



Monitoramento cardíaco não-invasivo aplicado à predição de estados afetivos

Mauricio Lorenzetti Bezerra *Julio Cesar dos Reis*

Relatório Técnico - IC-PFG-23-56
Projeto Final de Graduação
2024 - Abril

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo deste relatório é de única responsabilidade dos autores.

Monitoramento cardíaco não-invasivo aplicado à predição de estados afetivos

Mauricio Lorenzetti Bezerra Julio Cesar dos Reis*

Resumo

Emoções são respostas fisiológicas que podem ser aferidas a partir da captura de dados fisiológicos através de sensores. Neste trabalho coletamos taxas de batimentos cardíacos medida através do sensor óptico de um smartwatch Galaxy Watch com WearOS durante a realização de uma oficina piloto com o sistema Aquarela Virtual. Os dados obtidos foram filtrados e tratados de forma a possibilitar a análise de estados afetivos emparelhando a execução de diferentes fases da oficina piloto com as aferições cardíacas realizadas em diferentes momentos ao longo da experiência dos participantes. O objetivo deste trabalho é a avaliação da capacidade de dispositivos vestíveis comuns para o monitoramento dos dados que possam ser úteis para a predição de estados afetivos continuamente. Esses resultados podem permitir a personalização da interação e novas formas de projeto em sistemas que podem integrar estes dispositivos.

1 Introdução

O acesso crescente a dispositivos de custo relativamente baixo, capazes de monitorar diversos sinais fisiológicos do corpo humano, tem incentivado a adoção de estratégias para monitoramento regular de métricas corporais relevantes para o controle e acompanhamento da saúde de um indivíduo, o que tem aplicações desde o tratamento de pacientes crônicos que necessitam de monitoramento constante até atletas de alto desempenho que buscam o ápice da performance de seus corpos, passando pelo cidadão comum que apenas deseja ter mais informações a respeito de seu físico para tomar atitudes que possam lhe proporcionar uma maior satisfação consigo mesmo e uma melhor qualidade de vida.

Tendo em vista a necessidade do monitoramento contínuo de sinais vitais, os dispositivos vestíveis, popularmente conhecidos como *wearables*, se apresentam como uma

*Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 13081-970 Campinas, SP.

alternativa barata e não-invasiva, portanto, bastante conveniente para o acompanhamento de diversas condições de saúde, auxiliando seus usuários a detectar precocemente problemas de saúde em potencial e tomar ações apropriadas para a prevenção e tratamento de doenças como diabetes, problemas cardíacos, distúrbios do sono, etc. Além de fornecer informações importantes para decisões saudáveis sobre hábitos e estilos de vida, o que pode ser particularmente valioso para quem busca melhorar sua saúde e bem-estar.

Diversos tipos de dispositivos vestíveis existem no mercado atualmente, e apesar de ainda não haver uma hegemonia entre os formatos ou padrões adotados pelas fabricantes, os dispositivos vestíveis de uso no pulso estão entre os vestíveis mais populares entre os usuários destes dispositivos desde o lançamento do primeiro Apple Watch, anunciado no início do terceiro quadrimestre de 2014 pela Apple, que consolidou este tipo de wearable como um bem de consumo utilizado e desejado por milhões de usuários por todo o mundo.

O emprego deste tipo de dispositivo tem se mostrado promissor para a proposta que estes trazem, com diversos avanços tecnológicos recentes nos sensores utilizados, algoritmos de filtragem e processamento de sinais e técnicas de análise de dados, proporcionando uma plataforma para o desenvolvimento de melhores soluções de monitoramento fisiológico ao mesmo tempo que torna tais tecnologias mais acessíveis por uma maior parcela da população.

Este trabalho propõe uma arquitetura completa que viabiliza a captura de dados fisiológicos a partir de dispositivos vestíveis. Conduzimos um estudo piloto em uma oficina para o teste da integração dos módulos da arquitetura implementada.

Este relatório está organizado da seguinte forma: A Seção 2 apresenta uma revisão de trabalhos relacionados ao estudo presente. A Seção 3 descreve a metodologia adotada, detalhando a coleta e processamento dos dados. São apresentados também como os experimentos foram realizados quais técnicas foram aplicadas. A Seção 4 apresenta os resultados obtidos e desenvolve uma discussão sobre os mesmos. Por fim, apresentamos uma conclusão na Seção 5.

