETA E ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS BRUTOS... 59
4.3 PROCESSAMENTO DE DADOS: INTERPOLAÇÃO CÚBICA... 60
4.4 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS ... 60
4.5 TESTE DE NORMALIDADE. ...61
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA COMPARATIVA. ... 62
4.7 ALINHAMENTO COM LITERATURA E IMPLICAÇÕES. ...63
5. DISCUSSÃO ...65
6. TRABALHOS FUTUROS ...68
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS ... 70
REFERÊNCIAS ... 72

1 INTRODUÇÃO

Conforme descrito por Hall e Guyton (2017, p. 377), a inervação cardíaca é composta por fibras nervosas simpáticas e parassimpáticas, que desempenham papéis opostos na regulação da frequência cardíaca (FC) e da força de contração. A inervação simpática aumenta a FC e a força de contração, enquanto a inervação parassimpática diminui esses parâmetros.

Além da regulação da frequência e da força de contração, a inervação cardíaca também influência o diâmetro dos vasos sanguíneos, modulando o fluxo sanguíneo para os diferentes órgãos. Os nervos aferentes, por sua vez, transmitem informações sensoriais do coração para o sistema nervoso central, contribuindo para a regulação da pressão arterial e a percepção de sintomas cardíacos (Tucker; Arora; Mahajan, 2024).

Compreender a complexa interação entre os sistemas nervoso e cardiovascular é fundamental para o diagnóstico e tratamento de diversas doenças cardíacas, como a hipertensão, arritmias e insuficiência cardíaca.

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) tem se mostrado um indicador fisiológico promissor para a avaliação da saúde cardiovascular e do nível de estresse. A VFC reflete as variações no tempo entre os batimentos cardíacos e é influenciada por diversos fatores, incluindo a AVD, o sono e o estresse (Brown *et al.*, 2018).

O monitoramento da VFC durante o exercício físico permite avaliar a resposta cardiovascular ao esforço, identificar sinais de sobrecarga e otimizar o treinamento. Além disso, a VFC pode ser utilizada para monitorar o nível de estresse em diferentes situações da vida diária, contribuindo na identificação de gatilhos e no desenvolvimento de estratégias para o gerenciamento do estresse.

É importante ressaltar que o aumento da atividade do sistema nervoso simpático (SNS), frequentemente associado a estados de estresse, está relacionado à diminuição da VFC. Dessa forma, a análise da VFC pode fornecer informações valiosas sobre o equilíbrio entre os SNS e sistema nervoso parassimpático (SNP) (Gullett *et al.*, 2023).

A combinação da análise da VFC com o eletrocardiograma (ECG) pode fornecer um quadro mais completo da saúde cardiovascular, permitindo a identificação de possíveis alterações na função cardíaca e a detecção precoce de arritmias e outras anomalias.

A análise da VFC, realizada a partir do intervalo RR (RR) do ECG, permite avaliar o equilíbrio entre essas duas divisões do SNA.

O RR, que representa o tempo entre duas ondas R consecutivas no ECG, varia de acordo com a influência do SNA sobre o nódulo sinoatrial, o marcapasso natural do coração. A frequência e a amplitude dessas variações no RR fornecem informações valiosas sobre a modulação autonômica do coração (Matsumura *et al.*, 2021).

A VFC tem sido utilizada em diversas áreas da pesquisa e da prática clínica. No acompanhamento de intervenções terapêuticas, a VFC pode auxiliar na avaliação da eficácia de tratamentos para doenças cardíacas, como a terapia de ressincronização cardíaca. Além disso, a análise da VFC durante o exercício físico permite avaliar a resposta do SNA ao esforço e identificar possíveis disfunções autonômicas.

No diagnóstico de arritmias cardíacas, a VFC complementa o ECG, fornecendo informações sobre a gravidade da arritmia e o risco de eventos cardiovasculares. Ao quantificar a variabilidade do ritmo cardíaco, a VFC contribui para uma avaliação mais precisa da função cardíaca e do equilíbrio autonômico.

A avaliação do risco cardiovascular tem se beneficiado significativamente do avanço tecnológico, com a integração da VFC e do ECG em dispositivos vestíveis, incluindo smartwatches e monitores de atividade física. A combinação dessas ferramentas permite uma monitorização contínua e não invasiva da função cardíaca, fornecendo informações valiosas para a detecção precoce de arritmias e outras alterações cardíacas associadas a um maior risco cardiovascular (Kiselev *et al.*, 2024).

A VFC, que reflete a variabilidade do intervalo entre os batimentos cardíacos, é um indicador da modulação do SNA sobre o coração. Ao analisar a VFC, é possível avaliar a capacidade do organismo em responder a diferentes estímulos e adaptar a FC às demandas do corpo. Por outro lado, o ECG fornece informações detalhadas sobre a atividade elétrica do coração, permitindo identificar alterações estruturais e funcionais que podem aumentar o risco de eventos cardiovasculares (Gullett *et al.*, 2023).

Smartwatches equipados com sensores de FC, VFC e o ECG têm se popularizado como ferramentas para o automonitoramento da saúde. Esses dispositivos permitem a coleta contínua de dados sobre a FC e a VFC do ritmo cardíaco, permitindo a identificação de padrões anormais e a detecção precoce de arritmias.

Para o monitoramento abrangente de dados fisiológicos de um único indivíduo, utilizando os três smartwatches posicionados estrategicamente (dois nos pulsos e um no

tornozelo), a interface gráfica desempenha um papel importante. Devendo ser desenvolvida para consolidar e apresentar visualmente os dados coletados de cada dispositivo. Essa interface permitirá a visualização em tempo real da FC e VFC de cada um dos três smartwatches.

A interface gráfica permiti a comparação entre os parâmetros coletados de diferentes pontos do corpo, possibilitando a análise de possíveis variações na resposta fisiológica entre os pulsos e o tornozelo. A análise integrada desses dados, facilitada pela interface, enriquece a compreensão da saúde cardiovascular do indivíduo, validando e expandindo as aplicações do monitoramento contínuo da VFC.

1.1 Apresentação do Problema

Segundo Lins *et al.* 2023, a crescente disponibilidade de smartwatches trouxe a promessa de monitoramento contínuo da saúde, incluindo a VFC. No entanto, a acurácia e a confiabilidade da VFC medida por esses dispositivos ainda são questionáveis, devido a uma série de limitações inerentes à sua tecnologia e design, especialmente no modelo Samsung Galaxy Watch 4 utilizado neste estudo.

Charlton *et al.* 2022 destaca que a natureza vestível dos smartwatches os torna particularmente exposto a ruídos e interferências provenientes de movimentos corporais, suor e outros fatores ambientais. Essa vulnerabilidade, conforme apontada pelo autor, compromete a clareza do sinal e, consequentemente, a precisão das leituras da VFC.

Seguindo essa linha de raciocínio, o autor ressalta que a maioria dos smartwatches utiliza sensores ópticos para medir a FC e a VFC. O uso inadequado desses dispositivos, como o posicionamento incorreto no pulso ou o uso durante exercícios intensos, pode afetar significativamente a qualidade dos dados da VFC, conforme evidenciado em suas pesquisas.

Ainda em relação a este estudo reconhece que ao contrário dos equipamentos médicos tradicionais, os smartwatches não garantem o posicionamento ideal do sensor de fotopletismografia. Essa limitação, conforme discutido pelo autor, pode levar a leituras imprecisas do ECG e, consequentemente, da VFC.

1.2. Objetivo

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar a acurácia e confiabilidade da coleta simultânea de dados de FC e VFC utilizando três smartwatches, comparando seus resultados para identificar semelhanças, diferenças e possíveis inconsistências.

1.2.2 Objetivo Específico

- Desenvolver uma interface gráfica de forma facilitar e agilizar a coleta de dados da FC e VFC, que poderá ser utilizada em diversas aplicações, desde pesquisa científica com a utilização de dispositivos vestíveis até monitoramento da saúde pessoal de forma intuitiva.
- Avaliar o potencial do Samsung Galaxy Watch 4 como ferramenta para o monitoramento contínuo da FC e VFC através de dois protocolos propostos simulando a AVD, visando identificar padrões de resposta cardiovascular associados a diferentes condições de saúde e auxiliar na tomada de decisões clínicas.

1.3. Justificativa da pesquisa

Essa pesquisa está focada na acurácia e confiabilidade da VFC medida por smartwatches, especialmente o Samsung Galaxy Watch 4, a importância do monitoramento contínuo da saúde se torna um atrativo significativo para usuários e profissionais de saúde. A VFC é um indicador importante da saúde autonômica e pode fornecer informações importantes sobre estresse, recuperação e bem-estar no geral. Se a VFC medida por smartwatches não for precisa, suas aplicações para monitoramento de saúde tornam-se limitadas. Os smartwatches se tornam inerentemente suscetíveis a ruídos e interferências. Movimentos corporais, suor e outros fatores ambientais são elementos que podem comprometer a qualidade do sinal e, por sua vez, a precisão das leituras da VFC. Essa vulnerabilidade é uma preocupação crítica, pois afeta diretamente a validade dos dados coletados em ambientes cotidianos. O uso inadequado desses dispositivos, como o posicionamento incorreto no pulso ou o uso durante atividades físicas intensas, pode distorcer significativamente a qualidade dos dados. Esta é uma limitação prática que demanda investigação para entender o real impacto nas medições da VFC em diferentes cenários de uso. A falta de padronização no posicionamento do sensor é um fator crítico que diferencia os smartwatches de dispositivos de nível médico e justifica a necessidade de avaliar sua performance. Por fim, a pesquisa justifica a necessidade em validar a acurácia e a confiabilidade da VFC medida pelos smartwatches frente às suas limitações

tecnológicas. Compreender essas limitações é importante para que os usuários e profissionais de saúde possam ter a garantia do monitoramento contínuo sendo dados precisos e confiáveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

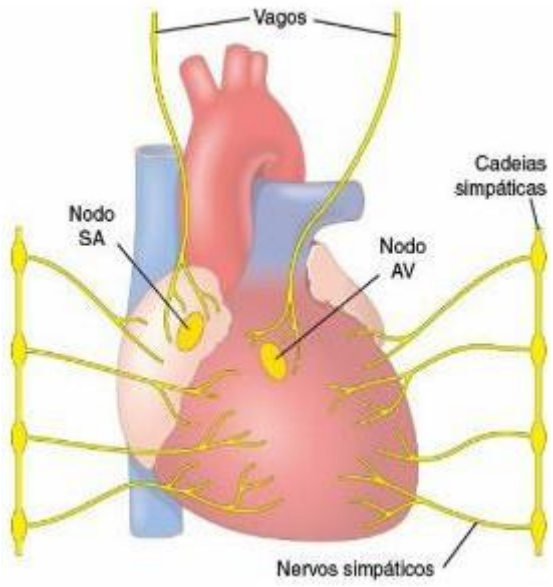
2.1 Anatomia do Coração e a FC

A inervação cardíaca, um processo complexo regulado pelo SNA, influência significativamente a função cardíaca. O SNS, por meio de uma rede complexa de nervos, aumenta a FC e a força de contração do coração. Em contrapartida, o nervo vago, componente do sistema nervoso parassimpático, exerce efeito oposto, diminuindo a FC e a força de contração (Hoagland, 2019).

A inervação cardíaca, tanto simpática quanto parassimpática vagal, desempenha um papel fundamental na regulação do débito cardíaco. Como ilustra a Figura 1, a estimulação simpática pode aumentar significativamente o débito cardíaco, elevando-o em mais de 100% para determinados níveis de pressão atrial (PA).

Diferentemente da estimulação simpática, a estimulação parassimpática pode diminuir o débito cardíaco até níveis próximos de zero Figura 2, (Hall e Guyton, 2017, p. 377).

Figura 1 - Inervação simpática e parassimpática do coração



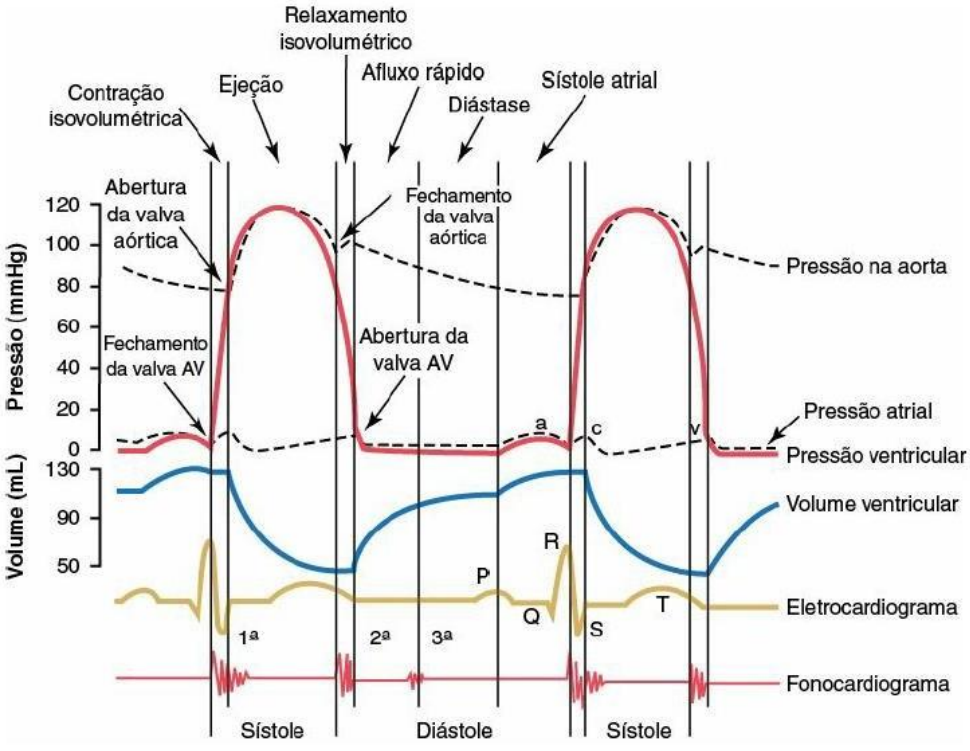
Fonte: Hall e Guyton (2017, p. 377).

Ainda em relação a este estudo reconhece que o aumento da FC acarreta uma diminuição na duração de cada ciclo cardíaco, impactando tanto a fase de contração (sístole) quanto a de relaxamento (diástole). Em condições normais, a FC é de aproximadamente 72 batimentos por minuto, e a sístole corresponde a cerca de 40% do ciclo cardíaco.

No entanto, quando a FC triplica, a sístole se prolonga para cerca de 65% do ciclo, reduzindo significativamente o tempo de diástole. Essa redução do tempo de diástole compromete o enchimento ventricular, levando ao acúmulo de sangue nos átrios.

As atrioventriculares (AV) permanecem fechadas durante a sístole, impedindo o fluxo sanguíneo dos átrios para os ventrículos. Consequentemente, os átrios se distendem para acomodar o volume sanguíneo crescente. Ao final da sístole, quando a pressão ventricular diminui, as valvas AV se abrem abruptamente, permitindo que o sangue dos átrios seja rapidamente ejetado para os ventrículos, como ilustrado na Figura 2. (Hall e Guyton, 2017, p. 358).

Figura 2 – Ciclo Cardíaco.



Fonte: Hall e Guyton, 2017, p. 358. Tratado de fisiologia médica (13a ed.). Elsevier.

