

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Sorocaba / São João da Boa Vista

HALISSON ARAÚJO GARCIA

**Sistema de Classificação de Movimentos de Higienização das Mãos por meio de Sensores
Inerciais e Inteligência Artificial.**

São João da Boa Vista

2024

Halisson Araújo Garcia

Sistema de Classificação de Movimentos de Higienização das Mãos por meio de Sensores Inerciais e Inteligência Artificial.

Dissertação apresentada ao Conselho do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, interinidades entre o Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba e a Faculdade de Engenharia de São João da Boa Vista, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Automação

Linha de Pesquisa: Sistemas Mecatrônicos

Orientador: Prof. Dr. Wilian Miranda dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Samuel Lourenço Nogueira

São João da Boa Vista

2024

G216s Garcia, Halisson Araújo
Sistema de classificação de movimentos de higienização das
mãos por meio de sensores inerciais e inteligência artificial /
Halisson Araújo Garcia. -- São João da Boa Vista, 2024
46 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Faculdade de Engenharia, São João da Boa Vista
Orientador: Wilian Miranda dos Santos
Coorientador: Samuel Lourenço Nogueira

1. Classificação. 2. Acelerômetros. 3. Giroscopios. 4.
Inteligência artificial. 5. Redes neurais (Computação). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Impacto Potencial desta Pesquisa

Nesta pesquisa, desenvolveu-se um sistema de classificação de movimentos de higienização das mãos, utilizando sensores inerciais e técnicas de inteligência artificial. A metodologia proposta integra as etapas de coleta de dados, pré-processamento, extração de características e classificação de movimentos, oferecendo uma solução eficaz para o monitoramento da técnica de higienização das mãos em ambientes de saúde.

Espera-se que os resultados alcançados tenham um impacto significativo no campo da saúde pública e da engenharia aplicada, permitindo que o sistema desenvolvido sirva como base para estudos futuros. Além disso, a abordagem proposta apresenta potencial para adaptação e expansão em outras aplicações, contribuindo para o avanço tecnológico no monitoramento de movimentos e promovendo melhorias nas práticas de prevenção de infecções relacionadas à assistência à saúde.

Potential Impact of This Research

This research developed a system for classifying hand hygiene movements using inertial sensors and artificial intelligence techniques. The proposed methodology integrates the stages of data collection, preprocessing, feature extraction, and movement classification, offering an effective solution for monitoring hand hygiene techniques in healthcare settings.

The results achieved are expected to have a significant impact on the fields of public health and applied engineering, enabling the developed system to serve as a basis for future studies. Furthermore, the proposed approach has the potential for adaptation and expansion to other applications, contributing to technological advancements in movement monitoring and improving practices for the prevention of healthcare-associated infections.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Sistema de Classificação de Movimentos na Higienização das Mãos Utilizando Sensores Inerciais e Inteligência Artificial.

AUTOR: HALISSON ARAÚJO GARCIA

ORIENTADOR: WILIAN MIRANDA DOS SANTOS

COORIENTADOR: SAMUEL LOURENÇO NOGUEIRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, área: Automação pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. WILIAN MIRANDA DOS SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Aeronautica / Faculdade de Engenharia de Sao Joao da Boa Vista UNESP

Prof. Dr. ADRIANO ALMEIDA GONÇALVES SIQUEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade de São Paulo (USP) / Escola de Engenharia de São Carlos (EESC)

Prof. Dr. SAMUEL LOURENÇO NOGUEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Eletrica / Universidade Federal de Sao Carlos (UFSCar)

São João da Boa Vista, 30 de outubro de 2024



Verônica Liberali Messias
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Graduação e Pós-Graduação

Assinado de forma digital
por Veronica Liberali
Messias:36823715839
Dados: 2024.11.01
11:43:33 -03'00'

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos às pessoas que desempenharam um papel fundamental em minha jornada acadêmica e pessoal.

Ao meu estimado orientador, Dr. Wilian Miranda dos Santos, expresso minha profunda gratidão pelo privilégio de ser seu orientando durante todo este período de mestrado. Seu apoio inabalável e seus valiosos ensinamentos foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico e para o êxito deste trabalho. Destaco, em especial, sua notável expertise e dedicação, que se revelaram pilares essenciais nessa jornada.

À minha namorada, Rita Nogueira, expresso minha gratidão por ser uma fonte constante de incentivo e compreensão.

Meus agradecimentos ao grande amigo Samuel Anderson Pereira, por seus valiosos conselhos.

Gostaria de agradecer a Deus por me proporcionar saúde e à instituição acadêmica pelo ambiente de aprendizado.

RESUMO

Durante a pandemia de COVID-19, evidenciou-se a importância da higienização adequada das mãos como uma medida preventiva para conter a propagação do vírus. Essa prática desempenha um papel fundamental na prevenção de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS). Estima-se que a adesão correta a essa técnica poderia prevenir até 30% dos casos de IRAS, conforme indicado pelo Departamento de Saúde e Serviços Humanos dos Estados Unidos em 2015. Estudos demonstraram que a aplicação correta de técnicas de higienização das mãos, como os métodos de seis e três passos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), pode eliminar até 99,9% da colonização transitória das mãos de profissionais de saúde. Nesse contexto, foi desenvolvido neste trabalho um algoritmo para a classificação de movimentos de higienização das mãos por meio de sensores inerciais (acelerômetros e giroscópios) e técnica de inteligência artificial. O processo metodológico foi dividido em cinco etapas principais: coleta de dados, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação. A coleta de dados foi realizada em parceria com o Departamento de Enfermagem da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), utilizando uma Unidade de Medição Inercial (IMU) fixada no punho direito dos participantes para capturar os movimentos durante a higienização das mãos. Durante o pré-processamento, os sinais foram filtrados para remover ruídos, utilizando técnicas como o filtro Butterworth de quinta ordem. Além disso, foi realizada a aumento de dados, com o objetivo de equilibrar a quantidade de amostras em cada classe e melhorar a robustez do modelo. Técnicas como rotações aleatórias foram aplicadas para gerar novas amostras sintéticas. Na fase de segmentação, os dados contínuos foram divididos em janelas de tempo, e foram extraídas características tanto no domínio do tempo, como a raiz quadrada média (RMS), quanto no domínio da frequência, como a energia total das wavelets. Essas características alimentaram a fase de classificação, realizada por meio de uma Rede Neural Artificial (RNA). Os resultados obtidos demonstraram uma acurácia de 89,3% para os dados de teste, indicando a viabilidade do modelo para a correta identificação dos movimentos de higienização das mãos.

PALAVRAS-CHAVE: Classificação; Acelerômetros; Giroscópios; Inteligência artificial; Redes neurais (Computação).

ABSTRACT

During the COVID-19 pandemic, the importance of proper hand hygiene was highlighted as a preventive measure to contain the spread of the virus. This practice plays a fundamental role in preventing Healthcare-Associated Infections (HAIs). It is estimated that proper adherence to this technique could prevent up to 30% of HAI cases, as indicated by the U.S. Department of Health and Human Services in 2015. Studies have shown that the correct application of hand hygiene techniques, such as the six-step and three-step methods recommended by the World Health Organization (WHO), can eliminate up to 99.9% of transient hand colonization in healthcare professionals. In this context, this study developed an algorithm for classifying hand hygiene movements using inertial sensors (accelerometers and gyroscopes) and an artificial intelligence technique. The methodological process was divided into five main stages: data collection, pre-processing, segmentation, feature extraction, and classification. Data collection was conducted in partnership with the Nursing Department at the Federal University of Mato Grosso (UFMT), using an Inertial Measurement Unit (IMU) attached to the participants' right wrist to capture hand hygiene movements. During pre-processing, signals were filtered to remove noise, using techniques such as a fifth-order Butterworth filter. Additionally, data augmentation was performed to balance the number of samples in each class and improve the robustness of the model. Techniques such as random rotations were applied to generate new synthetic samples. In the segmentation phase, continuous data were divided into time windows, and features were extracted both in the time domain, such as Root Mean Square (RMS), and in the frequency domain, such as total wavelet energy. These features fed the classification phase, which was carried out using an Artificial Neural Network (ANN). The results showed an accuracy of 89.3% for the test data, indicating the viability of the model for the correct identification of hand hygiene movements.

KEYWORDS: Classification; Accelerometers; Gyroscopes; Artificial Intelligence; Neural Networks (Computing).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sensor inercial WitMotion WT901BLECL utilizado para registrar os movimentos durante as coletas de dados.	22
Figura 2 – Aplicativo BSL Capture, desenvolvido pelo Laboratório de Sinais Biomédicos (LSBio) da UFSCar, utilizado para monitorar e sincronizar os dados capturados durante as coletas.	22
Figura 3 – Sistema de medição utilizado no estudo, mostrando a integração do sensor inercial, a transmissão de dados via FTP e o processamento dos dados no MATLAB®.	23
Figura 4 – Posição de fixação do sensor inercial no punho direito dos participantes durante a execução dos movimentos de higienização das mãos.	23
Figura 5 – Técnica de higienização das mãos em 3 passos, conforme o protocolo adotado no estudo.	24
Figura 6 – Sincronização dos dados de higienização correta das mãos, coletados pelos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) com as gravações de vídeo, destacando os picos correspondentes às batidas de palma para referência temporal.	27
Figura 7 – Exemplo de trecho da tabela de sincronização, mostrando a correspondência entre os tempos de vídeo e os dados dos sensores para cada etapa do movimento de higienização correta das mãos.	28
Figura 8 – Dados sincronizados dos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) e dos ângulos, destacando as diferentes fases dos movimentos de higienização correta das mãos: espalhar, polegar e palma.	28
Figura 9 – Exemplo da operação do filtro de Kalman, mostrando a suavização dos dados medidos em comparação com o valor verdadeiro.	31
Figura 10 – Fluxo das etapas metodológicas propostas: coleta de dados, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação.	31
Figura 11 – Matriz de confusão do treinamento, apresentando a distribuição dos erros e acertos do modelo para cada classe, bem como as taxas de acurácia e erro associadas.	39
Figura 12 – Matriz de confusão do teste, apresentando a distribuição de erros e acertos do modelo para cada classe. A matriz exhibe as taxas de acurácia e erro para cada classe, bem como a acurácia geral.	40
Figura 13 – Higienização das mãos em 6 passos.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNESP	Universidade Estadual Paulista
IRAS	Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde
OMS	Organização Mundial de Saúde
IA	Inteligência Artificial
HM	Higiene das Mãos
UFMT	Universidade Federal de Mato Grosso
IMU	Unidade de Medição Inercial, do inglês <i>Inertial Measurement Unit</i>
GDPR	Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados
MEMS	<i>Micro-Electro-Mechanical Systems</i>
EKF	<i>Extended Kalman Filter</i>
UKF	<i>Unscented Kalman Filter</i>
CNNs	<i>Convolutional Neural Network</i>
SVMs	<i>Support Vector Machine</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