2 Síntese da Literatura

2.1 Fotopletismografia ou Photoplethysmography (PPG)

Uma tecnologia importante e mais recentemente implementada em larga escala nos dispositivos vestíveis de pulso disponíveis no mercado é a *fotopletismografia (PPG)* uma tecnologia não-invasiva que faz uso de elementos ópticos em contato com a superfície da pele (Figura 1) para aferir a variação do volume de sangue num dado tecido através da medição da variação de um espectro específico de luz absorvido ou refletido pelo tecido (Figura 2) Nestes dispositivos os sensores são usados de forma a

medir a variação do fluxo sanguíneo nas artérias do pulso, derivando dessa variação a taxa de batimentos cardíacos em tempo real e após realizado o processamento devido do sinal, este é disponibilizando para qualquer aplicação no dispositivo.

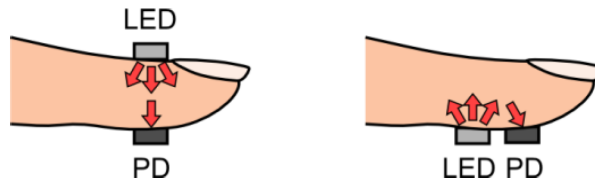


Figura 1: *Sensor de PPG de superfície [5]*

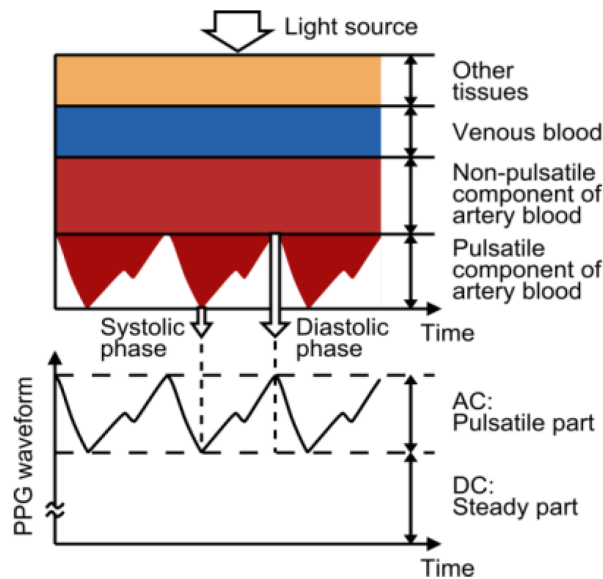


Figura 2: *Princípio de funcionamento da PPG [5]*

Sensores como estes podem ser utilizados para medir diversas variáveis fisiológicas, além da frequência cardíaca como variabilidade na frequência cardíaca, pressão arterial, saturação de oxigênio no sangue e qualidade do sono. Para medir essas variáveis, o dispositivo coleta dados contínua ou intermitentemente ao longo do tempo e então os dados são processados usando algoritmos para extrair as métricas desejadas.

Apesar das vantagens da PPG para aplicações em dispositivos vestíveis devido à sua natureza compacta e não-invasiva, a tecnologia também apresenta muitas desvantagens e limitações, como por exemplo o movimento do usuário, que pode prejudicar a qualidade do sinal obtido, levando a medições imprecisas das variáveis fisiológicas aferidas [3], [2], algo bastante problemático para a aplicação em cenários onde o usuário está envolvido em alguma atividades física. Além disso, estes dispositivos dependem

de baterias, o que limita seu tempo de operação e demanda recargas frequentes ou substituições de bateria, o que pode afetar a qualidade das medições, principalmente para aplicações que exigem monitoramento contínuo. Mas apesar destas limitações, o desenvolvimento constante de novos designs de sensores, algoritmos e técnicas de processamento de dados tem como objetivo o aprimorar a precisão e confiabilidade das aplicações que dependem destes sensores.