2.2 Análise do Eletrocardiograma

Os eletrodos, dispositivos que captam a atividade elétrica do coração, são padronizados por cores (vermelho no braço direito, amarelo no braço esquerdo, verde na perna esquerda e preto na perna direita) para facilitar a conexão ao equipamento. Sua fixação deve ocorrer em locais específicos do corpo, evitando áreas ósseas como pulsos e calcanhares.

O ECG é um exame que registra a atividade elétrica do coração, representada por ondas características conforme a Figura 3. As principais ondas observadas no ECG são:

- **Onda P:** Representa a despolarização atrial, ou seja, a contração das câmaras superiores do coração (átrios).
- **Complexo QRS:**

✓ Representa a despolarização ventricular, ou seja, a contração das câmaras inferiores do coração (ventrículos).

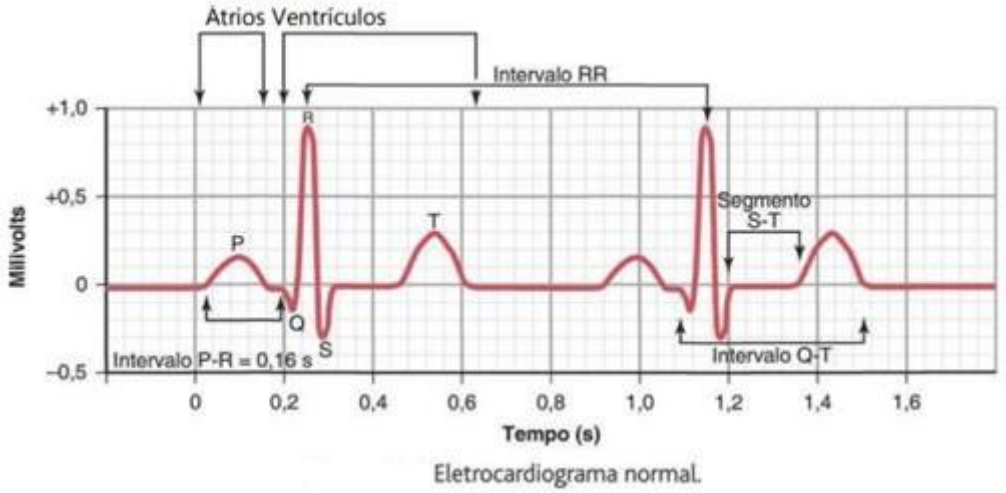
✓ É composto por três ondas:

- **Onda Q:** A primeira deflexão negativa do complexo.
- **Onda R:** A primeira deflexão positiva do complexo.
- **Onda S:** Qualquer deflexão negativa que segue a onda R.

- **Onda T:** Representa a repolarização ventricular, ou seja, o relaxamento das câmaras inferiores do coração (ventrículos), preparando-as para o próximo batimento.

A análise dessas ondas permite ao cardiologista identificar alterações rítmicas e estruturais do coração, subsidiando o diagnóstico e o acompanhamento de diversas doenças cardíacas (Hall e Guyton, 2017, p. 406).

Figura 3 - Eletrocardiograma normal



Fonte: Hall e Guyton, 2017, p. 406. Tratado de fisiologia médica (13a ed.). Elsevier.

A análise do ECG permite identificar alterações no ritmo e na condução elétrica do coração, auxiliando no diagnóstico de diversas doenças cardíacas. A interpretação do exame é realizada por um profissional de saúde, que avalia as características das ondas P, QRS e T, além do intervalo entre elas.

2.3 Fatores que interferem na VFC

A VFC é um importante indicador da modulação autonômica do coração e pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo a postura corporal. Diferentes posições podem afetar a atividade do SNS e SNP, alterando assim a VFC (Kumar; Das; Halder, 2023).

- ✓ **Posição ortostática (em pé):** Ao se levantar, ocorre um aumento da atividade simpática e uma redução da atividade parassimpática, o que geralmente leva a um aumento da FC e uma diminuição da VFC.
- ✓ **Posição sentada**: A posição sentada, especialmente com os pés apoiados no chão, geralmente promove uma menor ativação simpática em comparação com a posição em pé, podendo resultar em uma VFC mais elevada.

- ✓ **Posição deitada (decúbito):** A posição deitada, especialmente em decúbito dorsal, favorece a atividade parassimpática, levando a uma diminuição da FC e um aumento da VFC.
- ✓ **Outras posições:** Outras posições, como a posição de Trendelenburg (com a cabeça mais baixa que os pés) ou a posição de Fowler (semissentada), também podem influenciar a VFC, dependendo da magnitude da mudança postural e das características individuais (Kumar; Das; Halder, 2023).
- ✓ **Nível de atividade física:** Indivíduos mais ativos fisicamente tendem a apresentar menor variação da VFC em resposta às mudanças posturais (BOUQUIN *et al.,* 2024a).
- ✓ **Idade**: A idade pode influenciar a resposta autonômica às mudanças posturais, com idosos apresentando menor variabilidade da VFC (BOUQUIN *et al.*, 2024).

A postura corporal influência significativamente a VFC, um fator importante na interpretação de resultados de monitoramento cardíaco. Alterações na VFC decorrentes de mudanças posturais podem indicar disautonomia ou disfunção autonômica, conforme demonstrado por Teixeira *et al*. (2017).

2.4 Cálculo dos Parâmetros RR e VFC no PyBios

A análise da VFC, conforme proposto por Shaffer e Ginsberg 2017, é realizada a partir do registro ECG. Inicialmente, os intervalos RR são calculados, permitindo a avaliação da variabilidade no domínio do tempo. Para uma análise mais detalhada, o sinal do ECG é decomposto em diferentes bandas de frequência, possibilitando a análise no domínio da frequência.

O intervalo RR é a medida do tempo entre dois batimentos cardíacos sucessivos, representada pela distância entre duas ondas R em um eletrocardiograma (ECG). Sendo um indicador importante na FC e no ritmo cardíaco.

- ✓ O intervalo RR é usado para calcular a FC.
- ✓ A variabilidade do intervalo RR (VFC) é um indicador da atividade do SNA
- ✓ As alterações no intervalo RR podem indicar problemas cardíacos, como arritmias.

- **Como o intervalo RR é usado para calcular FC e VFC**

FC:

✓ A FC é o número de batimentos cardíacos por minuto (bpm). Ela pode ser calculada a partir do intervalo RR da seguinte forma:

✓ FC (bpm) = 60.000 / Intervalo RR (ms)

✓ Onde 60.000 representa o número de milissegundos em um minuto.

VFC:

✓ A VFC é a variação no tempo entre os batimentos cardíacos sucessivos. Ela é calculada a partir de uma série de intervalos RR.

✓ Existem várias métricas de VFC, incluindo:

✓ **SDNN (Desvio Padrão dos Intervalos RR):** Mede a variabilidade total dos intervalos RR.

✓ **RMSSD (Raiz Quadrada da Média dos Quadrados das Diferenças Sucessivas):** Mede a variabilidade de curto prazo dos intervalos RR.

✓ **pNN50 (Porcentagem de Intervalos RR que Diferem em Mais de 50 ms):** Mede a quantidade de variação significativa nos intervalos RR.

O software PyBios é utilizado para calcular os parâmetros da VFC. Ele oferece uma variedade de métodos, tanto lineares quanto não lineares, para analisar sinais biomédicos, com foco especial na análise da VFC.

✓ **Carregamento dos Dados:** Os dados de FC pré-processados são carregados no PyBios.

✓ **Cálculo dos Intervalos RR:** O PyBios calcula os intervalos RR (intervalos entre batimentos cardíacos sucessivos) a partir dos dados de FC.

✓ **Cálculo dos Índices de Domínio do Tempo:** Utilizando os intervalos RR, o PyBios calcula os índices de domínio do tempo, que incluem:

✓ **Média (Mean):** O valor médio dos intervalos RR.

✓ **Desvio Padrão (SDNN):** A medida da variabilidade total dos intervalos RR.

✓ **Raiz Quadrada da Média dos Quadrados das Diferenças Sucessivas (RMSSD):** Uma medida da variabilidade de curto prazo dos intervalos RR.

✓ **pNNx:** A porcentagem de intervalos RR que diferem em mais de 'x' milissegundos (onde 'x' é definido pelo usuário).

✓ **Índice Triangular:** Uma medida geométrica da distribuição dos intervalos RR.

✓ **Largura da Linha de Base da Interpolação Triangular do Histograma do Sinal (TINN):** Outra medida geométrica da distribuição dos intervalos RR.

✓ **Análise por Segmentos:** Para análises que não exigem um sinal longo, o PyBios permite a segmentação dos dados. Nesse caso, os índices são calculados para cada segmento, e os resultados são apresentados como valores medianos e por segmento.

✓ **Resultados:** Os resultados são apresentados em um arquivo, onde cada linha representa um sinal e as colunas representam os índices calculados. A primeira linha contém os parâmetros definidos pelo usuário.

2.5 Estado da Arte

2.5.1 Dispositivos vestíveis

O Samsung Galaxy Watch 4 representa um avanço significativo na integração entre tecnologia vestível e saúde cardiovascular, oferecendo novas possibilidades para o monitoramento da saúde do coração. A capacidade de realizar ECG em tempo real coloca nas mãos do usuário uma ferramenta poderosa para a prevenção e o acompanhamento de condições cardíacas.

A tecnologia de ECG presente no Samsung Galaxy Watch 4 permite o registro rápido e prático da atividade elétrica do coração diretamente no pulso. Essa funcionalidade é essencial para a detecção precoce de alterações significativas, como arritmias e isquemia miocárdica Figura 4. Ao monitorar continuamente o ritmo cardíaco, o smartwatch pode identificar padrões irregulares que indicam problemas cardíacos, permitindo que o usuário busque atendimento médico especializado de forma oportuna.

Além do ECG, o Samsung Galaxy Watch 4 também oferece a análise da VFC. A VFC é um indicador fisiológico importante da saúde do SNA, que controla funções involuntárias do corpo, incluindo o coração.

Uma VFC alta geralmente indica um SNA saudável e adaptável, enquanto uma VFC baixa pode estar associada a um maior risco de doenças cardíacas e outras condições de saúde.

A Figura 4 apresentada ilustra o processo de realização de um ECG no Samsung Galaxy Watch 4, destacando alguns pontos importantes:

- ✓ **Facilidade de uso**: O processo é simples e intuitivo, exigindo apenas que o usuário posicione o dedo levemente sobre o botão superior do smartwatch.
- ✓ **Rapidez**: A leitura do ECG leva apenas 20 segundos, fornecendo resultados rápidos e precisos.
- ✓ **Informações detalhadas**: O smartwatch exibe a FC (bpm) e o ritmo cardíaco (sinusal) do usuário, além de alertar sobre a ausência de sinais de fibrilação atrial (FA).
- ✓ **Limitações**: A Figura 4 também destaca que o aplicativo não busca por sinais de ataque cardíaco, enfatizando a importância de procurar atendimento médico em caso de sintomas sugestivos.

A tecnologia dos smartwatches, com a capacidade de registrar ECG em tempo real, tem o potencial de transformar a cardiologia, permitindo um monitoramento mais frequente e personalizado da saúde do coração.

No entanto, é importante ressaltar que os resultados obtidos com o smartwatch não substituem a avaliação médica profissional. Em caso de dúvidas ou sintomas, é fundamental buscar orientação médica especializada.

Figura 4 – Smartwatch Samsung Galaxy Watch 4



Fonte: https://www.samsung.com/africa_en/support/mobile-devices/how-do-i-measure-the-ecg-on-galaxy-watch-device/

O monitoramento contínuo da FC e da VFC é fundamental para a avaliação da saúde cardiovascular. Tradicionalmente, esses parâmetros eram obtidos por meio de ECG realizados em ambientes hospitalares. No entanto, o surgimento de dispositivos vestíveis, como o Samsung Galaxy Watch 4, revolucionou a forma como monitoramos a saúde do coração (Babu *et al.,* 2024).

O Samsung Galaxy Watch 4, equipado com sensores de última geração, como o ECG, oferece uma ferramenta promissora para a avaliação da saúde cardiovascular. No entanto, são necessários mais estudos para avaliar a acurácia e a confiabilidade dos dados coletados por esse dispositivo, em comparação com métodos de referência, como o ECG de 12 derivações. Além disso, é importante investigar o impacto do uso do Samsung Galaxy Watch 4 na adesão aos tratamentos e na qualidade de vida de pacientes com doenças cardiovasculares (Prieto-Avalos *et al.*, 2022).

2.5.2 Limitações e Desafios dos Dispositivos Vestíveis no Monitoramento da Saúde

A crescente demanda por tecnologias de monitoramento da saúde impulsionou o desenvolvimento de dispositivos vestíveis, como smartwatches, capazes de medir indicadores fisiológicos como FC. No entanto, esses dispositivos apresentam limitações significativas que restringem seu uso em contextos clínicos (Muzny *et al.*, 2020).

- **Foco no Esporte:** A maioria dos dispositivos é projetada para o segmento esportivo, oferecendo funcionalidades superficiais para acompanhamento de atividades físicas, em vez de análises mais aprofundadas da saúde.
- **Plataformas Limitadas:** A falta de plataformas robustas dificulta o acesso a dados detalhados e personalizados por usuários e profissionais de saúde, limitando a aplicação clínica dos dispositivos.
- **Ausência de Integração com Sistemas de Saúde:** A não integração com sistemas de saúde eletrônicos impede a comparação dos dados dos dispositivos com outros exames e informações do paciente, prejudicando a visão abrangente da saúde.
- **Análise de Dados Limitada:** A limitação de algoritmos avançados para análise de dados restringe a capacidade de identificar padrões e detectar precocemente alterações na saúde, comprometendo a prevenção e o diagnóstico precoce.
- **Dificuldades Encontradas:**

✓ A dificuldade de acessar dados de forma clara e objetiva para análises aprofundadas.

✓ A falta de ferramentas para comparar dados de diferentes aparelhos e exames.

✓ A dificuldade de gerar alertas de forma automatizada para situações de risco.

✓ A necessidade de uma maior personalização para cada tipo de paciente.

2.5.3 O Samsung Galaxy Watch 4 como Ferramenta para Monitoramento Cardíaco em AVD

O Samsung Galaxy Watch 4 por ser um dispositivo vestível de última geração, oferece uma gama de funcionalidades que vão além de notificações e rastreamento de atividades físicas. Equipado com sensores de ponta, como o de impedância bioelétrica, o de FC óptica e o ECG, o dispositivo permite a coleta precisa de dados sobre a FC e a VFC em tempo real. Este smartwatch se destaca como uma ferramenta promissora para o monitoramento contínuo da saúde cardiovascular (Sarhaddi *et al.*, 2022).

Segundo Browne *et al.*, 2024, o estudo da avaliação do desempenho demonstra que o smartwatch é capaz de realizar:

- **Monitoramento contínuo:** O smartwatch permite a coleta de dados de forma contínua, proporcionando uma visão mais completa da saúde cardiovascular do indivíduo.
- **Facilidade de uso**: A interface intuitiva e a portabilidade do dispositivo facilitam a adesão do usuário ao monitoramento.
- **Detecção precoce de arritmias:** A capacidade de realizar ECG permite a detecção precoce de arritmias, aumentando as chances de intervenção e prevenindo complicações.
- **Monitoramento remoto:** Os dados coletados pelo smartwatch podem ser transmitidos para profissionais de saúde, permitindo o acompanhamento remoto de pacientes e a tomada de decisões mais precisas.