σ	Letra Grega Sigma
$\hat{x}_{k k-1}$	Estimativa do estado no tempo k dado o conhecimento até o tempo k-1
F_k	Matriz de transição de estado
$\hat{x}_{k-1 k-1}$	Estimativa anterior do estado no tempo k-1
B_k	Matriz de controle
u_k	Vetor de controle aplicado
$\hat{x}_{k k}$	Estimativa final do estado no tempo k após a incorporação das medidas
K_k	Matriz de ganho de Kalman
z_k	Vetor de medidas no tempo k
H_k	Matriz de medição
$P_{k k-1}$	Matriz de covariância de erro de previsão
R_k	Matriz de covariância do ruído de medida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	– Motivação	14
1.2	– Objetivos	15
1.3	– Publicação	15
1.4	– Estrutura do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	– Introdução à Problemática	17
2.1.1	– <i>Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde</i>	17
2.1.2	– <i>Identificação de Lacunas e Justificativa Para o Estudo Atual</i>	19
3	METODOLOGIA	21
3.1	– Abordagem Metodológica	21
3.2	– Coleta de Dados	21
3.3	– Pré-Processamento dos Dados	27
3.3.1	– <i>Sincronização do Vídeo com os Sensores</i>	27
3.4	– Sensores Inerciais e Seu Uso em Monitoramento de Movimento	29
3.4.1	– <i>Princípios de Funcionamento</i>	29
3.4.2	– <i>Fusão de Sensores Inerciais</i>	29
3.5	– Filtro de kalman	30
3.6	– Algoritmos de Classificação	31
3.6.1	– <i>Pré-Processamento</i>	32
3.6.2	– <i>Aumentação de Dados</i>	32
3.6.3	– <i>Segmentação dos Dados</i>	33
3.6.4	– <i>Tamanho da Janela e Passo de Segmentação</i>	34
3.6.5	– <i>Extração de Características</i>	35
3.6.6	– <i>Classificador</i>	38
4	RESULTADOS	39
5	CONCLUSÃO	41

REFERÊNCIAS	42
APÊNDICE A – DIRETRIZES DE HIGIENIZAÇÃO DAS MÃOS	45

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem experimentado um crescimento significativo, abrangendo diversos setores, como o da saúde, onde desempenha um papel transformador. Suas aplicações variam desde a interpretação de imagens médicas até a previsão de surtos de doenças, demonstrando sua capacidade de aumentar a eficácia e a eficiência dos cuidados de saúde. No contexto da prevenção de infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS), a IA tem o potencial de transformar a maneira como monitoramos e promovemos a higienização das mãos, prática fundamental para a segurança do paciente e a prevenção de doenças. O monitoramento contínuo e em tempo real da higiene das mãos se torna viável pela integração de sensores inerciais e algoritmos de aprendizado de máquina, superando as limitações dos métodos tradicionais de observação direta (CHEN; ZHOU; WONG, 2018).

Apesar das diretrizes estabelecidas, a adesão dos profissionais de saúde às práticas de higienização das mãos ainda é insuficiente. Estudos indicam que fatores como alta carga de trabalho e falta de recursos dificultam essa adesão (ERASMUS et al., 2010). A IA, por meio da classificação de movimentos, surge como uma solução promissora para este problema, permitindo verificar se a higienização foi realizada e avaliar a qualidade da técnica empregada. Ao oferecer *feedback* em tempo real, essa abordagem tecnológica pode ajudar a superar obstáculos práticos, promovendo uma maior adesão às práticas de higienização e, conseqüentemente, contribuindo para a redução das IRAS e o aumento da segurança do paciente.

Estudos recentes, como o de Geberemeskel et al. (2019), demonstraram a viabilidade da aplicação de IA na classificação dos movimentos de higienização das mãos em tempo real. Utilizando algoritmos de aprendizado profundo e sensores inerciais como acelerômetros, o sistema desenvolvido foi capaz de identificar e classificar com precisão os movimentos específicos de higienização. Esse progresso marca um passo importante rumo a uma supervisão mais eficaz e precisa dessa prática essencial nos ambientes de saúde. No entanto, a integração de sensores inerciais com IA também apresenta desafios. Conforme discutido por Chen, Zhou e Wong (2020), a coleta e o processamento de grandes volumes de dados em tempo real são tecnicamente complexos, e a precisão na classificação dos movimentos é essencial para garantir a confiabilidade do sistema. Embora esses desafios sejam significativos, as oportunidades oferecidas por essa abordagem são igualmente vastas, incluindo a possibilidade de reduzir as taxas de IRAS, promover um ambiente hospitalar mais seguro e melhorar a qualidade geral do atendimento ao paciente.

Para abordar essa questão, planeja-se desenvolver e implementar um sistema que combine os avanços em sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, com técnicas de inteligência artificial,

como redes neurais e algoritmos de aprendizado de máquina. Tal combinação oferece a capacidade de não apenas determinar se a higienização das mãos foi realizada, mas também de avaliar se foi executada corretamente. A pesquisa de Geberemeskel et al. (2019) destaca a viabilidade dessa abordagem, demonstrando como os algoritmos de aprendizado profundo podem identificar e classificar movimentos em tempo real. Essa tecnologia permite que o sistema reconheça não apenas o ato de higienização, mas também a precisão dos movimentos, como a duração e a técnica correta de esfregar as mãos.

Além disso, a implementação de algoritmos de aprendizado de máquina, como redes neurais, permite que o sistema se adapte com o tempo, tornando-se mais preciso à medida que coleta mais dados. A sinergia entre sensores inerciais e IA aprimora a capacidade de monitorar a higienização das mãos, proporcionando *feedback* em tempo real aos profissionais de saúde. Isso cria oportunidades para treinamento contínuo, incentivando uma adesão mais consistente às práticas recomendadas. O sistema também pode ser configurado para emitir alertas quando a higienização não atinge os padrões estabelecidos, aumentando a segurança do paciente e reduzindo a incidência de IRAS.

Portanto, essa abordagem inovadora representa um avanço importante na busca por ambientes hospitalares mais seguros e eficientes, mas sua efetividade dependerá da contínua adaptação e superação dos desafios técnicos e operacionais. Com uma combinação adequada de tecnologia e práticas educacionais, a IA pode contribuir significativamente para a melhoria da saúde e segurança hospitalar.

1.1 MOTIVAÇÃO

A motivação para o desenvolvimento do projeto está baseada na preocupação com as baixas taxas de adesão à higiene das mãos em ambientes hospitalares e nos impactos das Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS). A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que aproximadamente 7% dos pacientes hospitalizados em países de alta renda desenvolvem IRAS, enquanto esse número pode chegar a 10% ou mais em países de baixa e média renda (ORGANIZATION, 2009). As IRAS representam uma carga significativa para os sistemas de saúde, aumentando os custos operacionais devido ao prolongamento da hospitalização, maior necessidade de tratamentos intensivos e procedimentos adicionais.

Diante desse cenário, torna-se necessária a adoção de inovações tecnológicas, como a aplicação de algoritmos de inteligência artificial para monitorar a higiene das mãos de forma mais eficiente e identificar possíveis inconsistências na execução das práticas de antisepsia.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um sistema com base em algoritmos de inteligência artificial e sensores inerciais que otimize a supervisão e a conformidade com as práticas de higiene das mãos em ambientes de saúde. A questão de pesquisa que orientará este estudo é a seguinte: "O sistema baseado em inteligência artificial e sensores inerciais é eficaz na classificação correta dos movimentos de higienização das mãos?". Responder a essa pergunta não só contribuirá para o campo acadêmico, mas também terá implicações práticas significativas, potencialmente salvando vidas e melhorando a segurança dos pacientes em todo o mundo.

1.3 PUBLICAÇÃO

Como parte dos resultados obtidos neste trabalho, foi realizada uma publicação no XXV Congresso Brasileiro de Automática (CBA), realizado em 2024, no Rio de Janeiro. A seguir, são apresentados os detalhes da publicação:

GARCIA, H. A.; GIRARDI, P. M.; SANTOS, B. S.; GOULART, L. S.; MARCOLIN, R. M.; FERREIRA, A. A.; VALIM, M. D.; NOGUEIRA, S. L.; DOS SANTOS, W. M. Sistema de Classificação de Movimentos na Higienização das Mãos Utilizando Sensores Inerciais e Inteligência Artificial. In: *XXV Congresso Brasileiro de Automática, 2024, Rio de Janeiro. Anais do XXV Congresso Brasileiro de Automática, 2024.*

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado em seções principais que abordam diferentes aspectos da pesquisa. Cada seção é dedicada a um tópico específico, com o objetivo de guiar o leitor ao longo do desenvolvimento do tema e das conclusões obtidas. A seguir é apresentada uma breve descrição do temas abordados em cada uma das seções principais:

Seção 1 - Introdução. Na introdução é feita uma contextualização do projeto, apresentando a motivação, a proposta e os objetivos do estudo. É aqui que o leitor é introduzido ao tema central da pesquisa e à relevância do estudo no contexto mais amplo.

Seção 2 - Revisão Bibliográfica. A revisão bibliográfica abrange a problemática das infecções relacionadas à assistência à saúde, a importância da higienização das mãos, e as diretrizes existentes para tal. Além disso, são discutidos os desafios na adesão às práticas de higienização e explorada as tecnologias emergentes no campo.

Seção 3 - Metodologia. Esta seção detalha a abordagem metodológica adotada, incluindo a coleta e o pré-processamento dos dados. A metodologia é crucial para entender como os dados foram coletados e analisados, e como os resultados foram obtidos.

Seção 4 - Resultados. Nesta seção são apresentados os resultados da pesquisa. Esta seção é fundamental para entender as descobertas do estudo e como elas contribuem para o campo de pesquisa.