2.2 Histórico da fotopletismografia em vestíveis

A tecnologia de PPG em dispositivos vestíveis está disponível há várias décadas, porém apenas se tornou mais amplamente difundida no início da década de 2010. Esse fenômeno foi em grande parte devido ao desenvolvimento de sensores de PPG mais precisos e confiáveis, bem como avanços na miniaturização e conectividade sem fio que tornaram a incorporação de sensores de PPG em dispositivos vestíveis factível. O primeiro dispositivo vestível para pulso comercialmente disponível com um sensor de PPG, o Mio Alpha, foi lançado em 2012, seguido logo depois por outros dispositivos populares, como o Fitbit Charge HR e o Basis B1 Band. Na linha de produtos de smartwatches, após a introdução do primeiro sensor de PPG no Samsung Galaxy Gear2 em 2014, o sensor de PPG também foi instalado no Apple Watch em 2015. Desde então, a tecnologia vestível de PPG continuou a evoluir, com muitos novos dispositivos incorporando sensores e algoritmos mais avançados para monitorar uma variedade maior de parâmetros fisiológicos.

A função inicial dos sensores de PPG em dispositivos vestíveis para pulso era medir exclusivamente a frequência cardíaca, o que desde então se tornou um recurso padrão na maioria dos dispositivos vestíveis para pulso. Tecnologias de PPG mais avançadas agora estão sendo usadas para monitorar vários outros indicadores de saúde. Essa funcionalidade ainda é relativamente nova e requer testes e validações mais rigorosos, mas tem o potencial de aprimorar significativamente as capacidades dos dispositivos vestíveis para pulso como ferramentas de monitoramento de saúde e variáveis impossíveis de se realizar a medição diretamente, como estados emocionais e psicológicos.

2.3 Estado afetivo x estado fisiológico

Emoções são respostas que podem ser sensoriais (externos) ou mentais (internos) e levam a respostas psicológicas e fisiológicas [1]. A partir deste pressuposto, hipotetiza-se que seja possível identificar e classificar atividades relacionadas às emoções através da captação e análise de dados fisiológicos, no caso deste trabalho, as variações de frequência cardíaca decorrente de estímulos fornecidos a um indivíduo.

Na investigação da hipótese apresentada, é realizada a coleta de dados de frequência cardíaca de voluntários expostos a diferentes estímulos cuja intenção é causar diferen-

tes estados emotivos nos participantes, como alegria, tristeza, medo e nojo. A partir dos dados coletados, é feita a avaliação da viabilidade do uso da tecnologia estudada em diversas aplicações.

3 Metodologia

3.1 Equipamento utilizado

O dispositivo utilizado para coleta dos dados de batimentos cardíacos foi o Smartwatch Galaxy Watch 5 BT 44mm (Figura 3) rodando o WearOS 4, que é baseado no Android 13.



Figura 3: Smartwatch ¹

Este dispositivo conta com um sensor Samsung BioActive (Figura 4) composto por vários sensores capazes de medir dados fisiológicos como pressão e oxigenação sanguínea, além da taxa de batimentos cardíacos, obtida através de um sensor óptico que pode ser acessado através da API Health Services do Android.

Este serviço, como é chamado pela Google, atua como um intermediário entre os vários biosensores e algoritmos associados disponíveis no smartwatch de forma a

¹Fonte: Samsung. Disponível em: <https://images.samsung.com/id/galaxy-watch4/feature/galaxy-watch4-pink-gold-health-over.jpg> Acessado em: 10 de Janeiro de 2024

possibilitar que tais dados sejam obtidos de forma confiável e consistente durante o desenvolvimento de aplicações relacionadas à saúde, como atividades e exercícios físicos praticados pelo usuário. A API disponibiliza a taxa de batimentos cardíacos em uma frequência de aproximadamente 1Hz quando utilizado em primeiro plano e numa frequência variável, porém muito menor, se utilizado para obter estes dados em segundo plano.



Figura 4: *Parte inferior do smartwatch, mostrando o Samsung BioActive* ²

3.2 Coleta dos dados

Os dados obtidos foram coletados em primeiro plano por uma aplicação desenvolvida para o WearOS 4, sistema operacional do smartwatch que através de um cliente de Socket redirecionou estes dados para um servidor escrito em Python 3 usando principalmente os pacotes SocketIO e Flask. Durante os testes realizados o servidor foi executado na mesma rede que a aplicação no smartwatch, reduzindo possíveis atrasos e falhas de comunicação entre cliente e servidor. Este servidor é capaz de rotular e armazenar os dados recebidos em tempo real, possibilitando que posteriormente pudesse ser feita a classificação e análise destes dados.