Segundo LINS *et al.*, 2023, a comparação é importante para determinar a validade clínica e a confiabilidade da tecnologia vestível. O Samsung Galaxy Watch 4 apresenta um grande potencial para diversas aplicações clínicas, incluindo:

- **Monitoramento de pacientes com doenças cardiovasculares**: Permite acompanhar a evolução da doença, ajustar o tratamento e identificar eventos adversos de forma precoce.
- **Detecção de arritmias**: Auxilia na identificação de arritmias, como fibrilação atrial, que podem aumentar o risco de acidente vascular cerebral.
- **Avaliação do impacto de intervenções terapêuticas**: Permite avaliar a eficácia de medicamentos e procedimentos, como a ablação de arritmias.
- **Pesquisa clínica**: Pode ser utilizado em estudos clínicos para investigar a fisiopatologia de doenças cardiovasculares e desenvolver novas terapias.

2.5.4 A Importância da Calibração de Smartwatches para um Monitoramento Preciso da Saúde Cardiovascular

Após o estudo de Lee *et al.*, 2023, a calibração desses dispositivos é fundamental para garantir a acurácia dos dados coletados. Ao comparar os resultados obtidos pelo smartwatch com um ECG, um exame padrão ouro para a avaliação da atividade elétrica do coração, é possível verificar a confiabilidade das medidas e ajustar as configurações do dispositivo, se necessário.

Seguindo essa linha de raciocínio, o autor ressalta a calibração consiste em um processo de ajuste das configurações do smartwatch para que os dados coletados, como a FC, sejam os mais precisos possíveis. Essa etapa é essencial para garantir que o dispositivo se adapte às características individuais de cada usuário, como o estilo de vida e a posição do smartwatch no pulso.

Ainda em relação a este estudo reconhece que a calibração de smartwatches é fundamental para garantir a acurácia das informações de saúde coletadas por esses dispositivos.

- **Aumento da acurácia**: A calibração reduz as discrepâncias entre os dados coletados pelo smartwatch e os valores reais da FC.
- **Melhora na interpretação dos dados**: Dados precisos permitem uma análise mais confiável do condicionamento físico, do estresse e da saúde cardiovascular.
- **Personalização do monitoramento**: A calibração permite que o smartwatch seja ajustado às necessidades individuais de cada usuário.

A VFC é um parâmetro mais sensível que a FC e pode fornecer informações mais detalhadas sobre a função autonômica e a resposta do organismo ao exercício e ao estresse. A calibração do smartwatch para a medida da VFC é crucial para garantir a acurácia dos dados e permitir a identificação de padrões de variabilidade que podem indicar condições de saúde subjacentes (Lee *et al.*, 2023).

2.5.5 Watanabe: Em pré-processamento e processamento de dados com Python.

Os dados coletados da FC e VFC no domínio do tempo e domínio da frequência nos arquivos CSV foram submetidos a um processo de pré-processamento e processamento utilizando a linguagem de programação Python. As principais etapas desse processo foram:

Importação dos dados: Os arquivos CSV foram carregados para o ambiente Python utilizando bibliotecas específicas para manipulação de dados.

Interpolação de valores: A fim de garantir uma análise mais robusta da FC, realizamos um pré-processamento dos dados. Nesse processo, utilizamos a técnica de interpolação cúbica para estimar valores de FC em intervalos de tempo em que não havia registros. Essa técnica consiste em ajustar uma curva suave aos pontos de dados disponíveis, permitindo a criação de uma função contínua que representa a variação da

FC ao longo do tempo. A interpolação cúbica é especialmente útil para dados biológicos, como a FC, que podem apresentar variações que não seguem um padrão linear. Ao preencher as lacunas na série temporal, obtivemos uma representação mais precisa da dinâmica da FC e permitimos a aplicação de análises subsequentes com maior confiabilidade.

Análise da VFC: Os dados processados foram submetidos à análise da VFC utilizando o software PyBios. A VFC é um indicador importante da dinâmica do sistema cardiovascular e foi utilizada para caracterizar a resposta autonômica dos participantes durante o período de coleta de dados.

Análise do intervalo (RR): A partir dos sinais de ECG obtidos, foi calculado o intervalo RR, que representa o tempo entre dois batimentos cardíacos consecutivos. Essa medida é fundamental para a análise da VFC, um indicador não invasivo da modulação autonômica do coração.

Utilizando o software Python e a funcionalidade do PyBios, realizando o processamento dos dados, calculando diversos índices de VFC a partir do intervalo RR, como a raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças dos intervalos RR sucessivos (RMSSD). O RMSSD, em particular, é um indicador sensível de variações de curto prazo na FC e está associado à atividade do sistema nervoso parassimpático.

O PyBios é um programa autônomo desenvolvido em Python, concebido para processar sinais fisiológicos com precisão. Diferentemente de uma biblioteca, que seria um conjunto de funções para uso em outros programas, o PyBios é uma aplicação completa, com algoritmos e fórmulas integradas para análise de dados. O PyBios utiliza uma série de etapas para transformar sinais fisiológicos brutos em informações clinicamente relevantes. Sendo que o PyBios permite uma análise precisa e automatizada de sinais fisiológicos, fornecendo informações valiosas para o diagnóstico e monitoramento de condições cardíacas. Ao integrar todas as etapas de processamento de sinais e cálculos em um único programa, o PyBios simplifica o fluxo de trabalho e aumenta a eficiência da análise de dados (Silva; Fazan; Marin-Neto, 2020).

Ao analisar o intervalo RR e os índices de VFC, foi possível obter informações detalhadas sobre a modulação autonômica cardíaca dos participantes, permitindo avaliar a influência de diferentes fatores, como a AVD na VFC.

A fim de garantir a máxima acurácia dos dados coletados da FC e VFC no domínio do tempo e na frequência, todos os smartwatches foram submetidos a um

processo de calibração automático, seguindo as instruções do fabricante. Essa etapa é fundamental para ajustar os sensores do dispositivo e garantir a concordância entre as medidas obtidas, eliminando possíveis fontes de erro sistemático (LINS *et al.*, 2023).

A Figura 5 mostra o esquema de coleta e processamento dos dados. Os dados de FC medidos pelo smartwatch Figura 5.a são processados em Python Figura 5.b, onde são realizadas técnicas de interpolação para tratamento de erros de leitura do smartwatch (Fc = 0) e Interpolação Cúbica para gerar dados interpolados de FC em frequências de 1 Hz e 1 dado por minuto. Em seguida, o Pybios processa os dados de 1 Hz Figura 5.c para gerar os parâmetros de VFC.

Figura 5- Esquema de coleta e processamento de dados



Fonte: Watanabe, W. T. 2023

3.MATERIAIS E MÉTODOS

Além de o smartwatch ser capaz de monitorar dados fisiológicos, para que essa coleta de informações seja realmente eficaz e útil, a presença de um aplicativo específico que se comunique diretamente com a interface do dispositivo é absolutamente necessária. Esse aplicativo permite que os dados brutos, como batimentos cardíacos, sejam não apenas coletados, mas também interpretados, organizados e apresentados de forma clara e significativa ao usuário.

Essa comunicação entre o aplicativo e o smartwatch é importante para a personalização e a interação contínua. No entanto, é fundamental reconhecer as limitações técnicas e tecnológicas inerentes a esses dispositivos. Por exemplo, a perda de dados por movimentação intensa é um desafio comum, já que o movimento excessivo pode interferir na qualidade do sinal dos sensores, comprometendo a precisão das leituras. Da mesma forma, a latência (atraso) na transmissão dos dados entre o smartwatch e o aplicativo pode impactar a monitorização em tempo real, especialmente em situações que demandam respostas rápidas.

Sem uma interface de comunicação e coleta de dados robusta e um aplicativo eficiente, o potencial do smartwatch de ir além de um relógio comum seria severamente limitado, tornando-o um dispositivo de utilidade restrita e aplicabilidade questionável. As limitações tecnológicas do smartwatch, nesse cenário, seriam evidentes, pois a capacidade de transformar dados em informações úteis dependeria não apenas da inteligência do aplicativo, mas também da superação desses desafios técnicos na coleta e transmissão dos dados.

3.1 Infraestrutura de Rede de Computadores e Desenvolvimento de interface para controle da coleta de dados

- **WampServer:** O notebook usado para coleta de dados foi definido como servidor local, onde foi instalado o WampServer versão 3.3.2 de 64 bits, que compreende o Apache versão 2.4.58 (servidor de internet), PHP versão 8.2.13 (linguagem de programação backend), banco de dados MySQL versão 8.2.0 e phpMyAdmin 5.2.1. (Watanabe, W. T. 2023).

- **Smartwatches:** Foram utilizados smartwatches da Samsung, modelo Galaxy Watch 4, com aplicativo desenvolvido em Android Studio por William T. Watanabe no projeto FAPESP de Processo nº 2022/12866-1, sob o título de "Desenvolvimento de ferramentas para processamento de sinais na plataforma Free Living Energy Expenditure Monitoring System (FLEEM System®)" de 01/11/2022 a 31/10/2023 com a aprovação do comitê de ética da Universidade de Mogi das Cruzes sob o processo # 5.770.826 e registro CAEE 64561022.7.0000.5497. Posteriormente este app foi registrado no INPI sob o Processo Nº:BR512023002601-8(fonte: https://busca.inpi.gov.br/pePI/seret/ProgramaServletController?Action=detail&CodPedido=40582&SearchParameter=)

Este aplicativo tem a finalidade de mandar os dados de FC, acelerômetro, giroscópio, gravidade, data e hora do smartwatch para o servidor.

- **MySQL:** Para armazenar os dados do smartwatch enviados pelo app desenvolvido, foi implementado um banco de dados no MySQL com phpMyAdmin com as seguintes colunas:
  - ✓ Id4_sensores: contador com autoincremento do número de registro de FC;
  - ✓ Idperfil: Código do usuário (smartwatch);
  - ✓ Accx, accy e accz: Dados de aceleração do smartwatch nos eixos x, y e z;
  - ✓ Girx, giry e girz: Dados de giroscópio do smartwatch nos eixos x, y e z;
  - ✓ Gravx, gravy e gravz: Dados de gravidade do smartwatch nos eixos x, y e z;
  - ✓ Bpm_status: Dados do status do sensor de FC;
  - ✓ Bpm: FC registrado pelo smartwatch;
  - ✓ Datahora: Data e hora do registro de cada FC;

Figura 6 – Diagrama de Banco de Dados



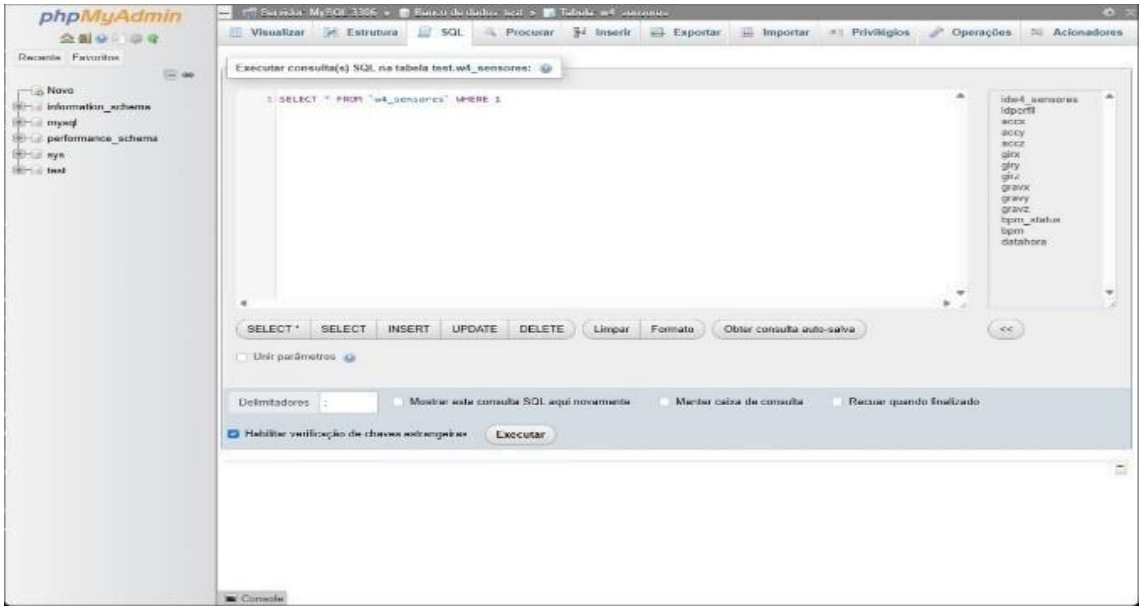
Fonte: Watanabe, W. T. 2023

Este banco de dados é acessado diretamente pelo smartwatch por meio de login e senha definidos no banco de dados.

3.2 Introdução à Interface de Gerenciamento de Banco de Dados

A Figura 7 apresenta uma captura de tela da interface do **phpMyAdmin**, uma ferramenta de gerenciamento de banco de dados baseada na web. Esta ilustração detalha a seção de execução de consultas SQL, permitindo a interação direta com as tabelas do banco de dados. A seguir, serão detalhados os componentes visuais relevantes desta interface:

Figura 7 - Interface de Coleta de Dados



Fonte: Watanabe, W. T. 2023

- **Barra Superior (phpMyAdmin Header):**

✓ No canto superior esquerdo, o logo "phpMyAdmin" identifica a ferramenta.

✓ À direita do logo, encontram-se as abas de navegação principais: "Visualizadores", "Estruturas", "SQL", "Procurar", "Inserir", "Exportar", "Importar", "Privilégios" e "Operações". A aba "SQL" está selecionada, indicando que a área de execução de consultas é o foco atual.

✓ No canto superior direito, há opções como "Acionadores" e ícones de configurações e logout.

- **Painel de Navegação Esquerdo (Navigation Panel):**

✓ Este painel exibe a estrutura hierárquica dos bancos de dados e suas respectivas tabelas.

✓ Na parte superior, há o item "Favoritos" para acesso rápido.

✓ A árvore de navegação principal inclui:

✓ "information_schema": banco de dados padrão do MySQL com metadados.

✓ "mysql": banco de dados padrão do MySQL com informações do sistema.

✓ "performance_schema": banco de dados para monitoramento de desempenho.

✓ "sys": banco de dados auxiliar do MySQL.

✓ "test": um banco de dados de exemplo ou para testes.

✓ Dentro de "test", a tabela "tabela_test_vfc_sensores" está visível e, implicitamente, é o contexto da consulta atual, como indicado na área de execução.

- **Área de Execução de Consulta SQL (SQL Query Execution Area):**

✓ **Título:** "Executar consulta(s) SQL na tabela test.vfc_sensores". Este título confirma que a consulta será executada especificamente na tabela "vfc_sensores" dentro do banco de dados "test".

✓ **Caixa de Texto para Consulta SQL:** Uma grande área em branco onde comandos SQL podem ser digitados ou colados. Na imagem, o comando SELECT

FROMvfc_sensoresWHERE 1 está inserido, indicando uma tentativa de selecionar todos os registros da tabela vfc_sensores. O WHERE 1 é uma condição sempre verdadeira, utilizada comumente para selecionar todos os registros de forma simples.

✓ **Painel de Colunas (à direita da caixa de texto):** Exibe uma lista de colunas disponíveis na tabela vfc_sensores, como bat_sensores, accx, accy, accz, gyr, gxm, gym, gmz, bpm, bpm_status, vfc e dtsensors. Isso auxilia o usuário na construção de consultas.

- **Botões de Ação da Consulta (Query Action Buttons):**

✓ Abaixo da caixa de texto, há uma série de botões para operações comuns: "SELECT", "INSERT", "UPDATE", "DELETE", "Limpar", "Formato", e "Criar consulta auto-tabelada".