Seção 5 - Conclusão. Esta seção resume os trabalhos realizados no desenvolvimento do sistema de classificação de movimentos corretos de higienização das mãos, explora suas implicações na prática clínica, apresenta as etapas metodológicas fundamentais envolvidas, discute os resultados e apresenta perspectivas para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO À PROBLEMÁTICA

2.1.1 *Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde*

As Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS) constituem um problema de saúde pública global, com taxas de incidência que variam entre regiões e tipos de instalações de saúde. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que cerca de 7% dos pacientes hospitalizados em países de alta renda podem desenvolver IRAS, enquanto esse número pode atingir 10% ou mais em países de baixa e média renda (ORGANIZATION, 2009). A incidência dessas infecções é influenciada por diversos fatores, como o tipo de procedimento realizado, o tempo de internação e a eficácia das medidas de controle de infecção. Entre as IRAS mais comuns, estão as infecções do trato urinário, infecções do sítio cirúrgico, pneumonias associadas à ventilação mecânica e bacteremias relacionadas ao uso de cateteres. Essas infecções geram um impacto econômico considerável, prolongando internações e aumentando a necessidade de tratamento intensivo e o uso de recursos adicionais, como medicamentos e exames (SOUZA et al., 2015).

Nesse contexto, a higienização das mãos destaca-se como uma das práticas mais eficazes na prevenção dessas infecções, especialmente em ambientes hospitalares onde os pacientes estão mais vulneráveis. A transmissão de patógenos pelas mãos dos profissionais de saúde pode resultar em infecções graves, aumentando os custos com tratamento e, em alguns casos, levando a óbitos. A prática regular e adequada de higienização das mãos é, portanto, crucial para a segurança dos pacientes e para a manutenção de um ambiente clínico seguro e higiênico. Estudos demonstram que a melhoria nas práticas de higienização das mãos está diretamente associada à redução das infecções hospitalares (SMITH; GUZMAN; RIBEIRO, 2021); (JOHNSON et al., 2021). Ademais, a higienização das mãos protege os próprios profissionais de saúde, que estão constantemente expostos a patógenos potencialmente perigosos. Sem a devida higienização, eles correm o risco de contrair doenças ou se tornarem vetores de infecção para outros pacientes e suas próprias famílias. Para mais detalhes sobre as técnicas recomendadas de higienização das mãos, conforme as diretrizes da OMS e outros estudos, consulte o Apêndice A deste trabalho. A promoção de uma cultura de higiene eficaz dentro das instituições de saúde é, assim, essencial, envolvendo todos os níveis da organização (SILVA; GAMARRA; GIR, 2019).

Entretanto, mesmo com a ênfase dada por organizações de saúde, a adesão às práticas de higienização das mãos continua a ser um desafio. A alta carga de trabalho, especialmente em situações

de emergência, e a falta de recursos como dispensadores de desinfetante, são alguns dos fatores que dificultam essa adesão (MARTINS; CARVALHO; ROSA, 2020); (JOHNSON et al., 2021). Além disso, a falta de conscientização e educação sobre a importância dessa prática desempenha um papel relevante. Embora muitos profissionais de saúde estejam cientes dos riscos associados à transmissão de infecções, a compreensão de como a higienização inadequada das mãos contribui para esses riscos pode ser limitada. Programas de conscientização e campanhas educativas são fundamentais para garantir que todos os membros da equipe compreendam a importância da higienização e implementem práticas eficazes de higiene (SILVA; GAMARRA; GIR, 2019); (PATEL; CHOUDHURY, 2020).

Ainda, fatores como esquecimento e complacência são obstáculos significativos. Em ambientes hospitalares agitados, os profissionais podem esquecer de higienizar as mãos entre atendimentos, principalmente quando realizam várias tarefas em rápida sucessão. A complacência pode ocorrer quando os profissionais não observam os efeitos imediatos de suas ações, subestimando o impacto da higienização. Por isso, é vital que as instituições de saúde invistam em educação contínua, fornecendo lembretes, *feedback* e auditorias regulares para garantir a adesão às práticas de higienização das mãos, contribuindo, assim, para a segurança dos pacientes (ERASMUS et al., 2010).

Os métodos tradicionais de monitoramento da higienização, como as observações diretas, são amplamente utilizados para avaliar a adesão dos profissionais de saúde. No entanto, esses métodos têm limitações, como o "efeito Hawthorne", onde o comportamento dos profissionais pode ser alterado pela simples consciência de estarem sendo observados (GOULD; DREY; CREEDON, 2007); (MCLAWS et al., 2010). Além disso, observações diretas consomem tempo e recursos, sendo difícil sua aplicação em larga escala. Para superar essas limitações, a introdução de métodos mais objetivos e menos intrusivos, como sensores eletrônicos e sistemas de vigilância automatizados, vem ganhando força (BOYCE et al., 2017); (LEVCHENKO et al., 2018).

A evolução tecnológica oferece novas oportunidades para monitorar a higienização das mãos de forma mais eficaz. Sensores inerciais e algoritmos de IA têm o potencial de transformar essa prática, fornecendo monitoramento contínuo e em tempo real, além de permitir intervenções imediatas. Esses sistemas podem detectar automaticamente os eventos de higienização, fornecendo dados objetivos e confiáveis que podem ser usados para avaliar a adesão e identificar áreas de melhoria (CHEN; ZHOU; WONG, 2018); (DONSA et al., 2015). Sensores como acelerômetros e giroscópios são particularmente úteis para essa aplicação, uma vez que conseguem detectar os movimentos específicos associados à higienização correta. Quando combinados com IA, esses sensores permitem intervenções em tempo real e análise contínua dos dados, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de controle de infecções (LIU et al., 2018); (PANTELOPOULOS; BOURBAKIS, 2010). Apesar dos desafios envolvidos na implementação dessas tecnologias, como a necessidade de calibragem

precisa dos sensores, elas representam uma oportunidade significativa para melhorar a segurança nos ambientes de saúde (MARSCHOLLEK et al., 2012);(PEIFFER et al., 2018).

A integração de sensores inerciais com algoritmos de IA vem sendo amplamente discutida na literatura como uma solução promissora para o monitoramento preciso e contínuo de práticas de saúde, como a higienização das mãos. Chen, Zhou e Wong (2020), apontam que um dos principais desafios dessa tecnologia está na necessidade de processar grandes volumes de dados em tempo real. Esses sensores geram informações complexas, o que exige sistemas robustos e otimizados, como sugerido em diversos estudos que abordam a necessidade de soluções mais eficientes para garantir a precisão dos algoritmos utilizados.

Diversos autores ressaltam que, apesar desses desafios, as oportunidades são vastas. A capacidade de monitoramento contínuo tem o potencial de transformar as práticas de higienização em ambientes de saúde, promovendo maior segurança ao paciente. Lee et al. (2017) conduziram uma pesquisa que ilustra esse potencial, alcançando uma precisão de até 98% na classificação de movimentos, o que valida a eficácia dessa abordagem em comparação com os métodos tradicionais.

Além disso, a utilização de sensores inerciais e IA em diferentes áreas da saúde, como reabilitação e monitoramento de postura, reforça a versatilidade dessa tecnologia. Geberemeskel et al. (2019), por exemplo, demonstraram a viabilidade técnica dessa integração em tempo real, enfatizando a importância de algoritmos robustos para garantir a eficácia do monitoramento e a identificação rápida de falhas. Esses exemplos validam o impacto positivo que a IA e os sensores podem ter em diferentes cenários de saúde.

Por fim, a implementação dessas tecnologias traz benefícios adicionais, como a redução de custos hospitalares ao diminuir a incidência de infecções relacionadas à assistência à saúde (IRAS). Entretanto, é fundamental garantir a conformidade com normas e regulamentações, como o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados (GDPR), assegurando a privacidade dos profissionais de saúde, conforme sugerido pela literatura. Isso inclui medidas rigorosas de segurança e transparência na coleta e processamento de dados sensíveis.

2.1.2 Identificação de Lacunas e Justificativa Para o Estudo Atual

Embora as práticas de monitoramento da higienização das mãos, como o uso de sensores inerciais e IA, representem avanços tecnológicos com potencial, a aplicação prática dessas tecnologias em ambientes hospitalares ainda carece de investigação aprofundada. A literatura atual se concentra amplamente em estudos controlados ou simulações, deixando uma lacuna de evidências sobre sua implementação em ambientes reais de saúde, onde a dinâmica é mais complexa e desafiadora (STOUMPOS; KITSIOS;

TALIAS, 2023).

Além disso, a aceitação dessas tecnologias por parte dos profissionais de saúde ainda é uma questão aberta. Estudos indicam que a resistência à adoção de novas tecnologias pode ser uma barreira significativa para a sua implementação eficaz. Entender as percepções e preocupações dos profissionais é essencial para desenvolver estratégias que facilitem a adoção e otimizem a usabilidade desses sistemas (ALQUDAH; AL-BATAINEH; ALQUUDU, 2021).

Por fim, a precisão e a confiabilidade dos sistemas de monitoramento são fundamentais para garantir que erros sejam minimizados em ambientes hospitalares. Embora estudos iniciais demonstrem a viabilidade desses sistemas, a manutenção de um alto nível de precisão em condições reais é um desafio que precisa ser abordado (SOUZA et al., 2015).

O estudo atual se propõe a investigar essas lacunas na literatura e na prática, abordando a implementação de sistemas de monitoramento baseados em sensores inerciais e IA em ambientes hospitalares, além de analisar a aceitação pelos profissionais de saúde e a confiabilidade dos sistemas em condições práticas. O objetivo é contribuir para o avanço da segurança e eficácia das práticas de higienização das mãos em ambientes de saúde.

3 METODOLOGIA

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este estudo adota uma abordagem mista, combinando técnicas quantitativas e qualitativas, conforme os objetivos específicos relacionados à análise dos movimentos de higienização das mãos. A parte quantitativa se justifica pela necessidade de obter dados numéricos objetivos por meio de sensores inerciais, que permitem medições dos movimentos. Esses dados permitem uma análise estatística detalhada, possibilitando a identificação de padrões nos movimentos, distinguindo entre execuções corretas e incorretas.

A parte qualitativa, por outro lado, envolve o uso de filmagens e a avaliação de um juiz especializado, que observa os vídeos e determina se os movimentos foram realizados corretamente. Essa avaliação qualitativa permite identificar nuances que os sensores podem não captar diretamente, como a técnica utilizada ou pequenos desvios nos movimentos.

A combinação dessas abordagens permite uma análise mais completa e multidimensional dos movimentos de higienização das mãos, integrando a objetividade dos dados quantitativos com a interpretação detalhada dos aspectos qualitativos.

3.2 COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada no Departamento de Enfermagem da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e contou com a participação de quatro voluntários. Vale destacar que o presente estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), sob o número de CAAE 65800722.9.0000.5541.

O *hardware* utilizado foi o sensor inercial WitMotion WT901BLECL, escolhido por sua capacidade de registrar movimentos tridimensionais com a precisão necessária (veja a Figura 1). O *software* empregado foi o BSL Capture (Figura 2), descrito no trabalho de Girardi (2023), desenvolvido no Laboratório de Pesquisa em Sinais Biomédicos (LSBio) da UFSCar, que permitia também a monitoração contínua da qualidade dos dados capturados.