²Fonte: Samsung. Disponível em: <https://image-us.samsung.com/us/smartphones/galaxy-z-fold3-5g/wise-fresh-berry/watch4-classic-fresh/gallery/bluetooth/44mm/black/Gallery-Watch4-44MM-BT-Dynamic-Black-1600x1200.jpg> Acessado em: 10 de Janeiro de 2024

3.3 Arquitetura da Proposta

O sistema proposto para a coleta dos dados foi composto por aplicação desenvolvida em Java e Kotlin para o WearOS 4 no smartwatch e uma aplicação desenvolvida em Python 3 e executada na mesma rede em que o smartwatch estava conectado de forma que através de um servidor ativo na porta 5000, implementado usando WebSockets, que recebe em tempo real os dados gerados pelo smartwatch e os armazena com marcações de tempo (Figura 5).

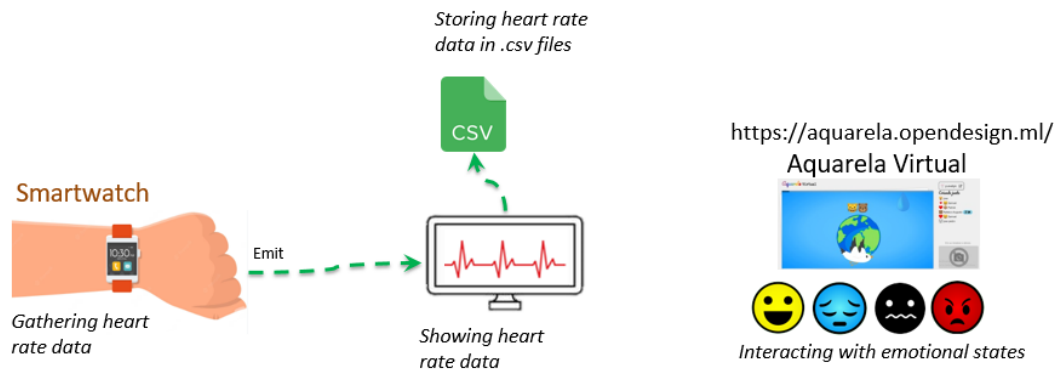


Figura 5: Arquitetura da proposta

Nesta arquitetura os dados fisiológicos capturados pelos sensores de PPG presentes no smartwatch são interpretados por algoritmos da API Health Services, desenvolvida pela Google para o ambiente de WearOS 4, baseado no Android 13, e estes dados são repassados via sistema operacional para a aplicação desenvolvida para este trabalho e que é executada no smartwatch.

A aplicação, uma vez tendo as permissões de usuário para acessar os dados fisiológicos tratados pelo sistema, recebe deste os dados de frequência cardíaca assim que disponibilizados pelo sistema e repassa essas informações ao servidor através do uso de sockets, encapsulado na classe *SocketHandler*, responsável por abrir e manter aberto o canal de comunicação entre smartwatch e servidor, bem como terminar a conexão devidamente quando a aplicação é encerrada.

Já o servidor faz o papel de receber e armazenar remotamente os dados gerados pelo smartwatch, sendo possível sua aplicação para facilitar o entendimento dos dados através de interfaces web em tempo real ou mesmo para análises e tratamentos diversos aplicados aos dados coletados.

3.3.1 Aplicação Cliente

A aplicação foi escrita em Kotlin para o WearOS sob a arquitetura MVVM (Model, View, ViewModel), que é amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicações

mobile, especialmente para o ecossistema Android.

Além do código relativo à interface de usuário (Figura 6), que também gerencia permissões e sistema, e do já mencionado *SocketHandler*, a aplicação também contou com uma classe chamada *HealthServicesManager* responsável por verificar se o dispositivo possui sensores de ECG, e caso positivo, registrar uma função de *callback* que será chamada toda vez que o sistema disponibilizar um novo valor de frequência cardíaca, sendo responsabilidade do sistema garantir que os valores fornecidos a essa função sejam coerentes e com razoável precisão.