✓ O botão "Executar" está em destaque no canto inferior esquerdo desta seção, sendo o comando para processar a consulta inserida.

✓ Uma caixa de seleção "Usar parâmetros" está presente, indicando a possibilidade de consultas parametrizadas.

- **Opções Adicionais de Consulta:**

✓ "Delimitadores" para separar múltiplas consultas.

✓ Caixas de seleção: "Mostrar aula consulta SQL aqui novamente", "Manter caixa de consulta", e "Marcar quando finalizado", que oferecem controle sobre o comportamento da interface após a execução da consulta.

✓ A caixa de seleção "Habilitar notificação de chans categóricas" está ativada.

Inspirado no projeto de Watanabe, W.T., foi desenvolvida uma Interface Gráfica como demostra a Figura 8, para a coleta de dados da FC e VFC. O objetivo dessa interface foi otimizar e agilizar o processo de aquisição e processamento desses dados, além de torná-la mais intuitiva e acessível ao profissional, estabelecendo, assim, uma base sólida para o uso eficaz de smartwatches nesse contexto.

Figura 8 – Interface Gráfica para coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para a continuidade do projeto, uma das principais perspectivas reside no desenvolvimento e aprimoramento contínuo da interface gráfica, que é fundamental para aprimorar a experiência do usuário e otimizar os processos de coleta de dados.

Melhoria na Usabilidade: A interface gráfica proporciona uma experiência mais ampla e intuitiva ao profissional, facilitando a coleta e o monitoramento dos dados da FC e VFC.

Aumento da Eficiência: A interface gráfica otimiza o fluxo de trabalho, permitindo ao profissional realizar as tarefas de coleta e processamento de dados da FC e VFC de forma mais rápida e eficiente.

Visualização Clara dos Dados: A interface gráfica permite a visualização clara e organizada da FC e VFC que os dados coletados, facilitando a identificação de padrões e irregularidades.

Expansão da Aplicabilidade: A interface gráfica pode ser adaptada para coletar dados da FC e VFC em quaisquer dispositivos vestíveis.

Contribuição para a Pesquisa: A interface gráfica aprimora a qualidade e a eficiência da coleta de dados da FC e VFC, contribuindo para a pesquisa.

Conforme demostra a Figura 9 - Processo de Aquisição da Interface para Coleta de Dados, verifica-se que:

a) Captura de Dados pelo Smartwatch (Watanabe, W. T. 2023).

- O processo inicia com a coleta de dados de FC pelo smartwatch. É importante ressaltar que a interface e o sistema foram projetados para serem compatíveis com diversos modelos de smartwatch, e não apenas o Samsung Galaxy Watch 4.
- O smartwatch utiliza seus sensores ópticos para monitorar os batimentos cardíacos do usuário, registrando os intervalos entre cada batida.

b) Transferência e Processamento de Dados via Python (Watanabe, W. T. 2023).

- Os dados de FC coletados pelo smartwatch são transferidos para um notebook, onde um script em Python processa os dados, realiza análises estatísticas e gera visualizações.
- O script Python realiza o tratamento de erros de leitura do smartwatch, garantindo a qualidade dos dados.
- Uma etapa importante é a interpolação cúbica, técnica utilizada para estimar os valores da FC em intervalos de tempo menores que os originalmente registrados pelo smartwatch. Isso aumenta a acurácia da análise da VFC.

c) Análise da VFC com PyBios (Watanabe, W. T. 2023).

- Após o processamento em Python, os dados são analisados utilizando a biblioteca do software PyBios.
- O PyBios é responsável por calcular a VFC a partir dos dados de FC, fornecendo medidas importantes sobre a atividade do SNA.

Figura 9 – Processo de Aquisição da Interface para Coleta de Dados

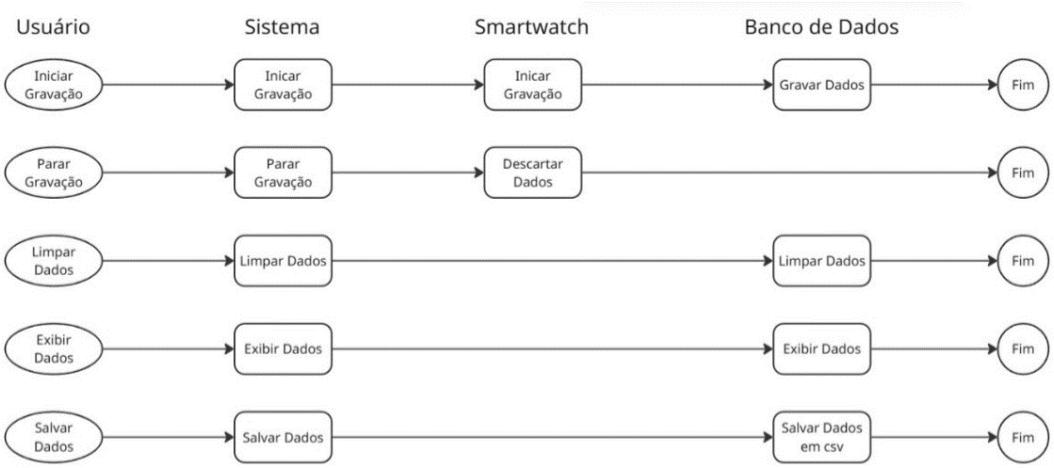


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.3 Interface Gráfica para Coleta de Dados

Na Figura 10 mostra o diagrama de desenvolvimento da Interface Gráfica que ilustra a interação entre Usuário, Sistema, Smartwatch e Banco de Dados em cinco processos. Cada fluxo detalha uma ação do usuário (Iniciar, Parar, Limpar, Exibir ou Salvar Dados), mostrando como o comando é processado pelo Sistema, impacta o Smartwatch e interage com o Banco de Dados para gravar, descartar, limpar, exibir ou salvar informações em CSV. O diagrama oferece uma visão clara e sequencial das operações, destacando a colaboração entre os componentes para completar cada funcionalidade.

Figura 10 - Diagrama de desenvolvimento da Interface Gráfica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

- **Estrutura**

Para facilitar, agilizar e gerenciar a coleta de dados (FC) foi desenvolvida uma interface gráfica:

- WampServer: Foi utilizado notebook para coleta de dados definindo como servidor local, sendo instalado o WampServer versão 3.3.2 de 64 bits, compreendendo o Apache versão 2.4.58 (servidor de internet), PHP versão 8.2.13. A linguagem de programação backend, banco de dados MySQL versão 8.2.0 e phpMyAdmin 5.2.1.

Smartwatches: Foram disponibilizados smartwatches da marca Samsung, modelo Galaxy Watch 4 com Android Studio e já instalado o aplicativo com envio de dados de FC, acelerômetro, giroscópio, gravidade, data e hora para servidor.

MySQL: Os dados enviados através do aplicativo do smartwatch formam armazenados em um banco de dados implementados com phpMyAdmin com as seguintes colunas:

- ✓ Id4_sensores: contador com autoincremento do número de registro de FC;
- ✓ Idperfil: Código do usuário (smartwatch);
- ✓ Accx, accy e accz: Dados de aceleração do smartwatch nos eixos x, y e z;
- ✓ Girx, giry e girz: Dados de giroscópio do smartwatch nos eixos x, y e z;

- ✓ Gravx, gravy e gravz: Dados de gravidade do smartwatch nos eixos x, y e z;
- ✓ Bpm_status: Dados do status do sensor de FC;
- ✓ Bpm: FC registrado pelo smartwatch;
- ✓ Datahora: Data e hora do registro de cada FC;

A Figura 11 ilustra a Interface Gráfica intuitiva desenvolvida para a coleta de dados em tempo real do smartwatch.

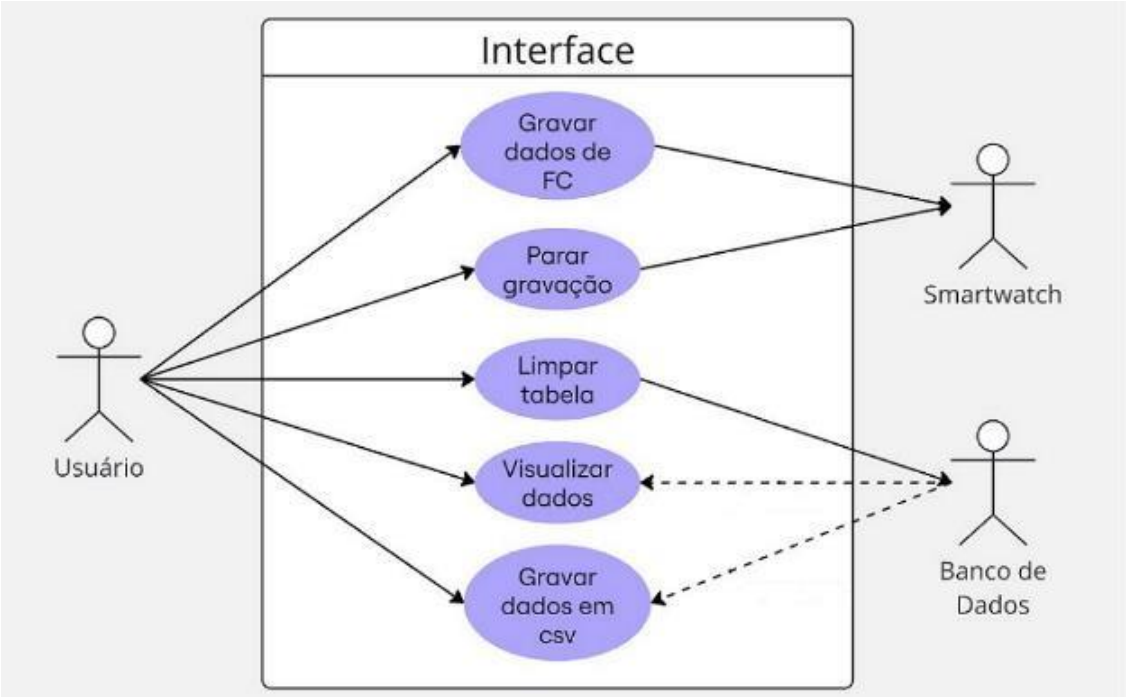
Figura 11 – Interface para coleta de dados



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

O diagrama de caso de uso Figura 12 demonstra as interações entre o usuário, representado pelo ator à esquerda, e o smartwatch e o banco de dados, atores à direita.

Figura 12- Diagrama de caso de uso.



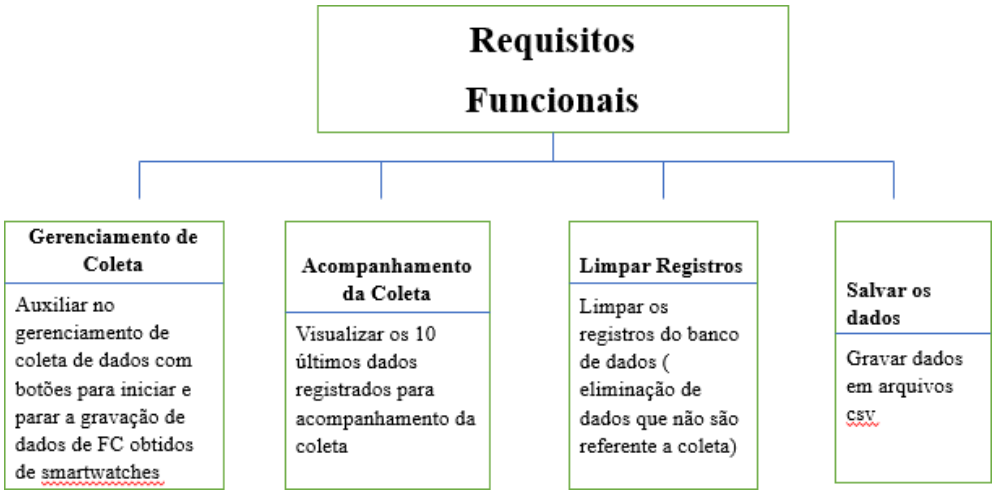
Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

- ✓ **Gravar dados de FC**: Sinaliza o smartwatch para gravar os dados de FC;
- ✓ **Parar gravação:** Sinaliza o smartwatch para interromper a gravação de dados;
- ✓ **Limpar tabela:** Apaga os registros de FC diretamente no banco de dados;
- ✓ **Visualizar dados:** Busca os registros de FC no banco de dados e os exibe na interface;
- ✓ **Gravar dados em CSV**: Retoma os dados de FC do banco de dados e os grava em arquivos csv.

3.3.1 Requisitos Funcionais – Interface para Coleta de Dados

A Figura 13 ilustra os requisitos funcionais essenciais do sistema proposto, organizados em quatro módulos inter-relacionados. O módulo de Gerenciamento da Coleta, Acompanhamento da Coleta, Limpeza de Registros e Salvar os dados garante a persistência dos dados coletados, permitindo sua exportação e armazenamento em formato CSV para análises posteriores.

Figura 13 – Requisitos Funcionais



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Os requisitos foram definidos com base na funcionalidade esperada do sistema e nas limitações do hardware do smartwatch. Sendo utilizado o padrão IEEE 830 para documentar os requisitos, garantindo clareza e rastreabilidade.

Os requisitos funcionais descrevem o que o software deve fazer. A partir da análise da interface de coleta de dados, podemos definir os seguintes requisitos:

a) Coleta de Dados:

✓ O software deve ser capaz de se conectar ao smartwatch e coletar dados de sensores como acelerômetro (accx, accy, accz), giroscópio (girx, giry, girz), gravidade (gravx, gravy, gravz) e batimentos cardíacos (bpm).

✓ A coleta de dados deve ser iniciada e interrompida pelos botões (Ativar Gravação) e (Parar Gravação), respectivamente.

✓ O software deve exibir os dados coletados em tempo real na tabela, com colunas correspondentes aos sensores e outros dados relevantes (idw4_sensores, idperfil, bpm_status, datahora).

✓ O software deve indicar o status da gravação (Gravando Dados) durante a coleta.

✓ Inicia a coleta de dados do smartwatch. Uma requisição HTTP POST é enviada ao endpoint REST do smartwatch para iniciar a coleta de dados. Os dados são

transmitidos em tempo real via JSON e armazenados no banco de dados utilizando operações SQL INSERT.