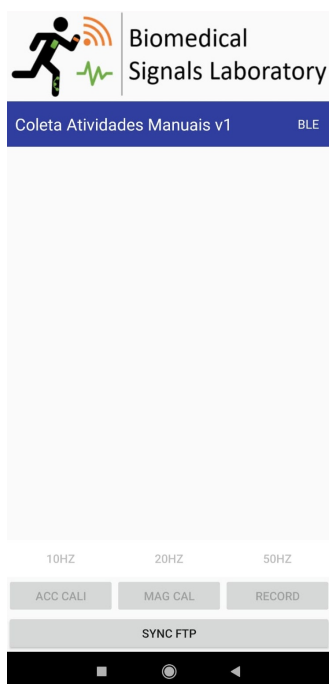
Após a transmissão dos dados para o ambiente de armazenamento em nuvem, um *script* no programa MATLAB® realizava o carregamento dos dados para, posteriormente, serem processados. Na Figura 3 é apresentado o sistema de medição utilizado no estudo, que integra o sensor inercial, a transmissão de dados via FTP e o processamento dos dados no MATLAB®. Com o sistema proposto,

Figura 1 – Sensor inercial WitMotion WT901BLECL utilizado para registrar os movimentos durante as coletas de dados.



Fonte: Autor.

Figura 2 – Aplicativo BSL Capture, desenvolvido pelo Laboratório de Sinais Biomédicos (LSBio) da UFSCar, utilizado para monitorar e sincronizar os dados capturados durante as coletas.



Fonte: Autor.

que combina *hardware* e *software*, foi possível realizar a coleta eficiente dos dados de movimento durante os experimentos.

Figura 3 – Sistema de medição utilizado no estudo, mostrando a integração do sensor inercial, a transmissão de dados via FTP e o processamento dos dados no MATLAB®.



Fonte: Adaptado de Girardi et al. (2023).

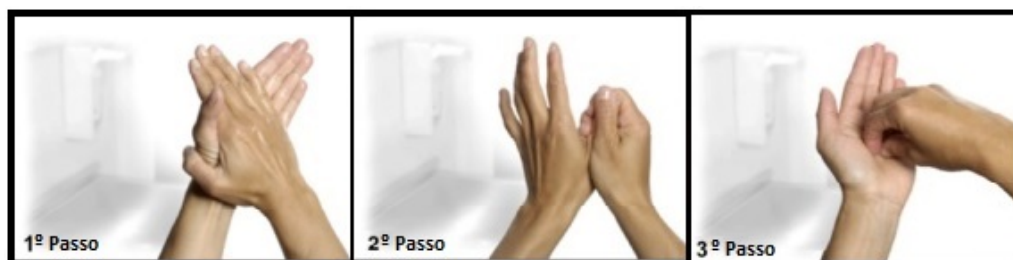
Antes de iniciar as coletas de dados, os participantes seguiram um *checklist* com o objetivo de padronizar o procedimento e minimizar a ocorrência de erros. A Tabela 1 apresenta o *checklist* seguido pelos voluntários. O sensor foi fixado no punho direito de cada um dos quatro profissionais de saúde que participaram das coletas (veja a Figura 4). Todos os profissionais receberam treinamento para realizar corretamente a técnica de higienização das mãos em três etapas (Figura 5) e seguiram um roteiro estruturado que incluía tanto movimentos corretos quanto incorretos.

Figura 4 – Posição de fixação do sensor inercial no punho direito dos participantes durante a execução dos movimentos de higienização das mãos.



Fonte: Autor.

Figura 5 – Técnica de higienização das mãos em 3 passos, conforme o protocolo adotado no estudo.



Fonte: Autor.

Tabela 1 – *Checklist* utilizado para padronizar as coletas de dados.

Check-List	
1	Verificar se as condições do ambiente em que será realizada a coleta estão adequadas, sem obstáculos e funcionando.
2	Verificar se o voluntário compreendeu as atividades pré-definidas que serão realizadas durante a coleta de dados.
3	Padronizar o posicionamento do sensor no punho para todas as coletas (sensor sempre na mesma posição e no punho direito).
4	Verificar se o celular está com a bateria acima de 80%.
5	Verificar se o app "Stay Awake", está ativo.
6	Verificar se a bateria do sensor está carregada.
7	Verificar se o app "BSL Capture UFSCar" reconhece o sensor.
8	Verificar se o app "BSL Capture UFSCar" capta os sinais (em tempo real) emitidos pelo sensor, se estiver com zeros em x, y e z, feche o App, abra novamente e reconecte.
9	Verificar se o nome do arquivo está correto para evitar erro na execução do código do Matlab.
10	Conferir novamente a conexão bluetooth entre app e sensor.

Fonte: Autor.

Os participantes realizaram a execução da técnica correta, cujo roteiro é apresentado na Tabela 2, de forma sequencial por três vezes, respeitando um intervalo de 10 segundos entre cada higienização completa das mãos, para que houvesse a interrupção do sinal captado pelo sensor. Para marcar o início e o fim de cada coleta, o participante iniciava e terminava a sequência descrita batendo palmas no início e no final. O juiz iniciava a contagem do tempo com um cronômetro e simultaneamente a filmagem, autorizando o participante a realizar a técnica após 5 segundos de gravação. O participante controlava esse tempo após a autorização e iniciava e finalizava a higienização das mãos com um bater de palma, conforme descrito anteriormente. Durante as pausas iniciais e entre as execuções das técnicas, o participante era orientado a manter as mãos sobre a bancada para reduzir os ruídos captados pelo sensor. Todo o procedimento foi gravado em vídeo e, ao longo da coleta, um profissional atuava como juiz, responsável por gerenciar a filmagem, a contagem do tempo e a verificação da correta execução da técnica.

Tabela 2 – Roteiro detalhado para a execução correta da técnica de higienização das mãos, realizado em três ciclos consecutivos com intervalos definidos entre cada movimento.

Roteiro de Higienização Correta das Mãos		
Primeiro Ciclo		
Sequência	Descrição das Etapas	Duração
Início	Bater uma palma	-
Movimento 1	Cobrir todas as superfícies das mãos.	6 segundos
Movimento 2	Realizar a fricção rotacional de ambos os polegares.	5 segundos
Movimento 3	Realizar a fricção rotacional das pontas dos dedos na palma da mão e vice-versa.	3 segundos
Segundo Ciclo		
Sequência	Descrição das Etapas	Duração
Movimento 1	Cobrir todas as superfícies das mãos.	6 segundos
Movimento 2	Realizar a fricção rotacional de ambos os polegares.	5 segundos
Movimento 3	Realizar a fricção rotacional das pontas dos dedos na palma da mão e vice-versa.	3 segundos
Terceiro Ciclo		
Sequência	Descrição das Etapas	Duração
Movimento 1	Cobrir todas as superfícies das mãos.	6 segundos
Movimento 2	Realizar a fricção rotacional de ambos os polegares.	5 segundos
Movimento 3	Realizar a fricção rotacional das pontas dos dedos na palma da mão e vice-versa.	3 segundos
Fim	Bater uma palma	-

Fonte: Autor.

Durante as coletas de dados referentes à aplicação incorreta da técnica de higienização das mãos, foram seguidos os mesmos procedimentos adotados nas coletas de dados da aplicação correta da técnica. Em outras palavras, os profissionais mantiveram os mesmos métodos utilizados nas coletas corretas, mas executaram as técnicas de forma inadequada, conforme o roteiro descrito na Tabela 3.

Os movimentos foram delineados com base nos erros comuns observados na prática de higienização das mãos. Um exemplo de sequência incorreta executada durante a higienização foi a seguinte: cobrir somente a palma das mãos, quando o procedimento correto exige a aplicação do álcool em todas as superfícies das mãos, incluindo as costas e os espaços entre os dedos. Outro erro observado foi a realização de movimentos de vai e vem com os polegares, enquanto o procedimento correto orienta a fricção rotacional de ambos os polegares, garantindo que todas as áreas sejam devidamente

higienizadas. Além disso, muitos indivíduos realizaram a fricção das pontas dos dedos com exceção dos polegares, quando, na realidade, a fricção rotacional das pontas dos dedos deve ser feita tanto na palma das mãos quanto nas pontas dos dedos, e essa prática deve se estender a todos os dedos, assegurando uma higienização completa.

Tabela 3 – Roteiro para a execução incorreta da técnica de higienização das mãos, realizado em três ciclos consecutivos com variações que simulam erros comuns na prática.

Roteiro de Higienização Incorreta das Mãos		
Primeiro Ciclo		
Sequência	Descrição das Etapas	Duração
Início	Bater uma palma	-
Movimento 1	Cobrir somente a palma das mãos.	6 segundos
Movimento 2	Realizar movimentos de vai e vem dos polegares.	5 segundos
Movimento 3	Realizar a fricção da ponta dos dedos com exceção dos polegares.	3 segundos
Segundo Ciclo		
Sequência	Descrição das Etapas	Duração
Movimento 1	Não realizar a cobertura do dorso da mão esquerda.	6 segundos
Movimento 2	Realizar a rotação parcial dos polegares.	5 segundos
Movimento 3	Realizar apenas a fricção dos dedos indicador, médio e anelar, com exceção dos dedos polegares e dos dedos mindinhos.	3 segundos
Terceiro Ciclo		
Sequência	Descrição das Etapas	Duração
Movimento 1	Não realizou a cobertura do dorso da mão direita.	6 segundos
Movimento 2	Realizar apenas a rotação do polegar direito.	5 segundos
Movimento 3	Realizar apenas a fricção da ponta dos dedos da mão direita.	3 segundos
Fim	Bater uma palma	-

Fonte: Autor.

A taxa de amostragem utilizada foi de 50 Hz, escolha alinhada com estudos que indicam que frequências entre 40 Hz e 50 Hz são ideais para a análise de movimentos humanos (GHASEMZADEH et al., 2013a). Essa taxa permitiu a obtenção de dados detalhados, possibilitando uma análise precisa dos movimentos envolvidos na técnica de higienização das mãos.

A capacidade de coleta e armazenamento em tempo real, por meio de uma plataforma em nuvem, proporcionou a vantagem significativa de monitorar os dados conforme eram coletados, permitindo a identificação imediata e correção de quaisquer erros que pudessem comprometer a qualidade das

informações. Embora os dados tenham sido acessados imediatamente, os algoritmos de inteligência artificial foram aplicados de maneira *off-line*, posteriormente à coleta. Esta abordagem estratégica não apenas facilitou a supervisão em tempo real, mas também permitiu análises mais detalhadas e aprofundadas, contribuindo para uma maior confiabilidade dos resultados na avaliação dos procedimentos de higienização.