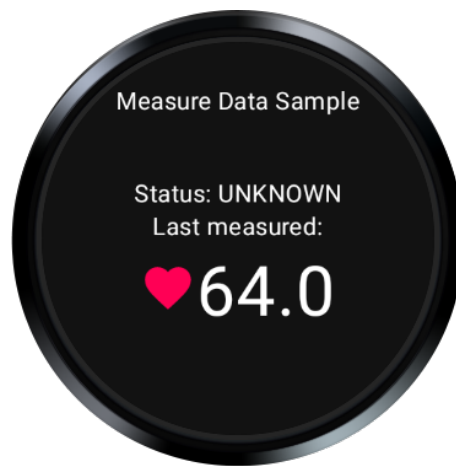


Figura 6: Aplicação sendo executada no smartwatch

Para a obtenção destes dados, a classe *HealthServicesManager* faz uso da API Health Services, que automaticamente configura os sensores fisiológicos de maneira apropriada para diversos casos de uso, coleta os dados dos sensores e computa métricas como frequências cardíaca, distância percorrida, calorias consumidas, entre outras. Esta API segue uma arquitetura de serviços onde qualquer aplicação pode se registrar para receber eventos e atualizações a respeito destas métricas diretamente do serviço.

Algumas fabricantes disponibilizam SDKs (Software Development Kits) avançados para acesso direto aos sensores a nível de hardware, como é o caso da Samsung com a Samsung Privileged Health SDK, porém este acesso não foi possível de ser obtido neste trabalho, forçando a proposta a se manter sob o uso da API HealthServices e suas limitações.

3.3.2 Servidor

O servidor foi implementado em Python 3, executado no console, e usa as bibliotecas Flask e Socket.IO para escutar a conexões na porta 5000 do dispositivo hospedeiro onde é executado. Uma vez estabelecida a conexão com o cliente sendo executado na aplicação do smartwatch, o servidor passa a receber os dados como eventos a partir

do cliente, rotulando estes dados com marcações de tempo e armazenando estes num arquivo CSV para análise posterior.

Socket.IO é uma biblioteca que permite baixa-latência, bidirecional e baseado em eventos de comunicação entre cliente e um servidor. Esta biblioteca foi selecionada para uso pois permite a comunicação rápida e direta entre cliente e servidor, algo que é desejado num cenário de comunicação em tempo real.

Flask é uma tecnologia de micro-framework que facilita na prototipação de projetos web simples, neste caso, o Flask foi utilizado por permitir que os dados fossem também disponibilizados numa aplicação web e futuramente para que essa mesma aplicação web fosse usada para realizar diversas operações sobre os dados e o funcionamento do servidor, como conexão simultânea a múltiplos clientes ou diferentes formatos de configuração e exportação dos dados recebidos.

A Figura 7 apresenta a arquitetura com as tecnologias exploradas em sua implementação.

