

TECNOLOGIAS VESTÍVEIS PARA MONITORAMENTO DA FUNÇÃO RESPIRATÓRIA: VARIÁVEIS, VALIDAÇÃO E LIMITAÇÕES

WEARABLE TECHNOLOGIES FOR RESPIRATORY FUNCTION MONITORING: VARIABLES, VALIDATION, AND LIMITATIONS

Eduarda Gabrielly Sampaio Tomaz¹, Fábio Machado Nobre Filho¹, Maria Heloísa Lopes Targino Albuquerque¹, Anna Luiza Mick Doss¹, Vinicius Minatel², Ana Luiza Exel².

1. Acadêmico do curso de Medicina do Centro Universitário de Maceió – UNIMA/Afya; 2. Professor do curso de Medicina do Centro Universitário de Maceió – UNIMA/Afya.

(anna.doss@alunos.afya.com.br)

Eixo Temático: 01

RESUMO

Introdução: O monitoramento contínuo da função respiratória é relevante para o acompanhamento da saúde e de doenças respiratórias. Nesse contexto, os dispositivos vestíveis permitem o monitoramento remoto e não invasivo de diferentes parâmetros, porém apresentam diferenças quanto à validação e às limitações de uso.

Objetivo: Identificar e caracterizar as tecnologias vestíveis utilizadas no monitoramento da função respiratória, descrevendo seus princípios de funcionamento, os parâmetros respiratórios avaliados, a validação e as principais limitações. **Método:** Foi realizada uma revisão integrativa da literatura nas bases *Scientific Electronic Library Online*, PubMed e Biblioteca Virtual em Saúde, incluindo artigos científicos publicados entre 2016 e 2026, nos idiomas português e inglês.

Resultados: Foram incluídos sete estudos que avaliaram diferentes dispositivos vestíveis, como sensores acústicos, piezoelétricos, de bioimpedância e sistemas multimodais. As tecnologias permitiram monitorar diferentes parâmetros respiratórios, com níveis variados de validação e limitações relacionadas à qualidade dos sinais, posicionamento dos sensores, autonomia energética e padronização.

Conclusão: As tecnologias vestíveis apresentam potencial para o monitoramento contínuo e não invasivo da função respiratória, permitindo a avaliação de diferentes parâmetros. Contudo, limitações relacionadas à validação, qualidade dos sinais, autonomia, conforto e padronização ainda restringem sua aplicação, sendo necessários estudos adicionais para ampliar sua confiabilidade e aplicabilidade clínica.

Palavras-chave: Dispositivos Vestíveis. Monitoramento Fisiológico. Sistema Respiratório. Telemonitoramento. Doenças Respiratórias.

ABSTRACT

Introduction: Continuous monitoring of respiratory health is relevant for the early identification of physiological changes and the follow-up of respiratory diseases. In this context, wearable devices are promising tools because they enable continuous, remote, and non-invasive monitoring. **Objective:** To identify and characterize wearable technologies used for respiratory function monitoring, describing their operating

principles, assessed respiratory parameters, validation, and main limitations. **Method:** An integrative literature review was conducted in the Scientific Electronic Library Online, PubMed, and Virtual Health Library databases, including scientific articles published between 2016 and 2026 in Portuguese and English. **Results:** Seven studies were included, evaluating different wearable devices, such as acoustic, piezoelectric, bioimpedance, and multimodal sensors. The technologies enabled monitoring of various respiratory parameters, with different levels of validation and limitations related to signal quality, sensor positioning, battery life, and standardization. **Conclusion:** Wearable technologies show potential for continuous, non-invasive respiratory function monitoring, enabling the assessment of multiple parameters. However, limitations related to validation, signal quality, battery life, comfort, and standardization remain, highlighting the need for further research to improve their reliability and clinical applicability.

Keywords: Wearable Devices. Physiological Monitoring. Respiratory System. Telemonitoring. Respiratory Diseases.

INTRODUÇÃO

O monitoramento contínuo da função e da saúde respiratória é um elemento indispensável na assistência à saúde, visto que o padrão ventilatório e a dinâmica pulmonar atuam como indicadores críticos para a avaliação do estado fisiológico global dos indivíduos¹⁻². Doenças respiratórias crônicas, como asma e doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), aliadas a manifestações agudas e infecções respiratórias, figuram entre as principais causas mundiais de morbimortalidade e demandam acompanhamento regular para mitigar exacerbações clínicas²⁻⁴. Contudo, os métodos tradicionais de mensuração baseiam-se em avaliações pontuais ou no uso de equipamentos com cabos, o que restringe a monitorização em ambientes mais restritos (ex. hospitais, consultórios, entre outros), reduzem também a mobilidade e pode gerar desconforto físico^{1,2}.

Nesse cenário, os dispositivos vestíveis (*wearables*) emergem como uma alternativa tecnológica promissora para viabilizar o rastreamento fisiológico de forma contínua, passiva, remota e não invasiva^{1,2,4}. Por meio da incorporação de sensores miniaturizados, piezoelétricos, acústicos, tecidos inteligentes (*e-textiles*) e adesivos eletrônicos, essas ferramentas possibilitam a captura em tempo real de uma ampla gama de parâmetros vitais^{1,2,4}. A aplicação dessas soluções permite acompanhar desde a frequência respiratória, sons pulmonares e nível de atividade física até dados complexos de trocas gasosas, reduzindo a sobrecarga das rotinas assistenciais e viabilizando a identificação precoce de descompensações sem interferir excessivamente na rotina do indivíduo^{1,2,4}.