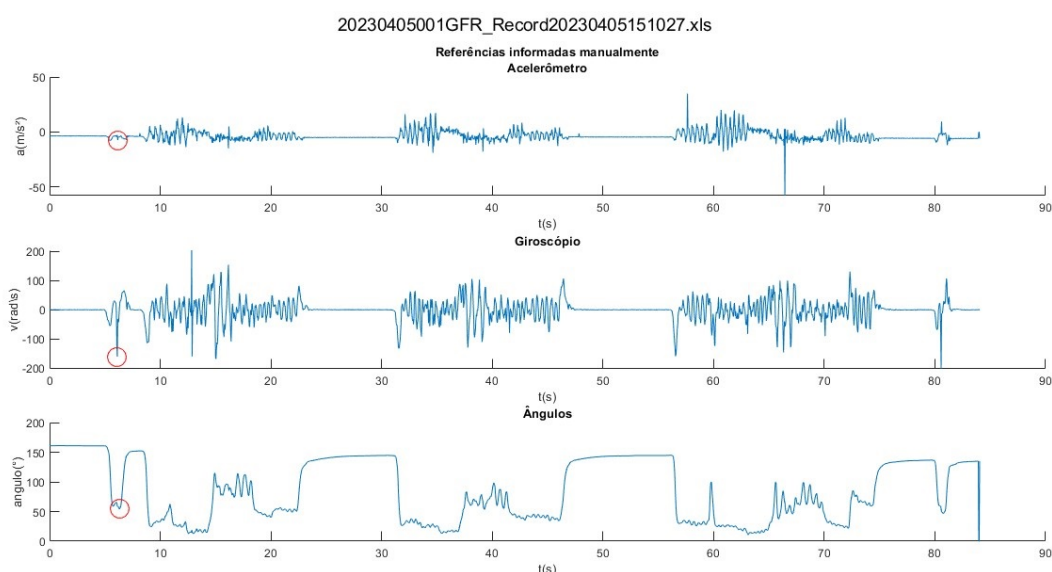
A metodologia de coleta de dados forneceu uma base sólida para a condução da pesquisa, garantindo a qualidade e a precisão dos dados que serão utilizados na classificação e avaliação dos movimentos de higienização das mãos.

3.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.3.1 Sincronização do Vídeo com os Sensores

A sincronização entre os dados coletados pelos sensores e as gravações de vídeo foi primordial para garantir a validação e a referência dos dados. Embora o vídeo não seja a fonte principal dos dados, ele serve como suporte para validar a coleta de informações. Para garantir a sincronização, foi utilizada a batida das palmas dos participantes como marco de referência. Após um intervalo de aproximadamente 10 segundos de inatividade, a batida de palma gerava um pico nos dados do sensor, identificado tanto no vídeo quanto nas leituras dos sensores. Esse pico facilitava a sincronização manual dos dados sensoriais com os vídeos. A Figura 6 ilustra esse processo de marcação.

Figura 6 – Sincronização dos dados de higienização correta das mãos, coletados pelos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) com as gravações de vídeo, destacando os picos correspondentes às batidas de palma para referência temporal.



Fonte: Autor.

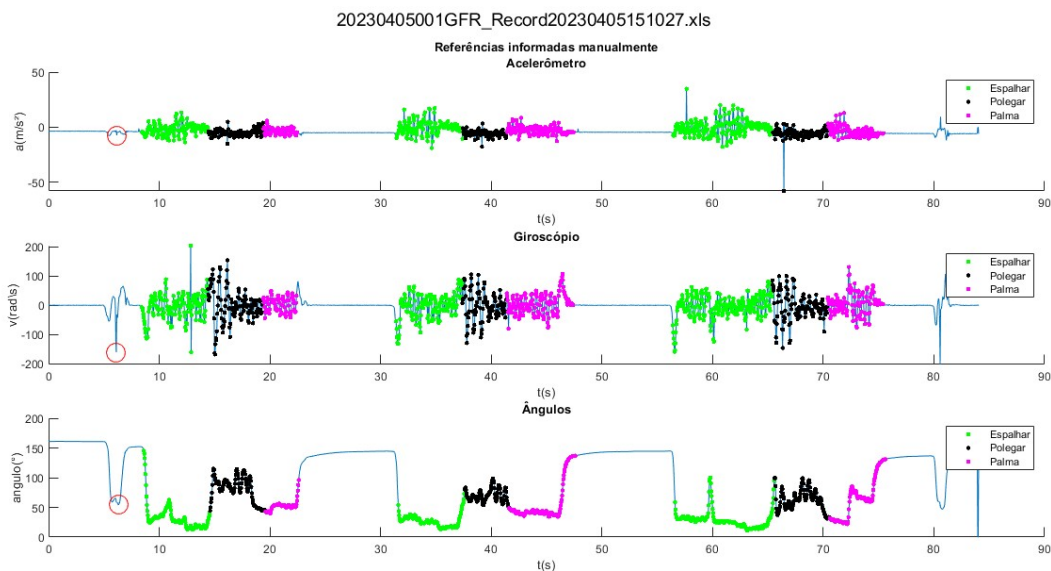
Os dados foram inseridos em uma planilha contendo os tempos de início e término de cada movimento, obtidos por meio do vídeo (Figura 7). Juntamente com o tempo de sincronização obtido pela batida de palma e o índice do vetor de dados dos sensores correspondente, foi possível definir a correspondência de cada movimento com os dados dos sensores, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 7 – Exemplo de trecho da tabela de sincronização, mostrando a correspondência entre os tempos de vídeo e os dados dos sensores para cada etapa do movimento de higienização correta das mãos.

ANÁLISE HIGIENIZAÇÃO 3 ETAPAS - AMBIENTE SIMULADO					
Descrição das etapas	Calibração sensor	Vídeo		Sensor	
	5,72	Início	Término	Início	Término
Calibração dos sensores (Bater palmas uma vez)		0:00:06		6,00	6,16
PRIMEIRO CICLO					
Movimento 1					
Cobrir todas as superfícies das mão		0:00:08	0:00:14	8	14
Movimento 2					
Realizar a fricção rotacional de ambos os polegares		0:00:14	0:00:19	14	19
Movimento 3					
Realizar a fricção rotacional das pontas ds dedos na palma da outra mão e vice-versa.		0:00:19	0:00:22	19	22

Fonte: Autor.

Figura 8 – Dados sincronizados dos sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio) e dos ângulos, destacando as diferentes fases dos movimentos de higienização correta das mãos: espalhar, polegar e palma.



Fonte: Autor.

3.4 SENSORES INERCIAIS E SEU USO EM MONITORAMENTO DE MOVIMENTO

3.4.1 *Princípios de Funcionamento*

Os sensores inerciais, como acelerômetros e giroscópios, são dispositivos essenciais para detectar e medir movimentos e orientações de objetos. O acelerômetro mede a aceleração linear, ou seja, a variação da velocidade ao longo do tempo, o que é crucial para entender como um objeto se move em um espaço tridimensional. Quando o objeto se desloca, forças atuam sobre ele, alterando sua velocidade e direção, e o acelerômetro capta essas mudanças. Além disso, os acelerômetros também detectam a aceleração causada pela gravidade, o que ajuda a determinar a orientação do objeto em relação à Terra.

Os acelerômetros medem a aceleração em três eixos ortogonais (x, y, z) e, a partir de um processo de calibração e filtragem, é possível obter dados confiáveis. Já os giroscópios medem a velocidade angular, ou seja, a taxa de rotação de um objeto em torno de um eixo. Isso é fundamental para entender a orientação de um objeto no espaço (FORHAN, 2010). Os giroscópios complementam os acelerômetros, capturando a rotação do objeto mesmo quando não há movimento linear significativo.

3.4.2 *Fusão de Sensores Inerciais*

A fusão de sensores inerciais envolve a combinação de dados de acelerômetros e giroscópios para obter uma estimativa mais precisa de movimento e orientação. Giroscópios MEMS sofrem de deriva ao longo do tempo, o que pode gerar leituras incorretas. A fusão com os dados dos acelerômetros, que não apresentam o mesmo problema, ajuda a compensar essas imprecisões.

A fusão de dados desses sensores geralmente envolve o uso de filtros de Kalman, que são algoritmos de estimativa capazes de integrar informações de diferentes sensores (OLIVEIRA; GONÇALVES, 2017).

A equação de estado do Filtro de Kalman pode ser representada como:

$$x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k$$

$$z_k = H_k x_k + v_k$$

Onde:

- x_k é o estado estimado.
- F_k é a matriz de estados (ou planta do sistema).
- B_k é a matriz de entrada.

- u_k é o vetor de entrada.
- w_k é o ruído de processo.
- z_k é o vetor de medidas.
- H_k é a matriz de medição.
- v_k é o ruído de medição.

A fusão de sensores tem grande potencial em aplicações de controle e monitoramento das técnicas de higienização das mãos, permitindo avaliar em tempo real se os movimentos estão sendo executados corretamente.

3.5 FILTRO DE KALMAN

O sensor inercial WitMotion WT901BLECL usado neste trabalho conta com um sistema de filtragem embutido, que inclui o filtro de Kalman, que neste caso é utilizado para promover a fusão dos sensores, melhorando assim a precisão dos dados.

O filtro de Kalman realiza previsões e atualizações constantes, ajustando suas estimativas com base em novos dados.

A fase de previsão pode ser representada pela equação:

$$\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1} + B_k u_k$$

Já a fase de atualização é descrita como:

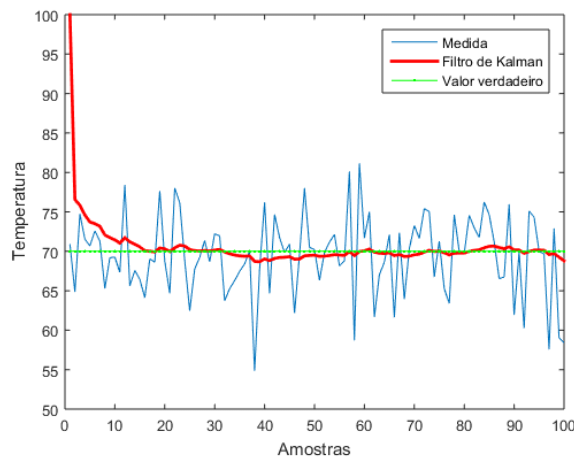
$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1})$$

A matriz de ganho de Kalman, K_k , é calculada pela seguinte fórmula:

$$K_k = P_{k|k-1} H_k^T (H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k)^{-1}$$

Essas equações garantem que o filtro suavize os dados e produza uma estimativa mais confiável. A ilustração do funcionamento do filtro de Kalman pode ser observada na Figura 9, que mostra a suavização dos dados medidos.