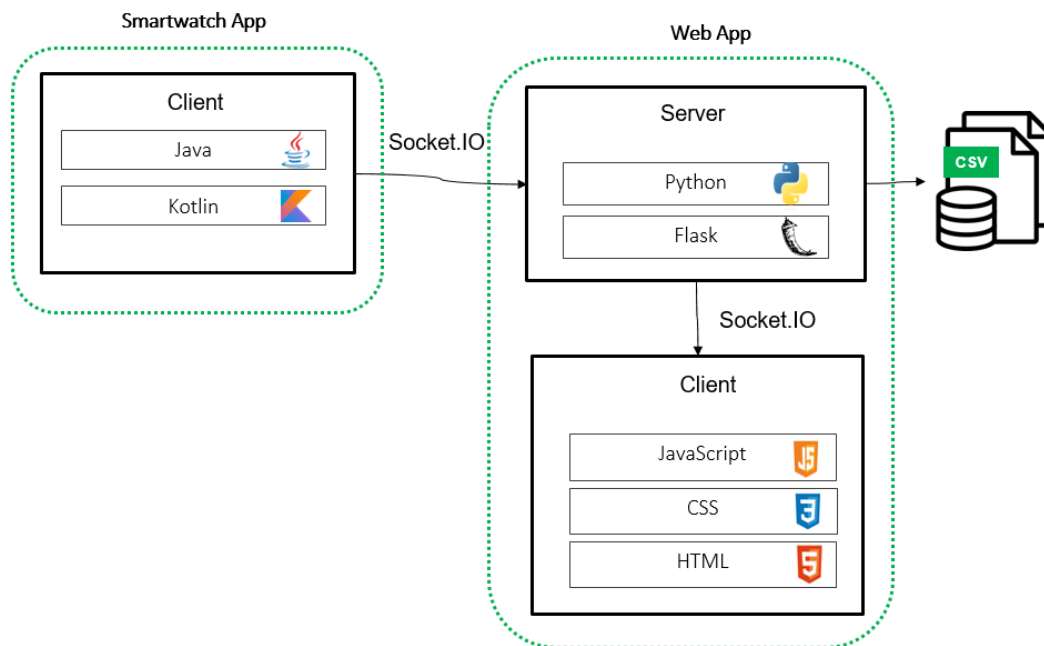


Figura 7: Arquitetura ilustrando as tecnologias utilizadas

3.4 Oficina para coleta de dados

Para a coleta de dados, foram realizadas oficinas no Instituto de Computação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com voluntários para que emoções

fossem experienciadas durante o uso do smartwatch executando a aplicação desenvolvida para a coleta dos dados relativos à frequência cardíaca. A oficina foi baseada na aplicação “Aquarela”, que é parte do projeto temático FAPESP Socienativos (2015/165280), que foi criada como base para fomentar experiências interativas emocionais [4].

O Aquarela Virtual é um sistema desenvolvido como parte de uma iniciativa de estudos socioenativos, especialmente no contexto do ensino remoto e do isolamento social decorrente da pandemia de Covid-19. O sistema visa proporcionar uma abordagem lúdica e colaborativa para crianças que estão fisicamente distantes umas das outras, permitindo que interajam ao mesmo tempo com elementos da música brasileira “Aquarela” através de objetos concretos, como brinquedos ou expressões de estados afetivos, através de emojis.

O design do Aquarela Virtual incentiva a participação ativa das crianças desde o início da interação, onde é pedido para que cada uma delas escolha um avatar, representado por um animal, que então pode ser visto brincando junto com os avatares dos outros colegas dentro da animação gerada.

Durante a interação, as crianças são encorajadas a usar brinquedos previamente criados com a escola e a família que representam seis elementos específicos da música: sol, gaivota, pingo de tinta, castelo, barco e avião.

Cada objeto é dotado de um código QR único, permitindo que a câmera do sistema os identifique e projete animações sincronizadas na tela. A interação também incorpora a expressão de estados afetivos por meio de seis emojis (feliz, calmo, raiva, triste, sonolento, medo), que também tem um objeto concreto com código QR correspondente para a interação, porém, estes fornecem uma dimensão emocional à interação.

Ao longo da experiência, cada criança também pode tirar fotos que, ao final, serão exibidas ao som da música “Aquarela” numa animação personalizada gerada pelo sistema. A Figura 8 apresenta um exemplo de um participante usando o sistema.

O sistema oferece uma área de administração protegida por senha para gerenciar oficinas, monitorar participantes e garantir a segurança durante a interação. O Aquarela Virtual não apenas proporciona uma plataforma envolvente e lúdica para crianças, mas também representa uma contribuição significativa para a pesquisa em sistemas socioenativos, explorando novas possibilidades de interação remota em um contexto educacional desafiador.

No contexto desse estudo, o fluxo da interação se inicia quando o participante, após colocar o smartwatch no pulso, interage com o Aquarela. Durante a interação, dados da frequência cardíaca instantânea do participante são coletados pelo smartwatch e redirecionados ao servidor, onde são armazenados e rotulados de acordo com o momento que foram capturados.



Figura 8: Interação com Aquarela simultânea a coleta de dados com o smartwatch

3.5 Caracterização dos dados

Os dados cardíacos foram obtidos durante a participação de três diferentes indivíduos na oficina, onde a aquisição destes foi realizada em tempo real pelo sistema implementado.