- ✓ Interrompe a coleta de dados. A funcionalidade envia uma requisição HTTP DELETE ao endpoint do dispositivo, interrompendo o fluxo de dados.

b) Armazenamento de Dados:

- ✓ O software deve permitir que o profissional defina o nome do arquivo para salvar os dados coletados.
- ✓ O software deve salvar os dados em um formato adequado (por exemplo, CSV, JSON) ao clicar no botão (Salvar).
- ✓ O software deve informar o local onde os dados foram salvos.

c) Visualização e Limpeza de Dados:

- ✓ O software deve permitir que o profissional visualize os dados coletados na tabela.
- ✓ O software deve permitir que o profissional limpe a tabela com o botão (Limpar Tabela).
- ✓ O Software deve disponibilizar o botão (Visualizar dados).
- ✓ Limpa os dados exibidos na interface. Um comando SQL TRUNCATE TABLE foi implementado para limpar todos os registros armazenados, com verificações para evitar exclusões não intencionais.
- ✓ Exibe os dados coletados na interface. Uma consulta SQL SELECT com ORDER BY DESC e LIMIT 10 lista os 10 últimos dados registrados no banco de dados, que são acessados diretamente pela interface elaborada em PHP através do MySQLi .

d) Banco de Dados:

- ✓ O modelo relacional foi utilizado para armazenar os dados do smartwatch, com uma tabela dedicada que inclui colunas para timestamp, identificação do dispositivo e os dados biométricos coletados.
- ✓ Os dados são exportados para um arquivo CSV por meio de uma função PHP que formata os registros do banco de dados em texto delimitado por vírgulas. O nome do arquivo é validado para evitar caracteres inválidos.

e) Interface do profissional:

- ✓ A interface deve ser intuitiva e fácil de usar.
- ✓ A interface deve exibir claramente o status da coleta de dados.
- ✓ A interface deve fornecer feedback ao usuário (participante) sobre as ações realizadas (por exemplo, confirmação de salvamento de dados).
- ✓ A interface foi codificada em PHP 8.2.13 apenas no lado do servidor (Backend), onde já possui acesso ao banco de dados. Não foi necessário adotar a arquitetura cliente-servidor. Foram criadas funções em PHP para cada etapa da coleta de dados, tornando o código mais organizado e mais fácil de entender.

f) Validação Garantindo Eficiência e Precisão:

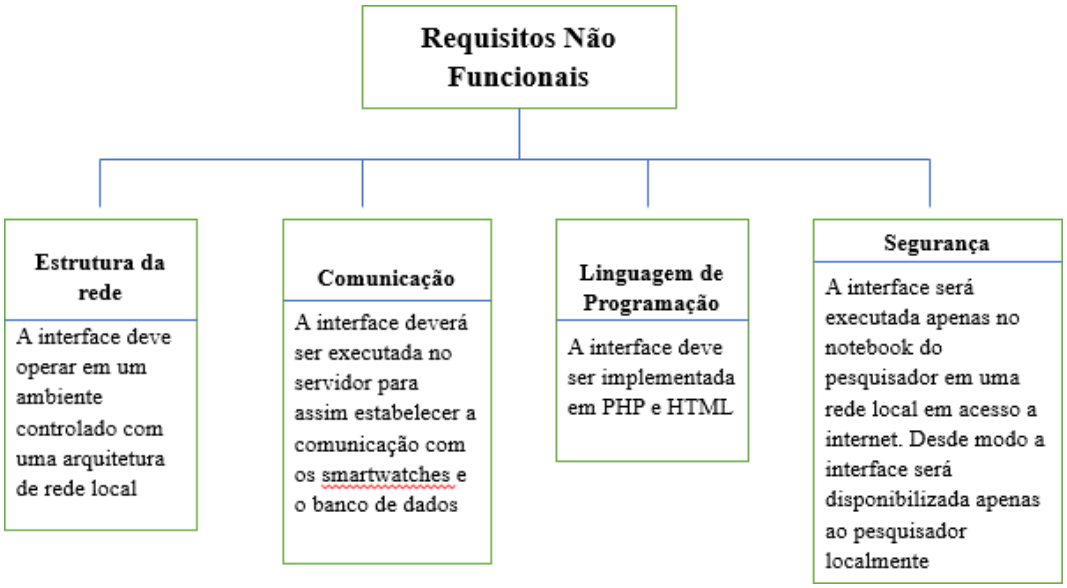
O processo de validação da interface de coleta de dados foi conduzido com o objetivo de assegurar que a ferramenta atendesse aos requisitos de funcionalidade, usabilidade e acurácia dos dados, proporcionando uma experiência eficiente e confiável. Após os dados gerados, abrange uma variedade de entradas que o profissional poderia inserir durante a coleta de dados. Essa abordagem permite testar a interface em diversas situações da AVD, garantindo uma validação abrangente e controlada.

3.3.2 Requisitos Não Funcionais – Interface para Coleta de Dados

A Figura 14 ilustra os Requisitos Não Funcionais essenciais para o desenvolvimento e operação da interface descrita neste trabalho. Esses requisitos são categorizados em quatro domínios principais, a Estrutura da Rede, Comunicação, Linguagem de Programação e Segurança.

Esses requisitos não funcionais foram determinantes para guiar o desenvolvimento da interface, assegurando que o sistema não apenas cumprisse suas funcionalidades principais, mas também operasse de maneira confiável, segura e eficiente no contexto da pesquisa.

Figura 14 – Requisitos Não Funcionais



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Requisitos não funcionais complementam as funções do software (requisitos funcionais) e são essenciais para garantir qualidade e usabilidade da interface de coleta de dados.

- **Desempenho:**

✓ **Tempo de Resposta**: O software deve responder rapidamente às ações do profissional, como iniciar e parar a coleta de dados, salvar arquivos e limpar a tabela.

✓ **Eficiência na Coleta de Dados**: O software deve coletar dados de forma eficiente, sem perda de informações ou atrasos significativos.

✓ **Processamento de Dados:** O software deve processar os dados coletados em tempo real ou em um tempo mínimo, para que o profissional possa visualizá-los e analisá-los rapidamente.

- **Usabilidade:**

✓ **Interface Intuitiva:** A interface do profissional deve ser fácil de usar e entender, mesmo para pessoas sem conhecimento técnico avançado.

✓ **Navegação Clara**: A navegação entre as diferentes funcionalidades do software deve ser clara e intuitiva.

✓ **Feedback ao Usuário**: O software deve fornecer feedback claro e oportuno ao usuário sobre as ações realizadas, como o status da coleta de dados e o salvamento de arquivos.

- **Confiabilidade:**

✓ **Estabilidade**: O software deve ser estável e confiável, sem travamentos ou erros inesperados.

✓ **Integridade dos Dados**: O software deve garantir a integridade dos dados coletados e armazenados, evitando perda ou corrupção de informações.

- **Segurança:**

✓ **Proteção de Dados**: O software deve proteger os dados coletados e armazenados contra acesso não autorizado.

✓ **Conformidade com Normas**: O software deve estar em conformidade com as normas de segurança de dados relevantes, como a LGPD e a HIPAA.

- **Manutenibilidade:**

✓ **Código Organizado**: O código do software deve ser organizado e documentado, facilitando a manutenção e a atualização.

✓ **Modularidade**: O software deve ser projetado de forma modular, para que as diferentes funcionalidades possam ser atualizadas ou modificadas de forma independente.

- **Portabilidade:**

✓ **Compatibilidade**: O software deve ser compatível com diferentes sistemas operacionais e dispositivos.

- **Funcionamento Geral do Software:** Para garantir que o software atenda aos requisitos não funcionais, é importante seguir as seguintes práticas:

✓ **Testes de integração**: Avaliar a comunicação entre a interface e o smartwatch, bem como entre o backend e o banco de dados.

✓ **Testes de Desempenho**: Avaliar o tempo de resposta e a eficiência do software, validando a capacidade do sistema de processar grandes volumes de dados sem interrupções.

✓ **Testes de Usabilidade**: Realizar testes de usabilidade com usuários reais para avaliar a facilidade de uso e a intuitividade da interface.

✓ **Testes de Confiabilidade**: Realizar testes de confiabilidade para avaliar a estabilidade e a integridade dos dados do software.

✓ **Testes de Segurança**: Realizar testes de segurança para identificar e corrigir vulnerabilidades.

✓ **Revisão de Código**: Realizar revisões de código para garantir a qualidade e a manutenibilidade do software.

✓ **Documentação:** Manter a documentação do software atualizada e completa.

3.3.3 Normas Relevantes

Para garantir a qualidade e a segurança do software, é importante seguir as seguintes normas:

a) Normas de Segurança de Dados:

✓ LGPD (Lei Geral de Proteção de Dados): Se o software coletar dados pessoais, é importante garantir a conformidade com a LGPD, que exige o consentimento do usuário para a coleta e o uso de seus dados.

✓ HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act): Se o software for usado em um contexto de saúde nos Estados Unidos, é necessário seguir as normas HIPAA para proteger as informações de saúde dos pacientes.

b) Normas de Desenvolvimento de Software:

✓ ISO/IEC 25010: Essa norma define um modelo de qualidade de software que pode ser usado para avaliar a qualidade do software em termos de funcionalidade, confiabilidade, usabilidade, eficiência, manutenibilidade e portabilidade.

✓ IEC 62304: Essa norma é específica para software de dispositivos médicos e define os requisitos para o ciclo de vida do desenvolvimento de software.

c) Normas de Interface do Usuário:

✓ ISO 9241: Essa norma fornece diretrizes para o design de interfaces do usuário que sejam ergonômicas e fáceis de usar.

d) Funcionamento Geral do Software: O software deve funcionar da seguinte forma:

✓ Conexão com o smartwatch: O software estabelece uma conexão com o smartwatch por meio de rede Wi-Fi.

✓ Coleta de Dados: O software recebe os dados dos sensores do smartwatch em tempo real.

✓ Exibição de Dados: O software exibe os dados coletados na tabela da interface do profissional.

✓ Armazenamento de Dados: O software armazena os dados em um arquivo no formato especificado pelo profissional.

✓ Visualização e Limpeza de Dados: O software permite que o profissional visualize e limpe os dados exibidos na tabela.

3.3.4 Funcionalidade e Impacto:

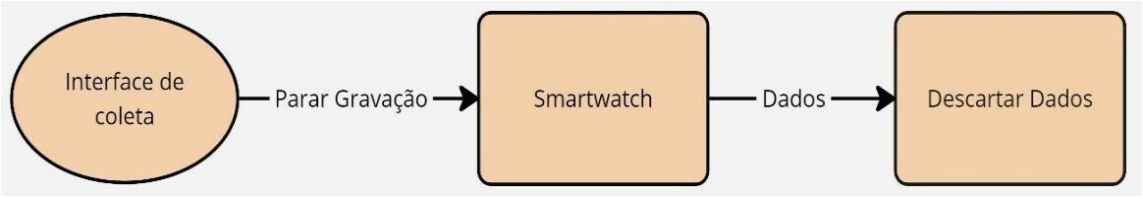
A interface gráfica foi desenvolvida com o objetivo de tornar a coleta de dados da FC mais acessível, eliminando a exigência de conhecimentos avançados em programação para o controle da coleta. O sistema também oferece a funcionalidade de acompanhamento em tempo real, apresentando os 10 registros mais recentes de FC. A capacidade de exportar os dados em arquivos CSV proporciona maior flexibilidade e agilidade na análise dos dados em softwares como Python e Jamovi, beneficiando profissionais de saúde e pesquisadores.

Essas funções são esquematizadas em diagramas DFD (Diagrama de Fluxo de Dados) a seguir.

- **Ativar Gravação**

A gravação dos dados é realizada quando o relógio lê a permissão para gravar dados. Caso afirmativo, o smartwatch grava os dados diretamente no banco de dados:

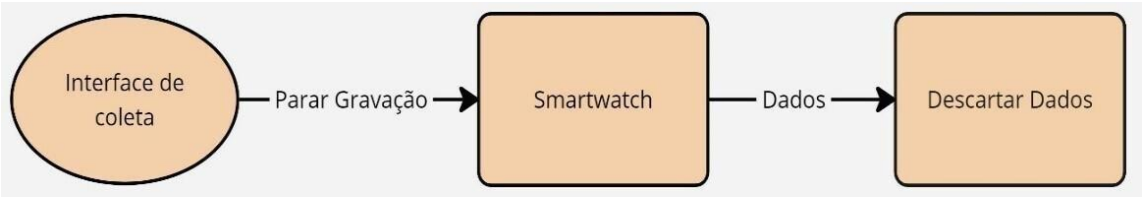
Figura 15 – Diagrama DFD para gravação de dados.



- **Parar Gravação**

Caso o relógio não leia a permissão para gravar dados, os dados são descartados:

Figura 16 – Diagrama DFD para parar a gravação de dados.



- **Limpar Tabela**

A função de Limpar Tabela é utilizada para excluir os dados residuais do banco de dados no início de cada coleta. A interface acessa o banco de dados diretamente e limpa os registros do relógio:

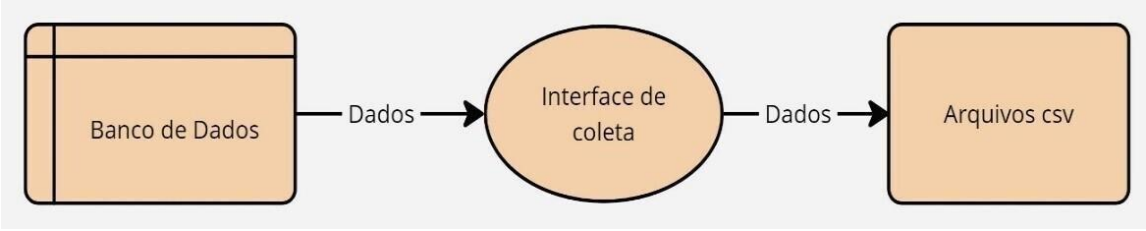
Figura 17 – Diagrama DFD para limpar os registros do relógio.



- **Salvar**

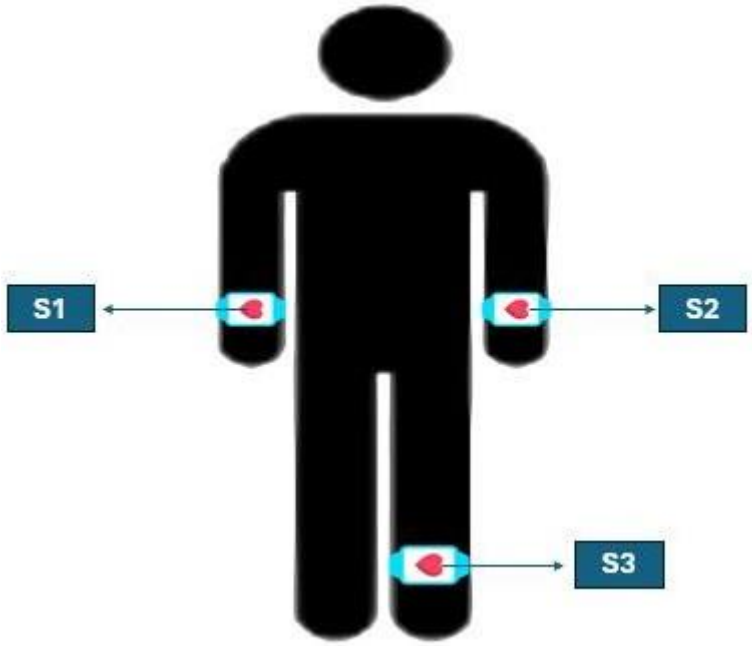
A opção salvar recupera os registros de cada relógio (Idperfil) no banco de dados e os salva em arquivos csv.

Figura 18 – Diagrama DFD da gravação de dados.



Para facilitar a coleta de três smartwatches em um mesmo participante, cada dispositivo vestível foi demarcado numericamente representado com S1(Smartwatch 1), S2(Smartwatch 2), S3(Smartwatch 3). Assim foi definido um código Idperfil para cada smartwatch, de acordo com a tabela abaixo:

Figura 19 - Posição dos smartwatches



Fonte: https://www.shutterstock.com/pt/search/stickman-running

Smartwatch	Idperfil
S1	669
S2	670
S3	671

Tabela 1 - Código Idperfil

Assim, a interface recupera os registros agrupados por cada idperfil e os salva em arquivos com nome especificado pelo usuário do sistema, seguido pelo número do smartwatch.

3.4 Protocolo Experimental

O estudo foi realizado na Policlínica/Faculdade de Medicina da Universidade Mogi das Cruzes, localizada no Campus da Sede em Mogi das Cruzes, SP, Brasil. Sendo a pesquisa aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade de Mogi das

Cruzes (CAAE: 82084924.9.0000.5497, Parecer nº 7.117.006). A pesquisa transcorreu com coleta de dados na Policlínica pelo próprio pesquisador, sendo questionados pela anamnese 30 participantes, todos maiores de 18 anos, sem distinção de sexo, cor, etnia e gênero. Cada participante foi informado sobre os procedimentos e objetivos da pesquisa e consentiu formalmente sua participação por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), garantindo assim sua compreensão e concordância com os aspectos éticos e metodológicos.