Figura 9 – Exemplo da operação do filtro de Kalman, mostrando a suavização dos dados medidos em comparação com o valor verdadeiro.

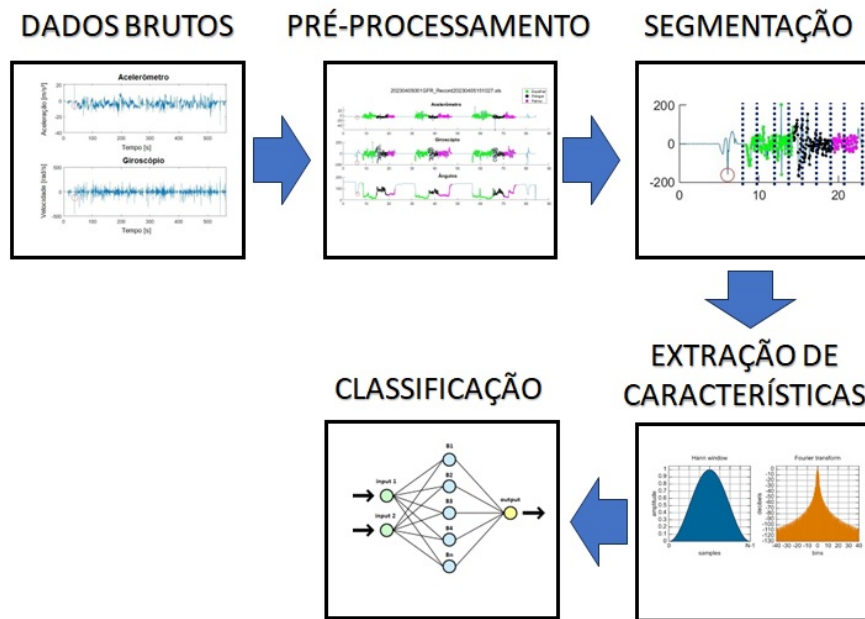


Fonte: Autor.

3.6 ALGORITMOS DE CLASSIFICAÇÃO

As etapas do processo de classificação baseado em inteligência artificial, adotadas neste projeto, foram implementadas conforme Girardi (2023). A metodologia proposta consiste em cinco etapas: coleta de dados, pré-processamento, segmentação de dados, extração de características e classificação, conforme ilustrado na Figura 10 e detalhadas ao longo da seção.

Figura 10 – Fluxo das etapas metodológicas propostas: coleta de dados, pré-processamento, segmentação, extração de características e classificação.



Fonte: Autor.

3.6.1 Pré-Processamento

O pré-processamento envolve a manipulação do sinal bruto sem a separação de eventos ou classificação dos dados. Essa etapa prepara os dados para as fases subsequentes de segmentação e extração de características. Em muitos casos, um processo de filtragem é suficiente para eliminar artefatos de alta frequência (ruído) e distinguir as componentes de baixa e alta frequência do sinal (GHASEMZADEH et al., 2013b).

Neste trabalho, foi implementado um filtro passa-baixa Butterworth de quinta ordem para remover ruídos dos dados sem introduzir atraso no sinal de saída, preservando, assim, a sincronização entre o sinal de entrada e o sinal de saída.

3.6.2 Aumentação de Dados

A aumento de dados é uma técnica fundamental no pré-processamento, usada para enriquecer o conjunto de dados de treinamento e melhorar a robustez dos modelos de aprendizado de máquina. Essa abordagem envolve a introdução de modificações artificiais nos dados por meio de diversas transformações, simulando a variabilidade que ocorreria em condições reais. As transformações aplicadas incluem rotação aleatória, deslocamento, escalonamento e modificações na forma, como reflexões e distorções.

Neste trabalho, foram utilizadas rotações aleatórias implementadas por meio de matrizes de rotação nos eixos triaxiais.

Este método de transformação geométrica é crucial, pois contorna o problema de não dispor de muitos dados coletados, expondo o modelo a uma gama mais ampla de cenários operacionais possíveis sem a necessidade de coleta física adicional. Isso ajuda a evitar o *overfitting*, que ocorre quando um modelo é excessivamente adaptado ao conjunto de dados de treinamento e falha em generalizar para novos dados não vistos durante o treinamento. Essas manipulações geram um conjunto de dados ampliado e diversificado, permitindo que o modelo aprenda padrões mais abrangentes e reduza a susceptibilidade ao sobreajuste (SHORTEN; KHOSHGOFTAAR, 2019).

Para ilustrar o processo detalhado de aumento de dados, o pseudocódigo 1 é apresentado, demonstrando como diferentes transformações geométricas são aplicadas aos dados coletados de sensores de acelerômetro e giroscópio:

As matrizes de rotação são aplicadas da seguinte forma:

- **Eixo X:** A rotação em torno do eixo X altera a inclinação, simulando variações na orientação vertical;

Algorithm 1 Pseudocódigo para Aumentação de Dados de Acelerômetro e Giroscópio

```

1: function AUMENTAÇÃODEDADOS(dados)
2:   conjunto_de_dados_aumentados  $\leftarrow$  []
3:   for cada amostra em dados do
4:     for cada eixo em {X, Y, Z} do
5:       ângulo  $\leftarrow$  gerar_valor_aleatório(min, max)
6:       amostra_rotacionada  $\leftarrow$  aplicar_rotação(amostra, eixo, ângulo)
7:       adicionar amostra_rotacionada ao conjunto_de_dados_aumentados
8:     end for
9:     deslocamento  $\leftarrow$  gerar_vetor_deslocamento(min, max)
10:    amostra_deslocada  $\leftarrow$  aplicar_deslocamento(amostra, deslocamento)
11:    adicionar amostra_deslocada ao conjunto_de_dados_aumentados
12:    fator_escala  $\leftarrow$  gerar_valor_aleatório(min, max)
13:    amostra_escalorada  $\leftarrow$  aplicar_escalonamento(amostra, fator_escala)
14:    adicionar amostra_escalorada ao conjunto_de_dados_aumentados
15:    amostra_refletida  $\leftarrow$  aplicar_reflexão(amostra, {X, Y})
16:    adicionar amostra_refletida ao conjunto_de_dados_aumentados
17:    grau_de_distorção  $\leftarrow$  especificar
18:    amostra_distorcida  $\leftarrow$  aplicar_distorção(amostra, grau_de_distorção)
19:    adicionar amostra_distorcida ao conjunto_de_dados_aumentados
20:   end for
21:   return conjunto_de_dados_aumentados
22: end function

```

- **Eixo Y:** A rotação em torno do eixo Y modifica o azimute, ajudando o modelo a compreender diferentes orientações horizontais;
- **Eixo Z:** A rotação em torno do eixo Z ajusta o rolamento, sendo crucial para simular a rotação do dispositivo em torno de seu próprio eixo.

3.6.3 Segmentação dos Dados

A segmentação de dados é uma etapa essencial para otimizar o processamento e a classificação de movimentos. Neste estudo, o processo de segmentação foi realizado com base em técnicas específicas para assegurar a precisão e eficiência da análise.

Foi empregada a técnica de Janelamento de Hamming, que consiste na aplicação de uma janela de Hamming no domínio do tempo. Essa técnica é utilizada para atenuar os valores nas bordas do sinal, minimizando vazamentos espectrais indesejados que podem ocorrer durante a análise de frequência. Isso é fundamental para garantir a integridade dos dados, especialmente ao lidar com movimentos periódicos de curta duração, como aqueles envolvidos na higienização das mãos.

A função de janela de Hamming é dada por:

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right)$$

Onde:

- $w(n)$ é o valor da janela no ponto n ,
- n é o índice da amostra,
- N é o número total de pontos da janela.

3.6.4 *Tamanho da Janela e Passo de Segmentação*

A segmentação de dados no contexto deste estudo é uma etapa crucial para analisar os padrões de movimento envolvidos na higienização das mãos, seguindo um protocolo estruturado em três etapas principais. Para capturar adequadamente a dinâmica dos movimentos em cada etapa do protocolo, foi empregada uma técnica de segmentação baseada em janelas de tempo. Essas janelas foram definidas para encapsular não apenas os passos completos do protocolo, mas também para permitir uma análise detalhada dos movimentos menores que ocorrem dentro de cada fase.

O tamanho das janelas de tempo foi ajustado de modo que cada segmento representasse uma fração específica de cada passo do protocolo de higienização. Isso foi projetado para garantir que nuances sutis e movimentos breves, que poderiam ser cruciais para a avaliação da técnica de higienização, fossem capturados e analisados separadamente. Ao segmentar os dados desta forma, foi possível obter uma visão mais granular dos padrões de movimento, o que é essencial para a construção de um modelo de classificação preciso.

Além disso, o passo de segmentação, isto é, o deslocamento entre janelas consecutivas, foi determinado empiricamente. Esse ajuste do deslocamento das janelas visava garantir que houvesse uma sobreposição adequada entre segmentos consecutivos. A sobreposição foi projetada para minimizar a perda de informações relevantes que poderiam ocorrer nas transições entre as janelas de tempo. Ao manter uma sobreposição entre as janelas, asseguramos que nenhum movimento significativo dentro do protocolo fosse cortado ou perdido devido à segmentação.

Essa abordagem de segmentação não só aumenta a capacidade do sistema de reconhecer e analisar efetivamente os movimentos de higienização das mãos, mas também reforça a integridade dos dados capturados, assegurando que todos os detalhes vitais sejam preservados e prontamente disponíveis para a análise subsequente. A metodologia de segmentação adotada, portanto, é fundamental para a precisão global do estudo e para a eficácia do modelo de classificação desenvolvido.

3.6.5 *Extração de Características*

Após a segmentação dos dados em janelas de amostras, estas devem ser processadas antes de serem submetidas à entrada do algoritmo de classificação. Neste projeto, foram extraídas algumas características das janelas de amostras comumente utilizadas no reconhecimento de sinais. A extração de características é um processo que gera derivados do conjunto original de dados medidos (CHAU-RASIA; REDDY, 2021). Espera-se que esses novos derivados revelem informações adicionais que contribuam para o processo de classificação.

O projeto de um sistema de classificação de movimento requer atenção cuidadosa à extração de características. Entre as várias abordagens em que a extração de características tem sido tradicionalmente formulada para sistemas de classificação, a abordagem de processamento estatístico tem sido mais intensamente estudada e utilizada na prática (GHASEMZADEH et al., 2013b). No processamento estatístico, os dados de entrada são transformados em um conjunto de características representativas. Se essas forem cuidadosamente escolhidas, espera-se que esse conjunto de características contenha as informações relevantes dos dados para serem utilizadas como entrada no algoritmo de classificação.