No entanto, durante esta etapa houveram que levaram à baixa qualidade dos dados coletados, onde apenas um conjunto de dados obtido relativo a um dos participantes tem qualidade e volume adequados para análise.

No contexto do smartwatch foram encontradas limitações relativas ao gerenciamento do consumo de energia realizado pelo sistema operacional, que interrompe a captura e transmissão dos dados dos sensores tanto por inatividade, quanto ao rotacionar o pulso para uma posição diferente da posição de leitura do relógio, sendo necessário manter o dispositivo virado para cima constantemente para garantir a aquisição contínua dos dados. Outra fonte de interrupções nas aferições relativa ao smartwatch foi sua dificuldade em realizar a leitura dos batimentos cardíacos do usuário em movimento, algo necessário para a interação com o sistema Aquarela, traduzidos por interrupções na continuidade dos dados obtidos (Figura 9).

Devido a essas circunstâncias, as análises foram feitas com base apenas no conjunto de dados selecionado, onde os artefatos motores introduzidos pela configuração dos sensores reflete em períodos cuja medição é nula, evidenciando que tais eventos são frequentes e uma eventual aplicação deste tipo de tecnologia deve tratar estes casos adequadamente.

Os dados inicialmente foram organizados descartando trechos iniciais e finais sem medições, que correspondem à preparação do indivíduo para interagir com o sistema usando o smartwatch. Após essa etapa, os dados obtidos foram organizados num gráfico de barras que corresponde à frequência cardíaca instantânea do indivíduo, decorrido um tempo t desde o início da interação, este tempo dado em segundos.

O objetivo é que através da análise desses dados, o estado afetivo do indivíduo possa ser analisado de forma a identificar respostas afetivas no participante durante sua interação com o sistema Aquarela.

4 Resultados e Discussão

Os dados de frequência cardíaca, já organizados no domínio do tempo em aferições sucessivas ao longo da oficina são mostrados a seguir (Figura 9). Os movimentos do usuário e variações na pressão entre o sensor e o pulso podem introduzir artefatos motores no sinal do PPG, dificultando a interpretação do sistema destas leituras, que por sua vez, descarta tais valores, resultando em medições nulas que podem ser observadas em diversos intervalos no conjunto de dados obtido.

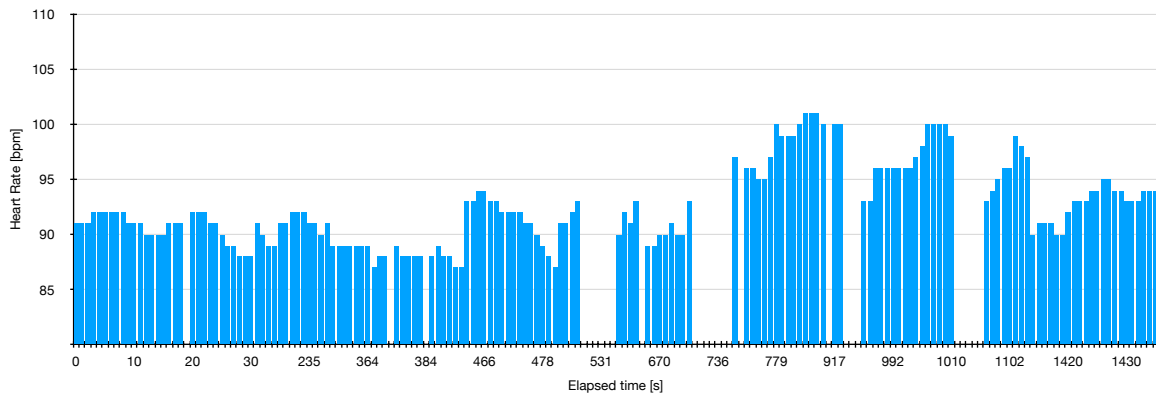


Figura 9: Frequência cardíaca do participante ao longo da oficina

Os artefatos motores são um grande entrave no desenvolvimento de tecnologias de monitoramento contínuo de indivíduos sem restrição de movimento utilizando os sensores PPG que podem levar à medidas imprecisas de frequência cardíaca ou outros parâmetros fisiológicos.