Cada participante foi equipado com três dispositivos vestível, identificado sensor S1 no pulso direito e sensor S2 no pulso esquerdo e S3 no tornozelo, para monitorar os batimentos cardíacos e verificar a funcionalidade do smartwatch operando corretamente.

AVD utilizada nos protocolos foi a caminhada em esteira com velocidade de 1,5 km/h. Essa velocidade foi escolhida por representar uma atividade de baixa intensidade, comum em diversas situações do dia a dia, como caminhar dentro de casa, em um supermercado ou em um parque.

O protocolo compreende duas diferentes posições de repouso para comparação da FC: sentado e deitado, enquanto a caminhada em esteira simula uma AVD leve e controlada. A combinação dessas variáveis permite uma análise abrangente da resposta cardiovascular em situações cotidianas.

Durante os protocolos utilizados em teste, as variáveis da FC foram coletadas de forma contínua para a medição e comparação entre os smartwatches, cada participante durante o teste utiliza três smartwatches modelo Samsung Galaxy Watch 4. Cada smartwatch foi demarcado numericamente como S1 no braço direito, S2 no braço esquerdo, S3 no tornozelo.

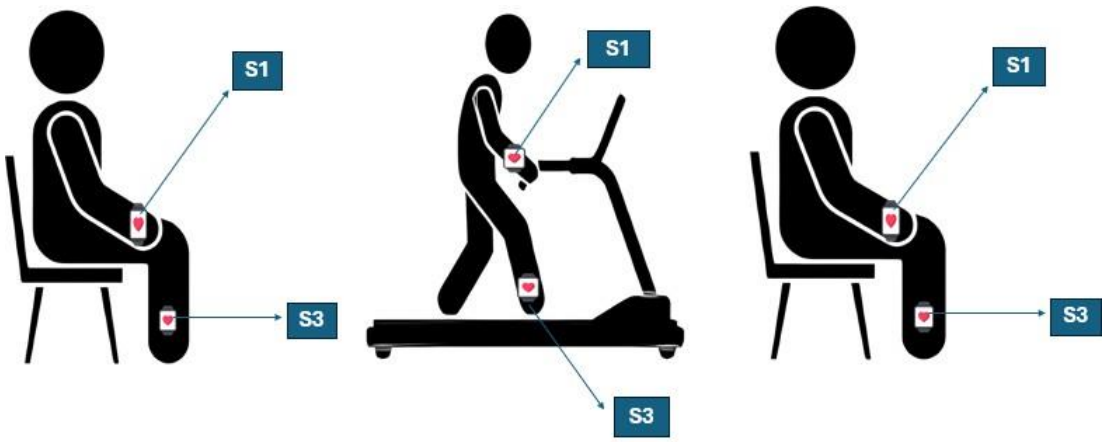
- **Protocolo I:**

✓ **Posição Inicial:** O participante permanece sentado por 6 minutos, permitindo a estabilização dos parâmetros cardiovasculares em repouso.

✓ **Movimento:** O participante realiza uma caminhada em esteira com velocidade de 1,5 km/h por 6 minutos, simulando uma atividade física leve.

✓ **Posição Final:** O participante retorna à posição sentada por 7 minutos, possibilitando a análise da recuperação cardiovascular após o exercício.

Figura 20 – Protocolo I – Fonte Própria – 2025



O S2 não aparece na representação devido a posição estar ao lado oposto.

Fonte: https://www.shutterstock.com/pt/search/stickman-running

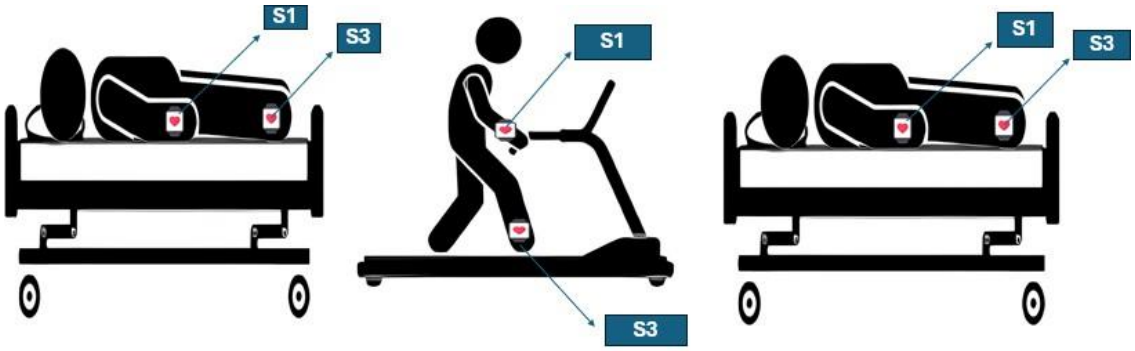
- **Protocolo II:**

✓ **Posição Inicial:** O participante permanece deitado por 6 minutos, buscando a estabilização dos parâmetros cardiovasculares em repouso em uma posição de menor demanda física.

✓ **Movimento:** O participante realiza a mesma caminhada em esteira do Protocolo I, com velocidade de 1,5 km/h por 6 minutos.

✓ **Posição Final:** O participante retorna à posição deitada por 7 minutos, permitindo a análise da recuperação cardiovascular em uma posição de menor demanda física.

Figura 21 – Protocolo II – Fonte Própria – 2025



O S2 não aparece na representação devido a posição estar ao lado oposto.

Fonte: https://www.shutterstock.com/pt/search/stickman-running

Os dados da FC e a VFC foram processados no software PyBioS, desenvolvido em Python, foi utilizado para a análise dos sinais cardiovasculares, para calcular a máxima, média, mínimo para cada indivíduo (Watanabe, W. T. 2023).

Em seguida esses dados foram analisados estatisticamente com o software JAMOVI, sendo realizados os testes de: Friedman e Durbin-Conover para verificar se existe diferença significativas (https://www.jamovi.org/). Acesso em: [10/09/2024].

3.5 Perfil Clínico dos Participantes

A amostra do estudo incluiu 30 voluntários adultos, predominantemente do sexo feminino (73,33%, n=22). As características antropométricas foram:

- ✓ Idade média: 40,87 anos (DP = 11,45 anos).
- ✓ Altura média: 1,65 m (DP = 0,10 m).
- ✓ Peso médio: 76,51 kg (DP = 14,79 kg).
- ✓ IMC médio: 28,8 kg/m² (DP = 5,84 kg/m²), com 40% dos participantes com peso ideal, 30% acima do peso ideal e os demais em outras categorias.
- ✓ Cor da pele: Predominância de brancos (80%), seguidos por amarelos (13,33%) e pardos (6,67%).

O estudo visa avaliar a concordância das medidas da FC entre os três smartwatches em diferentes locais do corpo.

3.6 Análise Estatística

Teste de Friedman

O Teste de Friedman, um método não paramétrico, foi empregado para comparar as medições dos dados coletados da FC obtidas por três smartwatches Samsung Galaxy Watch 4 idênticos designados como (Relógio S1), (Relógio S2) e (Relógio S3). Estes dispositivos foram utilizados simultaneamente em dois locais do corpo do participante: pulsos e tornozelo.

A escolha deste teste justifica-se pela natureza pareada dos dados, onde as medições de um mesmo participante são naturalmente relacionadas, e pela não suposição de uma distribuição normal dos dados, característica comum em variáveis biomédicas.

O objetivo foi identificar se existiam diferenças estatisticamente significativas entre os dados coletados pelos três relógios em diferentes locais.

- **Hipóteses:**

✓ Hipótese nula (H0): Não há diferença significativa entre as medições de FC e VFC obtidas pelos Relógios S1, S2 e S3, tanto nos pulsos quanto no tornozelo.

✓ Hipótese alternativa (H1): Existe pelo menos um dos relógios (S1, S2 ou S3) que apresenta medições da FC significativamente diferentes dos demais, em pelo menos um dos locais de medição (pulsos ou tornozelo).

- **Interpretação:**

✓ Um valor de $p < 0,05$ indica a rejeição da hipótese nula, sugerindo diferenças significativas entre as medições dos relógios.

✓ Um valor de $p \geq 0,05$ indica que não há evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula, sugerindo que as medições dos relógios são estatisticamente semelhantes.

Este teste permitiu avaliar a consistência e a confiabilidade das medições fornecidas pelos smartwatches Samsung Galaxy Watch 4 em diferentes locais do corpo, fornecendo informações valiosas sobre a precisão desses dispositivos no monitoramento da saúde cardiovascular.

Teste de Durbin-Conover

- **Análise Post-Hoc**

Após a identificação de diferenças significativas entre os relógios (S1, S2 e S3) pelo teste de Friedman, o teste de Durbin-Conover foi aplicado para determinar quais

pares de grupos diferiram especificamente. Este teste de comparações múltiplas tem o objetivo de identificar quais grupos contribuíram para a rejeição da hipótese nula no teste de Friedman.

A interpretação dos resultados do teste de Durbin-Conover se baseia no valor de p:

✓ **Valor de p < 0,05:** Indica uma diferença estatisticamente significativa entre os dois relógios comparados.

✓ **Valor de p ≥ 0,05:** Não há evidência suficiente para afirmar que existe diferença entre os dois relógios.

Os resultados do teste de Durbin-Conover mostram as observações visuais do gráfico, confirmando a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os relógios. Os valores de p obtidos no teste de Durbin-Conover (detalhados na tabela correspondente) especificam quais pares de grupos diferem significativamente entre si.

3.7 Análise do Gráfico de Dispersão

Teste de Friedman

A Figura 22 apresenta um gráfico de dispersão que ilustra a relação entre as "Medidas" (S1, S2 e S3) e os "Valores" da FC para os três smartwatches Samsung Galaxy Watch 4. A análise visual do gráfico sugere a presença de diferenças na distribuição dos dados entre os relógios. Especificamente, observa-se que o relógio S1 apresenta uma maior dispersão dos valores em comparação com os relógios S2 e S3

a) Interpretação do Gráfico

- **Eixo X (Medida):**

✓ Representa os três dispositivos: S1, S2 e S3.

- **Eixo Y (Valor):**

✓ Representa os valores numéricos das medidas, variando de 690 a 720.

- **Pontos de Dados:**

✓ Cada ponto no gráfico representa um valor específico para cada dispositivo.

b) **Identificação dos Pontos:**

- **S1:**

✓ O ponto de dados para S1 está localizado na parte superior do gráfico, próximo a 720. Isso indica que o dispositivo S1 tem o maior valor entre os três dispositivos.

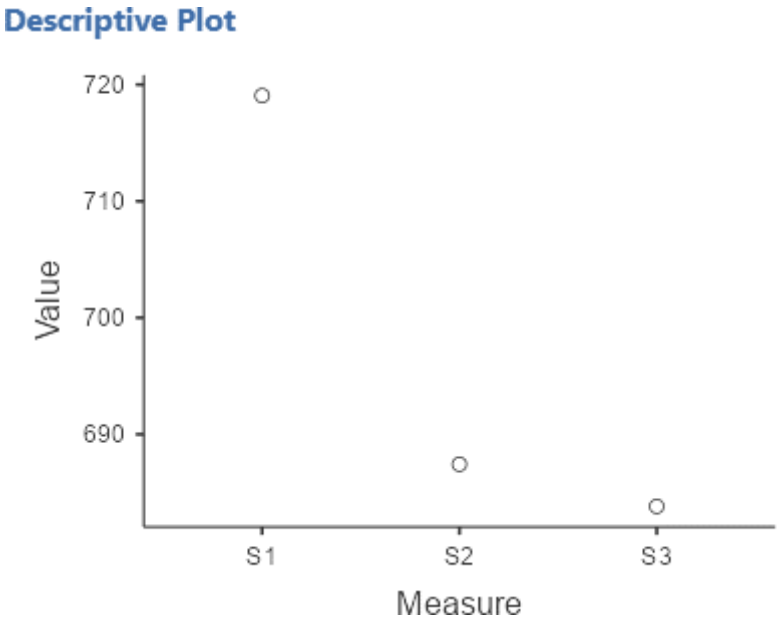
- **S2:**

✓ O ponto de dados para S2 está localizado no meio do gráfico, próximo a 690. Isso indica que o dispositivo S2 tem um valor intermediário.

- **S3:**

✓ O ponto de dados para S3 está localizado na parte inferior do gráfico, próximo a 680. Isso indica que o dispositivo S3 tem o menor valor entre os três dispositivos.

Figura 22 - Protocolo I – Sentado



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

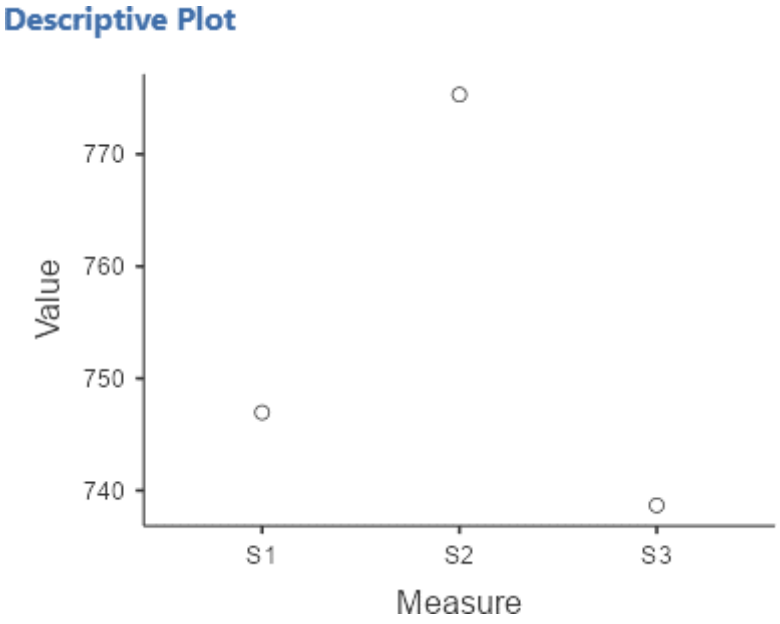
Teste de Durbin-Conover

O gráfico de dispersão apresentado na Figura 23 mostra a relação entre duas variáveis: "Measure" (Medida) no eixo horizontal e "Value" (Valor) no eixo vertical.

- **Identificação dos Relógios:** O gráfico apresenta três relógio representados no eixo horizontal: S1, S2 e S3. Estes relógios correspondem aos três smartwatches Samsung Galaxy Watch 4 utilizados na coleta de dados.