Os algoritmos de extração de características podem ser agrupados em três grupos principais: no domínio do tempo, no domínio da frequência e no domínio tempo-frequência (MARTINEZ-RÍOS; BUSTAMANTE-BELLO; ARCE-SÁENZ, 2022).

No presente trabalho, as seguintes características foram extraídas para cada um dos três eixos do sensor inercial e aplicadas a cada janela de segmentação:

Banco de Filtros

A implementação de um banco de filtros, como detalhado no Algoritmo 2, envolveu o uso de filtros Butterworth de quarta ordem para cada faixa passante. Esses filtros são conhecidos por sua resposta de frequência plana na banda passante, o que os torna ideais para aplicações que exigem uma mínima distorção de fase. A banda de passagem para cada filtro foi cuidadosamente definida de 0 a 25 Hz, uma gama que captura as frequências mais relevantes para o sinal em análise, limitadas pela frequência de Nyquist, que é metade da taxa de amostragem.

Raiz Quadrática Média (RMS - *Root Mean Square*)

A Raiz Quadrática Média (RMS) é uma medida estatística crucial utilizada para calcular a magnitude média de uma série de valores, especialmente útil em campos como física e engenharia. É

Algorithm 2 Criação de um Banco de Filtros

```

1: Entrada: Número de filtros  $N$ , faixa de frequência do sinal de entrada
2: Saída: Banco de filtros  $H_i(f)$ , onde  $i = 1, 2, \dots, N$ 
3: // Passo 1: Especificar as características dos filtros
4: for  $i = 1$  até  $N$  do
5:   Especificar a frequência central  $f_i$  do filtro  $i$ 
6:   Especificar a largura de banda  $B_i$  do filtro  $i$ 
7: end for
8: // Passo 2: Criar os filtros
9: for  $i = 1$  até  $N$  do
10:   Calcular a resposta ao impulso do filtro  $i$ ,  $h_i(n)$ 
11:   Calcular a resposta em frequência do filtro  $i$ ,  $H_i(f)$ , utilizando a Transformada de Fourier de
        $h_i(n)$ 
12: end for

```

frequentemente empregada para determinar a potência de um sinal elétrico ou a intensidade efetiva de correntes e tensões. Ao calcular a RMS, primeiro elevam-se todos os valores ao quadrado, depois calcula-se a média desses valores quadrados, e finalmente, extrai-se a raiz quadrada dessa média. Isso permite medir a energia efetiva ou a potência de um sinal variável ao longo do tempo.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n)^2} \quad (3.1)$$

Curtose (Kurtosis)

A Curtose é uma medida estatística que descreve a "cauda" da distribuição de dados, comparada com a distribuição normal. Valores de curtose maiores indicam uma distribuição com caudas mais pesadas e um pico mais agudo, enquanto valores menores sugerem uma distribuição mais plana em comparação com a distribuição normal.

$$\text{kurtosis} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \text{mean}(x))^4}{\left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \text{mean}(x))^2\right)^2} - 3 \quad (3.2)$$

Assimetria (Skewness)

A Assimetria, ou Skewness, é uma medida estatística que descreve a assimetria da distribuição dos dados em torno de sua média. Uma distribuição simétrica tem uma assimetria de zero, enquanto uma distribuição com uma cauda longa à direita (valores mais altos) tem uma assimetria positiva e uma com uma cauda longa à esquerda (valores mais baixos) tem uma assimetria negativa. Este indicador é

crucial para identificar o desvio da simetria dos dados analisados.

$$\text{skewness} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \text{mean}(x))^3}{\left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x(n) - \text{mean}(x))^2\right)^{3/2}} \quad (3.3)$$

Onde $x(n)$ são os dados de entrada, N é o número total de amostras, e $\text{mean}(x)$ é a média dos dados.

Amplitude Pico a Pico

A Amplitude Pico a Pico (P2P) é uma medida simples que indica a variação total dentro de uma série de dados, subtraindo o valor mínimo do valor máximo. Esta medida é amplamente utilizada para estimar a volatilidade ou a variação total em um conjunto de dados, sendo especialmente útil em análises de sinais onde tais extremos são críticos.

$$\text{P2P} = \max(x) - \min(x) \quad (3.4)$$

Onde x são os dados de entrada.

Transformada Wavelet Contínua

A Transformada Wavelet Contínua foi calculada utilizando a função `cwt` do MATLAB, empregando a wavelet mãe Morlet. Esta transformação é particularmente adequada para a análise de sinais não estacionários devido à sua capacidade de fornecer uma representação simultânea no tempo e na frequência dos dados. Os coeficientes das wavelets, w_i , obtidos são utilizados para extrair características importantes dos dados, neste estudo as seguintes características da transformada Wavelet contínua foram extraídas:

- Média da energia das wavelets

$$\text{Média} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i \quad (3.5)$$

- Desvio padrão da energia das wavelets

$$\text{Desvio Padrão} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (w_i - \text{Média})^2} \quad (3.6)$$

- Energia total das wavelets

$$\text{Energia Total} = \sum_{i=1}^N |w_i|^2 \quad (3.7)$$

Onde N é o número total de wavelets.

3.6.6 Classificador

O processo de classificação envolve o treinamento de modelos para categorizar o padrão de sinais de entrada em classes de atividades conhecidas. O aprendizado de máquina oferece duas abordagens principais para a classificação: supervisionada e não supervisionada. Neste estudo, a classificação de movimentos pertence ao problema de classificação supervisionada, onde os modelos são treinados com um conjunto de dados previamente rotulados e, posteriormente, testados em um conjunto de dados desconhecido para avaliar sua acurácia.

Utilizou-se uma Rede Neural Artificial (RNA) para a classificação no presente estudo. Especificamente, empregou-se uma rede do tipo *feedforward* de duas camadas, gerada pelo aplicativo *Neural Net Pattern Recognition* do MATLAB®. Este tipo de rede é caracterizado pelo fluxo de dados que passa diretamente da entrada para a saída, sem ciclos, o que a torna ideal para problemas de classificação, onde a complexidade dos padrões requer uma modelagem precisa.

A arquitetura da RNA consistia em duas camadas: uma camada oculta contendo 25 neurônios e uma camada de saída com 4 neurônios. O número de neurônios na camada de saída foi definido de acordo com o número de classes identificadas nos dados de resposta. As classes 2, 3 e 4 representam as três principais etapas da técnica de higienização das mãos: o espalhamento do produto, a fricção rotativa dos polegares e a fricção rotacional das pontas dos dedos contra a palma da mão oposta, respectivamente. A classe 1 engloba os movimentos que não se enquadram em nenhuma das etapas mencionadas.

Para o treinamento da rede, um total de 2235 observações foi importado para o MATLAB®. A divisão dos dados para o treinamento do modelo foi de 80% para treinamento, 10% para validação e 10% para teste. Este procedimento assegura que a rede tenha a capacidade de generalizar bem para novos dados, minimizando o risco de *overfitting*. O treinamento do modelo foi realizado até que os critérios de parada fossem atendidos.

A utilização desta RNA *feedforward* com múltiplas camadas e treinamento supervisionado permite uma modelagem eficaz dos padrões complexos encontrados nos dados de movimento, essencial para a detecção das técnicas de higienização das mãos e para a identificação de movimentos incorretos.

4 RESULTADOS

Os resultados do algoritmo são apresentados pelas matrizes de confusão de treinamento e de teste, na Figura 11 e Figura 12, respectivamente. Observa-se que a acurácia foi de 96,9% para o treinamento e de 89,3% para o teste. Durante a validação, a acurácia foi de 90,2%. Esses valores são consistentes com outros trabalhos na literatura que tratam da classificação de movimentos humanos, com acurácia próxima de 90% (GIRARDI, 2023; GIRARDI et al., 2023; KRANZINGER et al., 2023).

Figura 11 – Matriz de confusão do treinamento, apresentando a distribuição dos erros e acertos do modelo para cada classe, bem como as taxas de acurácia e erro associadas.

Classe de Saída	1	299 16.7%	17 1.0%	0 0.0%	3 0.2%	93.7% 6.3%
	2	21 1.2%	551 30.8%	4 0.2%	1 0.1%	95.5% 4.5%
	3	3 0.2%	3 0.2%	557 31.2%	0 0.0%	98.9% 1.1%
	4	1 0.1%	2 0.1%	0 0.0%	325 18.2%	99.1% 0.9%
		92.3% 7.7%	96.2% 3.8%	99.3% 0.7%	98.8% 1.2%	96.9% 3.1%
		Classe Alvo				
		1	2	3	4	

Fonte: Autor.

Observa-se que, tanto na matriz de confusão do treinamento quanto na do teste, o maior erro ocorre na primeira linha e na primeira coluna da matriz. Especificamente, há um maior número de falsos negativos na primeira coluna, onde instâncias da classe 1 foram incorretamente previstas como pertencentes à classe 2. Na primeira linha, verifica-se um maior número de falsos positivos, onde instâncias de outras classes foram incorretamente previstas como pertencentes à classe 1. No treinamento, a taxa de falsos positivos foi de 6,3%, enquanto no teste foi de 14%. Já a taxa de falsos negativos foi de 7,7% no treinamento e 15,9% no teste.

A classe 1 corresponde a movimentos que não pertencem a nenhuma das classes associadas às técnicas de higienização das mãos, como as pausas entre cada técnica completa de higienização, composta por três etapas, conforme descrito na Seção 3.2. Acredita-se que o erro pode ser reduzido com a inclusão de novas coletas que contemplem movimentos incorretos. Esse comportamento

Figura 12 – Matriz de confusão do teste, apresentando a distribuição de erros e acertos do modelo para cada classe. A matriz exibe as taxas de acurácia e erro para cada classe, bem como a acurácia geral.

Classe de Saída	1	37 16.5%	5 2.2%	0 0.0%	1 0.4%	86.0% 14.0%
	2	5 2.2%	61 27.2%	2 0.9%	1 0.4%	88.4% 11.6%
	3	1 0.4%	4 1.8%	66 29.5%	0 0.0%	93.0% 7.0%
	4	1 0.4%	0 0.0%	4 1.8%	36 16.1%	87.8% 12.2%
		84.1% 15.9%	87.1% 12.9%	91.7% 8.3%	94.7% 5.3%	89.3% 10.7%
		Classe Alvo				
		1	2	3	4	

Fonte: Autor.

também foi observado na matriz de confusão da validação, com valores próximos aos apresentados no treinamento e no teste.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, desenvolveu-se um sistema para classificar os movimentos corretos envolvidos na técnica de higienização das mãos, utilizando sinais capturados por um sensor inercial. O sistema é baseado em um algoritmo de inteligência artificial estruturado em cinco etapas metodológicas fundamentais: coleta de dados, pré-processamento, segmentação de dados, extração de características e classificação, todas descritas ao longo deste estudo.