Diversos algoritmos de filtragem e cancelamento de ruído já são utilizados para reduzir artefatos como os observados [5] em sistemas cujo intuito é a leitura e fornecimento de dados fisiológicos a partir de sensores, como é o caso da aplicação desenvolvida, que interage com a API disponibilizada pela Google para obtenção de dados fisiológicos obtidos a partir dos sensores de um smartwatch executando WearOS, no

entanto, os algoritmos utilizados pelo sistema operacional, bem como o sinal capturado pelos sensores, não são disponibilizados para acesso, inspeção e modificações através da API ou do sistema, inviabilizando o estudo e desenvolvimento de soluções para mitigar artefatos para este caso de uso, sendo a interface entre sensores e dados cardíacos um sistema caixa-preta da perspectiva do desenvolvedor.

A abordagem adotada se mostrou limitada para monitoramento contínuo de parâmetros fisiológicos por limitações de consumo de energia, acesso aos sensores e artefatos introduzidos pela movimentação que degradam a qualidade das medições. Estudos que correlacionam a variabilidade da frequência cardíaca (HRV) a estados afetivos devido aos sistemas nervosos simpáticos e parassimpáticos e sua relação com emoções. O estudo dessa variável, em conjunto com técnicas mais precisas de aferição cardíaca pode resultar em análises emocionais mais efetivas e resultados mais expressivos.

Atualmente algumas fabricantes, como a Polar, desenvolvem equipamentos de monitoramento cardíaco mais precisos baseados em wearables de pulso e sensores PPG, capazes de medir outros parâmetros além da frequência de batimentos cardíacos, como pressão sanguínea, níveis de oxigenação e variabilidade na frequência cardíaca. O acesso a equipamentos com essas potencialidades pode viabilizar o desenvolvimento de técnicas para predição emotiva baseada nestes parâmetros, que como apontado pela literatura especializada, possuem grande correlação com o funcionamento do sistema nervoso autônomo e, por consequência, podem ser fontes confiáveis de dados para identificação de estados afetivos com maior acurácia.

5 Conclusão

Este trabalho estudou a viabilidade da tecnologia empregada no sistema proposto para a aplicação de monitoramento de dados fisiológicos com o objetivo de se efetuar a predição de estados afetivos. Implementamos uma arquitetura e avaliamos a captura de dados em uma oficina piloto efetuando as medições de frequência cardíaca obtida através do sistema WearOS e dos serviços HealthServices.

Em trabalhos futuros visamos estudar outras formas de medição não-invasivas de diversos dados fisiológicos que mitigam os efeitos da movimentação natural do usuário nos dados coletados, possibilitando que tanto esta quanto outras hipóteses para o monitoramento e predição de estados afetivos sejam testadas.

Referências

- [1] A. Martins Januário, Paulo, Julio Cesar dos Reis (2022). Predição do estado afetivo de usuários a partir da análise de dados fisiológicos. Relatório Técnico - IC-PFG-22-21. Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas.

Disponível em: <https://www.ic.unicamp.br/~reltech/PFG/2022/PFG-22-21.pdf>
Acessado em dezembro 2023.

- [2] D. Biswas, N. Simões-Capela, C. Van Hoof and N. Van Helleputte, "Heart Rate Estimation From Wrist-Worn Photoplethysmography: A Review," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 16, pp. 6560-6570, 15 Aug.15, 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2914166.
- [3] Akash Kumar Maity, Ashok Veeraraghavan, Ashutosh Sabharwal, PPGMotion: Model-based detection of motion artifacts in photoplethysmography signals, *Biomedical Signal Processing and Control*, Volume 75, 2022, 103632, ISSN 1746-8094, <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103632>.
- [4] Emanuel Felipe Duarte, Yusseli Lizeth Méndez Mendoza, Maria Jêscá Nobre de Queiroz, Josiane Rosa de Oliveira Gaia Pimenta, José Valderlei da Silva, M. Cecília C. Baranauskas (2022) *Aquarela Virtual: Design e Desenvolvimento de um Sistema Socioenativo em Contexto de Isolamento Social*.
- [5] Tamura, T.; Maeda, Y.; Sekine, M.; Yoshida, M. Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present. *Electronics* 2014, 3, 282-302. <https://doi.org/10.3390/electronics3020282>