- **Variável de Medição:** O eixo vertical do gráfico representa a variável "Value", que pode corresponder à FC, dependendo do contexto da análise.
- **Observação da Dispersão:** Ao observar a distribuição dos pontos no gráfico, verifica que:
  - ✓ S2 apresenta o maior valor de "Value".
  - ✓ S1 apresenta um valor intermediário de "Value".
  - ✓ S3 apresenta o menor valor de "Value".
- **Sugestão de Diferenças:** A disposição dos pontos sugere que existem diferenças nos valores medidos pelos três smartwatches. No entanto, a análise visual por si só não é suficiente para determinar se essas diferenças são estatisticamente significativas.
- **Teste Post-Hoc:** Para determinar quais pares de relógios diferem significativamente entre si, aplicamos o teste de Durbin-Conover, um teste post-hoc utilizado após o teste de Friedman.
- **Comparação de Pares:** O teste de Durbin-Conover compara todos os pares possíveis de grupos: (S1 vs. S2), (S1 vs. S3) e (S2 vs. S3).
- **Interpretação do Valor de p:** Para cada comparação, o teste fornece um valor de p.
  - ✓ Se o valor de p for menor que 0,05, rejeitamos a hipótese nula de que não há diferença entre os grupos. Isso indica que há uma diferença estatisticamente significativa entre os relógios comparados.
  - ✓ Se o valor de p for maior ou igual a 0,05, não rejeitamos a hipótese nula. Isso indica que não há evidência suficiente para afirmar que há diferença entre os relógios comparados.

Figura 23 - Protocolo II – Deitado



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4. RESULTADOS

4.1. Desenvolvimento e Validação da Interface Gráfica

O desenvolvimento de uma interface gráfica para a coleta automatizada de dados da FC de smartwatches foi concluído com sucesso. Esta interface gráfica não apenas automatiza a coleta de dados, mas também permite o monitoramento em tempo real dos sinais cardiovasculares, seguindo princípios de design centrado no usuário para garantir sua intuitividade. A interface foi projetada para ser utilizada em protocolos experimentais, com foco na integração com o smartwatch Samsung Galaxy Watch 4.

A análise comparativa entre os dados obtidos pela interface desenvolvida e aqueles provenientes do aplicativo instalado no smartwatch revelou melhorias significativas na confiabilidade e precisão das medições, especialmente durante períodos de repouso e movimento em Atividades de Vida Diária (AVD).

4.2. Coleta e Análise Preliminar dos Dados Brutos

Para avaliar o desempenho de três smartwatches Samsung Galaxy Watch 4 idênticos (S1, S2, S3) em diferentes locais de medição, dados de FC foram coletados simultaneamente de voluntários adultos. Os dispositivos foram posicionados no pulso direito (S1), pulso esquerdo (S2) e tornozelo (S3).

A análise inicial dos dados brutos de FC, obtidos diretamente dos dispositivos, conforme ilustrado na Figura 24 Dados Brutos, revelou variações significativas e a presença de ruídos. Estas variações são esperadas em dados fisiológicos coletados por dispositivos vestíveis e podem ser atribuídas a fatores como movimentos corporais, variações na posição do sensor e interferências externas. Apesar da presença de ruídos, a análise visual permitiu identificar tendências gerais na variação da FC, ressaltando a importância desta etapa inicial para compreender a natureza dos dados e subsidiar a necessidade de pré-processamento.

Figura 24 – Dados brutos

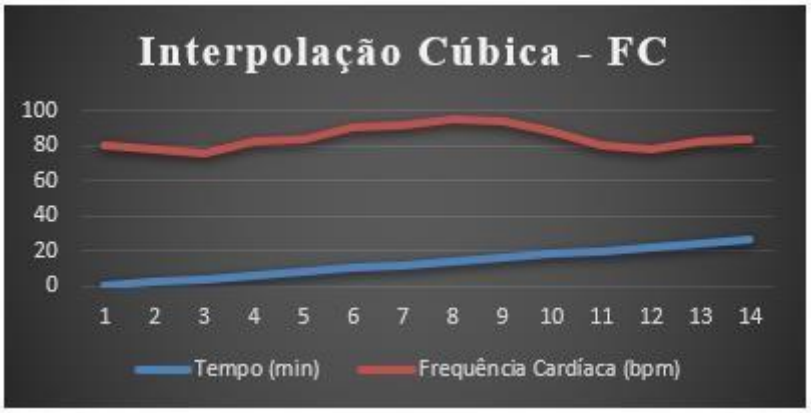


Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.3. Processamento de Dados: Interpolação Cúbica

Para aprimorar a qualidade dos dados para análise estatística, aplicou-se a interpolação cúbica. Esta técnica demonstrou-se eficaz na suavização do sinal e na redução do impacto de ruídos e interferências, conforme visualizado na Figura 25 Interpolação Cúbica. A interpolação cúbica preservou as características essenciais dos dados, garantindo uma representação mais precisa do fenômeno biológico, com uma curva suavizada e contínua, facilitando a identificação de tendências e padrões. A melhoria na qualidade dos dados permitiu análises quantitativas mais precisas.

Figura 25 – Interpolação Cúbica



Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.4. Estatísticas Descritivas

Conforme a tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas das medições de FC para os smartwatches S1, S2 e S3.

- **Medianas:** As medianas (719, 687 e 684, respectivamente para S1, S2 e S3) indicam os valores centrais das medições para cada smartwatch, fornecendo uma visão geral da distribuição dos dados.
- **Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk):** Os valores de W (0.940, 0.923 e 0.900) e os p-valores correspondentes (0.84, 0.28 e 0.07) sugerem que, para S1 e S2, os dados não se desviam significativamente de uma distribuição normal ($p > 0.05$). No entanto, para S3, o p-valor de 0.07, embora ligeiramente acima do limiar de 0.05, indica uma preocupação com a suposição de normalidade, sugerindo uma possível não-normalidade para este conjunto de dados.
- **Percentis (25º, 50º, 75º):** Os percentis fornecem informações sobre a dispersão dos dados, evidenciando a amplitude e a distribuição das medições para cada dispositivo.

Descriptives	S1	S2	S3
Mediana	719	687	684
Shapiro-Wilk W	0,940	0,923	0,900
Shapiro-Wilk p	0,84	0,28	0,07
25th percentile	597	620	596
50th percentile	719	687	684
75th percentile	764	744	750

Tabela 2 - Descriptives – Teste de Friedman – Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.5. Teste de Normalidade

Conforme a tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas das medições de FC para os smartwatches S1, S2 e S3.

- Medianas: As medianas (748, 779 e 739 para S1, S2 e S3, respectivamente) confirmam a tendência central das medições, com S2 apresentando uma mediana ligeiramente mais alta.
- Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk): Nesta análise, os p-valores para S1 (0.699) e S2 (0.677) continuam a indicar uma distribuição próxima da normalidade.

Contudo, o p-valor de S3 (0.028) é claramente inferior a 0.05, confirmando que os dados do S3 não seguem uma distribuição normal. Esta constatação é importante para a escolha de testes estatísticos não paramétricos.

- Percentis: Os percentis apresentados reforçam a compreensão da dispersão e distribuição dos dados para cada smartwatch, complementando a análise da mediana.

Descriptivos	S1	S2	S3
Mediana	748	779	739
Shapiro-Wilk W	0.976	0.975	0.921
Shapiro-Wilk p	0.699	0.677	0.028
25th percentile	672	681	683
50th percentile	748	779	739
75th percentile	813	821	823

Tabela 3 - Descriptives - Teste de Durbin-Conover – Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

4.6. Análise Estatística Comparativa

A análise comparativa das medições dos smartwatches S1, S2 e S3, realizada utilizando o Teste de Friedman e o teste *post hoc* de Durbin-Conover, revelou padrões distintos. A escolha de testes não paramétricos foi justificada pela não normalidade dos dados evidenciada pelo teste de Shapiro-Wilk, especialmente para o smartwatch S3, confirmando a robustez da análise.

A análise estatística revelou a existência de diferenças significativas entre os sensores S1, S2 e S3, indicando que os dispositivos se comportaram de maneira distinta durante a coleta de dados. A principal causa dessa divergência reside no sensor S2, que apresentou o maior volume de registros nulos de Frequência Cardíaca (FC = 0).

Essa ocorrência foi diretamente atribuída à utilização simultânea de um medidor de pressão arterial no mesmo braço onde o sensor S2 estava posicionado. A interrupção temporária do fluxo sanguíneo, inerente à operação do medidor de pressão, interferiu criticamente na capacidade do smartwatch S2 de realizar medições precisas da FC. Em contraste, os sensores S1 e S3, que não sofreram tal interferência externa, demonstraram comportamento mais homogêneo e consistente em suas leituras.

Apesar da sensibilidade do S2 à interferência externa, a confiabilidade geral desses sensores em contextos ideais é justificável, especialmente para S1 e S3. Os resultados obtidos nestes dois dispositivos, na ausência de fatores externos disruptivos, reforçam seu potencial para o monitoramento contínuo da FC. A variabilidade observada no S2, portanto, não reflete uma falha intrínseca do sensor, mas sim uma suscetibilidade a condições de coleta específicas, como a oclusão do fluxo sanguíneo. Este estudo reitera a importância de padronizar rigorosamente as condições de medição para garantir a máxima acurácia e confiabilidade dos dados coletados por smartwatches.

Esses achados iniciais fornecem uma visão clara e consistente das variações entre os smartwatches em diferentes locais de medição, representando um progresso significativo na compreensão das particularidades das medições de FC por dispositivos vestíveis.

4.7. Alinhamento com a Literatura e Implicações

A presente pesquisa alinha-se às tendências recentes no monitoramento da saúde cardiovascular, validando o uso do smartwatch Samsung Galaxy Watch 4 para a medição precisa da FC e da VFC durante protocolos de AVD. Este dispositivo, conforme destacado por Babu *et al.* 2024, representa um avanço na medicina de precisão, permitindo a coleta contínua de dados fisiológicos em ambientes não clínicos.

Os resultados obtidos, ao demonstrarem a acurácia da VFC e a consistência das medições da FC independentemente da localização do dispositivo (pulsos e tornozelos), comprovam as observações de Prieto-Avalos *et al*. 2022. Esses autores enfatizam a capacidade de dispositivos vestíveis em fornecer dados confiáveis e comparáveis aos métodos tradicionais de monitoramento.

A utilização do Samsung Galaxy Watch 4, em consonância com as pesquisas de Babu *et al*. 2024 e Prieto-Avalos *et al*. 2022, reitera o potencial dos dispositivos vestíveis para o monitoramento preciso e contínuo da saúde cardiovascular, independentemente da localização do dispositivo no corpo.

É importante ressaltar que a coleta de dados de FC é altamente sensível a fatores externos. Variações na temperatura ambiente, ruídos, iluminação e, principalmente, a movimentação do dispositivo no corpo do participante (devido ao suor ou movimentos

bruscos) podem gerar interferências significativas, frequentemente resultando em falhas na coleta e interrupções para ajustes.

Apesar desses desafios, os dispositivos vestíveis oferecem vantagens significativas, como a coleta contínua e não invasiva de dados, que superam as limitações dos métodos tradicionais. Essa capacidade permite a identificação precoce de alterações cardíacas e a avaliação da eficácia de tratamentos, além de promover a adesão a hábitos de vida mais saudáveis quando integrados a orientações médicas (Miller; Sargent; Roach, 2022).

Finalmente, a integração da interface gráfica de coleta de dados com o software PyBioS, uma ferramenta gratuita para processamento e análise de sinais cardiovasculares Silva; Fazan; Marin-Neto, 2020, possibilita uma análise detalhada de dados como intervalos RR e VFC, tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência. A necessidade de utilizar dispositivos vestíveis equipados com o sistema operacional Wear OS, para a instalação do aplicativo específico de monitoramento, é fundamental para assegurar a coleta contínua dos dados dos participantes.

5. DISCUSSÃO

A jornada de doutorado é, por si só, um caminho repleto de desafios. No entanto, para um engenheiro eletricista em transição para o papel de pesquisador, as limitações assumiram um contorno ainda mais acentuado. A contribuição inicialmente planejada foi constantemente postergada, priorizando-se outra parte da pesquisa que se estendia indefinidamente. Essa realidade impôs a necessidade de redefinir o foco do projeto, direcionando-o para o desenvolvimento de uma interface gráfica destinada a agilizar a coleta de dados da VFC.

Essa reorientação estratégica, embora essencial, trouxe consigo uma série de obstáculos. A morosidade na obtenção de orientações e na submissão de artigos científicos (submetidos em novembro de 2024 e sem as devidas correções) foi uma constante. Adicionalmente, o acesso autônomo à policlínica, materiais e laboratórios para a pesquisa foi restrito, condicionado à presença de um pesquisador acompanhante, o que inviabilizou todo o trabalho.

O avanço do tempo tornou a validação da interface gráfica uma urgência. A oportunidade surgiu nas férias de julho de 2024, quando, finalmente, foi autorizado o acesso à policlínica. Contudo, a parceria inicial com um pesquisador se mostrou ineficaz, levando-o a se ausentar e demonstrar indiferença ao trabalho. Diante dessa adversidade, a autonomia tornou-se a principal aliada. A aquisição de um roteador Wi-Fi 5.0 GHz garantiu a conectividade para a coleta simultânea de dados com três smartwatches, e as fichas de pesquisa foram impressas em domicílio. Em um gesto de colaboração e iniciativa, obteve-se a parceria de funcionários da clínica, colegas e familiares, que se voluntariaram como participantes da pesquisa da VFC, permitindo a permanência na policlínica e a dedicação de aproximadamente 8 horas diárias para alcançar os 30 participantes propostos.

A resiliência foi testada ainda mais quando a submissão do projeto ao comitê de ética precisou ser realizada de forma autônoma, sem as orientações necessárias. Foi um processo de tentativa e erro, de ajustes constantes, até a aprovação. Para surpresa, todos os integrantes do programa foram adicionados ao projeto no Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), apesar de não fazerem parte do trabalho ou sequer compreenderem o funcionamento da interface, um reflexo claro do descaso e dos empecilhos impostos à coleta de dados.

Apesar de todas as dificuldades metodológicas e estruturais enfrentadas, a perseverança prevaleceu. A interface foi testada com sucesso na policlínica, utilizando smartwatches e esteira, validando o trabalho árduo e a dedicação investida. Essa jornada, embora pontuada por limitações e falta de apoio formal, reforçou a importância da iniciativa, da adaptabilidade e da capacidade de superar adversidades no caminho da pesquisa, transformando desafios em oportunidades para aprimoramento e autodesenvolvimento.

É nesse contexto de superação e autonomia que os resultados obtidos ganham particular relevância. A análise comparativa das medições dos smartwatches S1, S2 e S3 revelou padrões distintos, mas promissores para a confiabilidade dos dados.

A análise estatística indicou diferenças significativas no comportamento dos smartwatches, com o sensor S2 apresentando o maior volume de registros nulos de FC = 0. Esta ocorrência foi atribuída diretamente à interferência causada por um medidor de pressão arterial utilizado simultaneamente no mesmo braço, cuja oclusão do fluxo sanguíneo comprometeu a precisão das medições.

Embora o S2 tenha demonstrado sensibilidade a essa condição externa, a confiabilidade geral dos sensores (S1 e S3, em particular) para o monitoramento contínuo da FC em contextos ideais é reforçada. A variabilidade observada no S2, portanto, ressalta a necessidade crítica de padronizar rigorosamente as condições de medição para garantir a acurácia e a confiabilidade dos dados coletados por smartwatches.

A presente pesquisa alinha-se com as tendências recentes no monitoramento da saúde cardiovascular, utilizando o smartwatch Samsung Galaxy Watch 4 para a medição precisa da FC e da VFC durante os protocolos da AVD. Este dispositivo, conforme destacado por Babu *et al*. 2024, representa um avanço significativo na medicina de precisão, permitindo a coleta contínua de dados fisiológicos em ambientes não clínicos. Os resultados obtidos neste estudo, ao demonstrarem a acurácia da VFC e a consistência das medições da FC independentemente da localização do dispositivo (pulsos e tornozelos), comprovam as observações de Prieto-Avalos *et al.* 2022, que enfatizam a capacidade desses dispositivos de fornecer dados confiáveis e comparáveis aos métodos tradicionais de monitoramento.