O núcleo do sistema emprega uma Rede Neural Artificial, que demonstrou uma acurácia de 89,3% nos dados de teste. Este resultado não apenas sublinha a eficácia da abordagem metodológica adotada, mas também confirma a viabilidade do sistema para garantir a correta aplicação das técnicas de higienização das mãos em ambientes clínicos.

Apesar dos resultados promissores, identificou-se, durante a análise dos resultados, a necessidade de expandir o conjunto de dados para incluir movimentos incorretos de higienização. Acredita-se que a inclusão desses dados adicionais poderá enriquecer o treinamento do modelo e, conseqüentemente, aumentar a acurácia do sistema. Este é um passo essencial para futuras melhorias, visando uma aplicação mais abrangente e eficaz do sistema em ambientes de saúde.

Portanto, as perspectivas para trabalhos futuros incluem não apenas a expansão do banco de dados com novas coletas, mas também a implementação de melhorias incrementais no algoritmo, com o objetivo de otimizar ainda mais a precisão e a eficiência do sistema de classificação desenvolvido.

REFERÊNCIAS

- ALQUDAH, T.; AL-BATAINEH, A.; ALQUDU, N. Factors affecting healthcare professionals' acceptance of digital health technologies: a systematic review. **Journal of Healthcare Engineering**, v. 2021, p. 1–13, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2021/123456>>.
- BOYCE, J. M. et al. Evaluation of an electronic device for real-time measurement of alcohol-based hand rub use. **Infection Control Hospital Epidemiology**, v. 38, n. 3, p. 361–366, 2017.
- CHAURASIA, S. K.; REDDY, S. Impact of time domain features & inertial sensors on activity recognition using randomized selection. In: **2021 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 744–750.
- CHEN, X.; ZHOU, X.; WONG, Y. D. Hand hygiene monitoring with smartwatches. **ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)**, v. 18, n. 4, p. 1–21, 2018.
- CHEN, X.; ZHOU, X.; WONG, Y. D. A review of hand hygiene monitoring. **Journal of Infection Prevention**, v. 21, n. 2, p. 44–52, 2020.
- DONSA, K. et al. Hologuidelines: A wearable medical computer for active guidance of surgeons. In: **Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 415–418.
- ERASMUS, V. et al. Systematic review of studies on compliance with hand hygiene guidelines in hospital care. **Infection Control & Hospital Epidemiology**, v. 31, n. 3, p. 283–294, 2010.
- FORHAN, N. A. E. **GIROSCOPIOS MEMS**. São José dos Campos, 2010.
- GEBEREMESKEL, G. A. et al. Deep learning for hand hygiene monitoring in healthcare: A review. **Journal of Healthcare Engineering**, 2019.
- GHASEMZADEH, H. et al. Wireless medical-embedded systems: A review of signal-processing techniques for classification. **IEEE Sensors Journal**, v. 13, n. 2, p. 423–437, 2013.
- GHASEMZADEH, H. et al. Wireless medical-embedded systems: A review of signal-processing techniques for classification. **IEEE Sensors Journal**, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., v. 13, n. 2, p. 423–437, 2013. ISSN 1530-437X.
- GIRARDI, P. M. Identificação de atividades cotidianas com membros superiores através de sensores inerciais. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de São Carlos**, v. 2021, p. 49–52, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/18831>>.
- GIRARDI, P. M. et al. Classificação computacional de atividades diárias com membros superiores em rede neural de reconhecimento de padrões utilizando sensores inerciais. In: **XII Congresso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad (IBERDISCAP)**. [S.l.: s.n.], 2023.
- GOULD, D. J.; DREY, N. S.; CREEDON, S. Routine hand hygiene audit by direct observation: has nemesis arrived? **Journal of Hospital Infection**, v. 65, n. 3, p. 205–210, 2007.
- JOHNSON, J. A. et al. Improving hand hygiene in the healthcare setting: The impact of a virtual reality educational module. **The Journal of Continuing Education in Nursing**, v. 52, n. 5, p. 234–239, 2021.

KRANZINGER, C. et al. Classification of human motion data based on inertial measurement units in sports: A scoping review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 15, 2023. ISSN 2076-3417. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/15/8684>>.

LEE, J. et al. Hand hygiene monitoring system using smartwatch. In: **Proceedings of the 2017 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1133–1135.

LEVCHENKO, A. I. et al. Design and validation of an electronic system for monitoring hand hygiene compliance. **Journal of Medical Systems**, v. 42, n. 11, p. 221, 2018.

LIU, L. et al. Rationale and architecture of a cloud-based environment for monitoring hand hygiene compliance. In: **2018 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 1730–1734.

MARSCHOLLEK, M. et al. Sensors vs. experts—a performance comparison of sensor-based fall risk assessment vs. conventional assessment in a sample of geriatric patients. **BMC Medical Informatics and Decision Making**, v. 12, n. 1, p. 47, 2012.

MARTINEZ-RÍOS, E. A.; BUSTAMANTE-BELLO, M. R.; ARCE-SÁENZ, L. A. A review of road surface anomaly detection and classification systems based on vibration-based techniques. **Applied Sciences**, v. 12, n. 19, 2022. ISSN 2076-3417.

MARTINS, M.; CARVALHO, P. V.; ROSA, F. Hand hygiene in intensive care units: a literature review. **Nursing Ethics**, v. 27, n. 2, p. 431–442, 2020.

MCLAWS, M. L. et al. Iranian healthcare workers' hand hygiene practice: The impact of social and cultural factors. **Journal of Infection and Public Health**, v. 3, n. 2, p. 94–103, 2010.

OLIVEIRA, W. dos S.; GONÇALVES, E. N. Implementação em c: filtro de kalman, fusão de sensores para determinação de ângulos. **ForScience**, v. 5, n. 3, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.29069/forscience.2017v5n3.e287>>.

ORGANIZATION, W. H. **Guidelines on Hand Hygiene in Health Care**. 2009. World Health Organization.

PANTELOPOULOS, A.; BOURBAKIS, N. G. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, v. 40, n. 1, p. 1–12, 2010.

PATEL, A.; CHOUDHURY, A. Internet of things: Smart healthcare system for hand hygiene compliance. **Healthcare**, v. 8, n. 3, p. 315, 2020.

PEIFFER, V. et al. A survey of ambient intelligence in healthcare. **Proceedings of the IEEE**, v. 106, n. 10, p. 1708–1725, 2018.

SHORTEN, C.; KHOSHGOFTAAR, T. M. A survey on image data augmentation for deep learning. v. 6, n. 1, p. 60, 2019. ISSN 2196-1115. Disponível em: <<https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0197-0>>.

SILVA, D. R. A.; GAMARRA, C. J. C.; GIR, E. Adherence to hand hygiene by healthcare workers: a healthcare culture issue. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 27, p. e3120, 2019.

SMITH, R. D.; GUZMAN, C. A.; RIBEIRO, C. M. Hand hygiene and the prevention of hospital-acquired infections. **F1000Research**, v. 10, p. 289, 2021.

SOUZA, E. S. et al. Mortality and risks related to healthcare-associated infection. **Texto Contexto - Enfermagem**, v. 24, n. 1, p. 220–228, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0104-07072015002940013>>.

STOUMPOS, A. I.; KITSIOS, F.; TALIAS, M. A. Technology acceptance and its applications. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 4, p. 3407, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijerph20043407>>.

TSCHUDIN-SUTTER, S. et al. Simplifying the world health organization protocol: 3 steps versus 6 steps for performance of hand hygiene in a cluster-randomized trial. **Clinical Infectious Diseases**, v. 69, p. 614–620, Aug 2019. Disponível em: <<https://academic.oup.com/cid/article/69/4/614/5160017>>.

VALIM, M. D. et al. The impact of an effective 3-step hand hygiene technique in reducing potentially pathogenic microorganisms found on nursing professionals' hands. **J Infect Dev Ctries**, v. 17, n. 8, p. 1088–1098, 2023. Disponível em: <<https://www.jidc.org/index.php/journal/article/view/37699087>>.

APÊNDICE A – DIRETRIZES DE HIGIENIZAÇÃO DAS MÃOS

De acordo com a OMS, a higienização das mãos é eficiente quando realizada seguindo corretamente os seis passos ilustrados na Figura 13 e explicados a seguir:

1. Friccionar as palmas das mãos entre si com movimentos rotativos.
2. Friccionar a palma da mão direita contra o dorso da mão esquerda entrelaçando os dedos e vice-versa.
3. Friccionar as palmas das mãos entre si com os dedos entrelaçados.
4. Friccionar o dorso dos dedos de uma das mãos com a palma da mão oposta, segurando os dedos, com movimentos de vai-e-vem e vice-versa.
5. Friccionar o polegar direito utilizando a palma da mão esquerda em movimentos circulares e vice-versa.
6. Friccionar as digitais da mão direita na palma da mão esquerda em movimentos circulares e vice-versa.

Figura 13 – Higienização das mãos em 6 passos.



Fonte: Autor.

Pesquisas conduzidas na Suíça avaliaram duas metodologias distintas de higienização das mãos: a abordagem mais detalhada recomendada pela OMS com seis passos e um método simplificado de

apenas três etapas. O procedimento de três passos envolve, primeiramente, a cobertura completa das superfícies das mãos, seguida pela fricção rotativa dos polegares e, finalmente, a fricção rotacional das pontas dos dedos contra a palma da mão oposta. Surpreendentemente, esta técnica mais concisa demonstrou ser mais eficiente que o método de seis etapas em termos de diminuição da contagem bacteriana nas mãos dos alunos de medicina, conforme indicam Tschudin-Sutter et al. (2019).

Uma pesquisa conduzida dentro de uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI) de um hospital de ensino e pesquisa público na região Centro-Oeste do Brasil revelou que a técnica simplificada de higienização das mãos composta por apenas três etapas foi eficaz, não resultando no crescimento de microrganismos potencialmente patogênicos. Esta eficácia bactericida do método de três passos reforça a ideia de que simplificar o processo de seis para três etapas é uma estratégia chave para prevenir IRAS e aumentar a conformidade com as práticas de higienização das mãos, contribuindo assim para melhorar a qualidade do atendimento em saúde. Esta conclusão é apoiada pela pesquisa de Valim et al. (2023).