Assim, a utilização do Samsung Galaxy Watch 4, em acordo com as pesquisas de Babu *et al.* 2024 e Prieto-Avalos *et al.* 2022, demonstra o potencial dos dispositivos vestíveis para o monitoramento preciso e contínuo da saúde cardiovascular,

independentemente da localização do dispositivo. Contudo, a coleta de dados da FC é altamente sensível a fatores externos. Variações na temperatura ambiente, ruídos e iluminação, assim como a movimentação do dispositivo no corpo do participante (devido ao suor ou movimentos bruscos), podem gerar interferências significativas, frequentemente resultando em falhas na coleta e exigindo a interrupção do processo para ajustes e reinício.

Apesar desses desafios inerentes à coleta de dados em ambientes reais, os dispositivos vestíveis oferecem vantagens significativas para o monitoramento da saúde, superando as limitações dos métodos tradicionais. A possibilidade de coleta contínua e não invasiva de dados permite a identificação precoce de alterações cardíacas e a avaliação da eficácia de tratamentos. Além disso, a integração com orientações médicas pode promover a adesão a hábitos de vida mais saudáveis (Miller; Sargent; Roach, 2022).

Para a análise da VFC, utilizou-se o software PyBioS, uma ferramenta gratuita desenvolvida para o processamento e análise de sinais cardiovasculares (Silva; Fazan; Marin-Neto, 2020). O PyBioS demonstrou-se eficiente no processamento de dados da FC e da VFC, incluindo análise tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência, por meio de sua interface gráfica. Contudo, é importante reconhecer que existem outras opções de software disponíveis que também podem realizar análises semelhantes.

A interface gráfica de coleta de dados desenvolvida, em conjunto do software PyBioS, possibilita uma análise detalhada de dados como intervalos RR e a própria VFC. Para assegurar a coleta contínua de dados dos participantes, o uso de dispositivos vestíveis equipados com o sistema operacional Wear OS, que permite a instalação do aplicativo específico para o monitoramento, é indispensável.

Para finalizar, o cenário vivenciado, onde a verdadeira orientação e os conhecimentos críticos só chegaram no momento da banca examinadora (qualificação e defesa) da tese, embora desafiador, realça a capacidade de autogestão e resiliência do pesquisador. Ter que "aprender fazendo" e ajustar o percurso sem um acompanhamento contínuo exigiu uma proatividade e uma determinação incomuns. De certa forma, a banca examinadora, nesse contexto, funcionou como um filtro final, apontando correções e direções que deveriam ter sido oferecidas ao longo do processo.

Isso também sublinha a importância de redes informais e da iniciativa individual em buscar parcerias e soluções, como a colaboração dos funcionários da policlínica para a coleta de dados, assegurando que a pesquisa não fosse interrompida.

6. TRABALHOS FUTUROS

Este estudo faz uma contribuição significativa ao validar o Samsung Galaxy Watch 4 para o monitoramento cardiovascular não clínico. Essa validação é importante, pois ela democratiza o acesso a dados importantes sobre o bem-estar cardiovascular e incentiva o autogerenciamento da saúde, abrindo portas para o uso de tecnologias vestíveis de consumo no acompanhamento da saúde para um público mais amplo.

No entanto, é fundamental reconhecer as limitações desta pesquisa. Embora promissora, a validação inicial do dispositivo aponta para a necessidade de futuras investigações para que o projeto possa escalar e atender a uma demanda maior. Para isso, recomenda-se expandir a amostra de participantes, incluindo uma maior diversidade demográfica e clínica. Isso garante a aplicabilidade dos achados em diferentes populações, ampliando o alcance do monitoramento.

Além disso, aprimorar a metodologia com a incorporação de machine learning e plataformas de software dedicadas pode otimizar a análise e a precisão dos dados coletados, tornando a solução mais robusta para um volume maior de usuários.

Para ampliar o impacto e a demanda do projeto, sugerem-se diversas direções. Estudos de acompanhamento longitudinais são essenciais para avaliar o impacto clínico a longo prazo do uso desses dispositivos, comprovando sua eficácia contínua para um público crescente. Novas aplicações em contextos clínicos, como o monitoramento de pacientes com doenças crônicas ou em reabilitação, também merecem atenção, pois representam setores específicos com alta demanda por soluções de monitoramento acessíveis.

A integração com telemedicina e inteligência artificial é outro caminho promissor. Essa integração pode otimizar a coleta e interpretação de dados para intervenções personalizadas, permitindo que o sistema atenda a um número muito maior de pacientes e profissionais de saúde, escalando a oferta de serviços de saúde digital.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos teóricos aprofundados sobre as implicações éticas e sociais do uso massivo de dispositivos vestíveis, bem como a investigação de modelos que explorem a influência desses dados no comportamento individual de saúde. Essas frentes de pesquisa são importantes para avançar de forma responsável e eficaz o uso de dispositivos vestíveis na promoção e gestão da saúde

cardiovascular em larga escala, garantindo que a expansão para uma demanda maior seja feita de maneira ética e sustentável.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se dedicou a investigar o potencial dos smartwatches, com especial atenção ao Samsung Galaxy Watch 4, para o monitoramento da saúde cardiovascular. Analisamos detalhadamente a FC e a VFC, alinhando-nos às tendências da medicina de precisão. O objetivo central foi avaliar a acurácia e a confiabilidade desses dispositivos em ambientes não clínicos, enriquecendo o conhecimento sobre as tecnologias vestíveis.

Minhas contribuições científicas abrangem desde a concepção metodológica até os resultados práticos, com destaque para a análise quantitativa da FC coletada por três smartwatches Samsung Galaxy Watch 4 (S1, S2, S3). Essa pesquisa demonstrou variações significativas nas medições entre os dispositivos, confirmadas por avaliação estatística com $p<0,05$. A análise da normalidade dos dados também revelou particularidades, como a observação do S3 (0,07) próximo ao limite de 0,05, sublinhando a necessidade de considerar as especificidades de cada smartwatch na interpretação dos resultados.

Destacou-se a importância da padronização da posição corporal para a obtenção de dados confiáveis, revelando padrões característicos de FC nas transições entre repouso e movimento. Essas descobertas são fundamentais, pois validam a utilização de smartwatches no monitoramento das AVD, confirmando sua capacidade de fornecer informações comparáveis a métodos tradicionais, como o eletrocardiograma (ECG) hospitalar, conforme estudos como os de Babu *et al*. 2024 e Prieto-Avalos *et al*. 2022.

Ao examinar a concordância das medições em diferentes locais do corpo, este trabalho aprimora a validação do emprego de smartwatches em contextos clínicos e não clínicos, fornecendo informações precisas sobre a exatidão e a confiabilidade dos dados coletados.

Adicionalmente, uma contribuição prática e inovadora foi o desenvolvimento de uma interface gráfica em PHP. Essa ferramenta facilitou a coleta eficiente e padronizada de dados, demonstrando a viabilidade de instrumentos personalizados que aprimoram tanto a pesquisa quanto o acompanhamento da saúde individual. Essa interface foi um pilar essencial para a organização e análise dos resultados estatísticos robustos, permitindo uma exploração aprofundada das relações entre as variáveis estudadas.

É importante reconhecer as limitações inerentes aos dispositivos vestíveis, como sua concepção inicial para o esporte e a escassez de plataformas robustas para análise

clínica, conforme já apontado por Muzny *et al.* 2020. A coleta de dados de VFC, em particular, demonstrou sensibilidade a fatores externos, exigindo rigorosa atenção à padronização e ao controle de interferências para assegurar a precisão das medições.

Este estudo, ao validar o Samsung Galaxy Watch 4 para monitoramento cardiovascular não clínico, abre caminho para diversas direções em futuras pesquisas. Recomenda-se ampliar a amostra para incluir maior diversidade populacional, além de conduzir estudos de acompanhamento para avaliar o impacto clínico a longo prazo. O aprimoramento metodológico, com a integração de machine learning e plataformas de software mais avançadas, poderá otimizar ainda mais a análise e a precisão dos dados. Novas aplicações em contextos clínicos, como o monitoramento de pacientes com doenças crônicas e em reabilitação, são essenciais.

A integração com telemedicina e inteligência artificial também se revela um caminho promissor para refinar a coleta e interpretação de dados, possibilitando intervenções personalizadas. Por fim, sugerem-se investigações teóricas sobre as implicações éticas e sociais do uso massivo desses dispositivos, bem como modelos que explorem sua influência no comportamento de saúde, visando impulsionar de forma responsável o uso de tecnologias vestíveis na saúde cardiovascular.

REFERÊNCIAS

BABU, M.; LAUTMAN, Z.; LIN, X.; SOBOTA, M. H. B.; SNYDER, M. P. Wearable Devices: Implications for Precision Medicine and the Future of Health Care. **Annual Review of Medicine**, [*s. l.*], v. 75, p. 401–415, 29 jan. 2024. https://doi.org/10.1146/annurev-med-052422-020437.

BOUQUIN, H.; KOSKELA, J. K.; TIKKAKOSKI, A.; HONKONEN, M.; HILTUNEN, T. P.; MUSTONEN, J. T.; PÖRSTI, I. H. Differences in heart rate responses to upright posture are associated with variations in the high-frequency power of heart rate variability. **American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology**, [*s. l.*], v. 326, n. 3, p. H479–H489, 1 mar. 2024. https://doi.org/10.1152/ajpheart.00567.2023.

BROWN, S. B. R. E.; BROSSCHOT, J. F.; VERSLUIS, A.; THAYER, J. F.; VERKUIL, B. New methods to optimally detect episodes of non-metabolic heart rate variability reduction as an indicator of psychological stress in everyday life. **International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology**, [*s. l.*], v. 131, p. 30–36, set. 2018. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2017.10.007.

BROWNE, S. H.; VAIDA, F.; UMLAUF, A.; KIM, J.; DEYOUNG, P.; OWENS, R. L. Performance of a commercial smart watch compared to polysomnography reference for overnight continuous oximetry measurement and sleep apnea evaluation. **Journal of clinical sleep medicine: JCSM: official publication of the American Academy of Sleep Medicine**, [*s. l.*], v. 20, n. 9, p. 1479–1488, 1 set. 2024. https://doi.org/10.5664/jcsm.11178.

GULLETT, N.; ZAJKOWSKA, Z.; WALSH, A.; HARPER, R.; MONDELLI, V. Heart rate variability (HRV) as a way to understand associations between the autonomic nervous system (ANS) and affective states: A critical review of the literature. **International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology**, [*s. l.*], v. 192, p. 35–42, out. 2023. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.001.

HEART NERVE ANATOMY: OVERVIEW, GROSS AND MICROSCOPIC ANATOMY, PATHOPHYSIOLOGIC VARIANTS. [*s. l.*], 9 nov. 2019. Disponível em: https://emedicine.medscape.com/article/1923077-overview?form=fpf. Acesso em: 11 nov. 2024.

JAMOVI - SOFTWARE ESTATÍSTICO ABERTO PARA DESKTOP E NUVEM. [*s. d.*]. Disponível em: https://www.jamovi.org/. Acesso em: 26 out. 2024.

KISELEV, A. R.; POSNENKOVA, O. M.; KARAVAEV, A. S.; SHVARTZ, V. A.; NOVIKOV, M. Y.; GRIDNEV, V. I. Frequency-Domain Features and Low-Frequency Synchronization of Photoplethysmographic Waveform Variability and Heart Rate Variability with Increasing Severity of Cardiovascular Diseases. **Biomedicines**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 2088, 12 set. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/biomedicines12092088.

KUMAR, P.; DAS, A. K.; HALDER, S. Statistical heart rate variability analysis for healthy person: Influence of gender and body posture. **Journal of Electrocardiology**, [*s. l.*], v. 79, p. 81–88, 2023. https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2023.03.011.

LEE, Y.; SEO, J.; PARK, J.; LEE, H. Analysis for calibration pre-post difference in BP estimation of Galaxy Watch. **Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual International Conference**, [*s. l.*], v. 2023, p. 1–3, jul. 2023. https://doi.org/10.1109/EMBC40787.2023.10340129.

LINS, L. F. T. de S.; DO NASCIMENTO, E. G. C.; DA SILVA JÚNIOR, J. A.; DE MEDEIROS FERNANDES, T. A. A.; DE ANDRADE, M. F.; DE MESQUITA ANDRADE, C. Accuracy of wearable electronic device compared to manual and automatic methods of blood pressure determination. **Medical & Biological Engineering & Computing**, [*s. l.*], v. 61, n. 10, p. 2627–2636, 1 out. 2023. https://doi.org/10.1007/s11517-023-02869-0.

MATSUMURA, S.; WATANABE, K.; SAIJO, N.; OOISHI, Y.; KIMURA, T.; KASHINO, M. Positive Relationship Between Precompetitive Sympathetic Predominance and Competitive Performance in Elite Extreme Sports Athletes. **Frontiers in Sports and Active Living**, [*s. l.*], v. 3, p. 712439, 2021. https://doi.org/10.3389/fspor.2021.712439.

MUZNY, M.; HENRIKSEN, A.; GIORDANENGO, A.; MUZIK, J.; GRØTTLAND, A.; BLIXGÅRD, H.; HARTVIGSEN, G.; ÅRSAND, E. Wearable sensors with possibilities for data exchange: Analyzing status and needs of different actors in mobile health monitoring systems. **International Journal of Medical Informatics**, [*s. l.*], v. 133, p. 104017, jan. 2020. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104017.

PRIETO-AVALOS, G.; CRUZ-RAMOS, N. A.; ALOR-HERNÁNDEZ, G.; SÁNCHEZ-CERVANTES, J. L.; RODRÍGUEZ-MAZAHUA, L.; GUARNEROS-NOLASCO, L. R. Wearable Devices for Physical Monitoring of Heart: A Review. **Biosensors**, [*s. l.*], v. 12, n. 5, p. 292, 2 maio 2022. https://doi.org/10.3390/bios12050292.

SARHADDI, F.; KAZEMI, K.; AZIMI, I.; CAO, R.; NIELA-VILÉN, H.; AXELIN, A.; LILJEBERG, P.; RAHMANI, A. M. A comprehensive accuracy assessment of Samsung smartwatch heart rate and heart rate variability. **PloS One**, [*s. l.*], v. 17, n. 12, p. e0268361, 2022. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268361.

SILVA, L. E. V.; FAZAN, R.; MARIN-NETO, J. A. PyBioS: A freeware computer software for analysis of cardiovascular signals. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, [*s. l.*], v. 197, p. 105718, dez. 2020. https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105718.

TRATADO DE FISIOLOGIA MÉDICA (GUYTON & HALL) - 13. ED. PDF | MEULIVRO. 4 abr. 2019. Disponível em: https://www.meulivro.biz/fisiologia/775/tratado-de-fisiologia-medica-guyton-hall-13-ed-pdf/. Acesso em: 17 mar. 2025.

TUCKER, W. D.; ARORA, Y.; MAHAJAN, K. Anatomy, Blood Vessels. **StatPearls**. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Disponível em: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470401/. Acesso em: 13 nov. 2024.

Projeto de pesquisa **"Desenvolvimento de ferramentas para processamento de sinais na plataforma Free Living Energy Expenditure Monitoring System (FLEEM System®)"**, Processo FAPESP nº 2022/12866-1, aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade de Mogi das Cruzes sob o processo # 5.770.826 e registro CAEE 64561022.7.0000.5497, com pesquisador responsável WILLIAM T. WATANABE (01/11/2022 a 31/10/2023).