Apesar dos avanços técnicos, a incorporação dessas tecnologias à rotina assistencial ainda enfrenta desafios técnicos, clínicos e operacionais, incluindo a necessidade de validação em ambientes reais, autonomia energética, usabilidade e ocorrência de alarmes

falso-positivos, que podem sobrecarregar a tomada de decisão médica^{1,2,4}. Além disso, é necessário avaliar o desempenho dessas tecnologias em diferentes perfis de usuários, desde pacientes pediátricos em cuidados intensivos e adultos em contexto ocupacional até idosos em instituições de longa permanência, considerando simultaneamente precisão, conforto, autonomia e aceitação pelo usuário^{2,4,5}.

Diante da rápida evolução da área, o presente estudo tem como objetivo, por meio de uma revisão integrativa, identificar e caracterizar tecnologias vestíveis utilizadas no monitoramento da função respiratória, abordando seu funcionamento, parâmetros avaliados, validação e principais limitações.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura. O levantamento bibliográfico foi realizado por meio de buscas nas bases de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO), Pubmed e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS), utilizando o operador booleano “AND” como estratégia de busca nas bases de dados. Os descritores utilizados como base de pesquisa foram “*Wearable Devices*”, “*Physiological Monitoring*” e “*Respiratory System*”. Os critérios estabelecidos para a inclusão dos estudos foram: ser um artigo científico original, com delineamento observacional, qualitativo ou experimental.

Os critérios estabelecidos para a inclusão dos estudos foram: ser um artigo científico que o idioma fosse português ou inglês e que estivessem inseridos no recorte temporal de 2016 a 2026 (últimos 10 anos); utilizou-se como critério de exclusão artigos de revisão, teses, dissertações e artigos que não abordassem a temática proposta.

O processo de seleção dos estudos foi feito mediante leitura dos títulos, em seguida dos resumos e, posteriormente, dos artigos na íntegra. A apresentação dos dados e discussão ocorreu de forma descritiva, partindo da seguinte questão norteadora: “De que forma os dispositivos vestíveis contribuem para o monitoramento da saúde respiratória dos indivíduos?”. Após a análise dos artigos selecionados, foi realizada uma síntese dos aspectos em comum e das diferenças que os estudos apresentaram a respeito da temática em questão. Os estudos foram analisados criticamente por meio de leitura completa dos artigos.

RESULTADOS

Os estudos analisados identificaram diferentes tipos de dispositivos vestíveis desenvolvidos para a aquisição contínua e não invasiva de sinais relacionados à função respiratória, incluindo sensores acústicos, piezoelétricos, de bioimpedância elétrica, sensores

ópticos para oximetria e sistemas multimodais capazes de integrar diferentes sinais fisiológicos. Esses dispositivos podem ser posicionados sobre a pele, especialmente na região torácica, ou incorporados a acessórios, como máscaras e respiradores, permitindo o monitoramento dos sinais respiratórios de forma contínua e remota⁶⁻¹². Entre as tecnologias avaliadas, destacaram-se os sensores acústicos e piezoelétricos, capazes de detectar sons e vibrações produzidos durante a respiração.

Um sistema vestível baseado em sensores piezoelétricos flexíveis demonstrou capacidade de registrar sinais respiratórios com boa qualidade, possibilitando a aquisição contínua de sons da respiração e de outros sinais fisiológicos⁶. De forma semelhante, um sistema multimodal sem fio combinou sensores para aquisição de sons pulmonares e sinais eletrocardiográficos, permitindo identificar diferentes padrões respiratórios, como respiração superficial e tosse, com diferenças estatisticamente significativas nos sinais acústicos ($p=0,003$) e eletrocardiográficos ($p=0,004$)⁷.

Outra tecnologia identificada foi a pneumografia por impedância elétrica, baseada na detecção das alterações da impedância torácica decorrentes da movimentação de ar durante o ciclo respiratório. Quando associada à análise de sons pulmonares, essa tecnologia possibilitou a avaliação simultânea de diferentes características da respiração. Em um estudo realizado com crianças com exacerbação aguda da asma, a combinação desses sensores permitiu identificar alterações nos parâmetros respiratórios em comparação com indivíduos saudáveis, além de acompanhar a tendência de normalização dos sinais durante a recuperação clínica¹⁰.

Também foram identificados dispositivos destinados ao monitoramento da oxigenação e da eliminação de dióxido de carbono. Um protótipo vestível foi desenvolvido para realizar a mensuração simultânea da saturação periférica de oxigênio (SpO_2) e do dióxido de carbono transcutâneo ($PtcCO_2$). O dispositivo foi capaz de acompanhar alterações do $PtcCO_2$ durante episódios de hiperventilação, apresentando resolução de até 1 mmHg. Seus resultados foram comparados com dispositivos clínicos comerciais, demonstrando a viabilidade da integração de sensores miniaturizados para o monitoramento contínuo de parâmetros relacionados às trocas gasosas⁸.

De maneira geral, os dispositivos avaliados permitiram a obtenção de diferentes variáveis respiratórias e fisiológicas, incluindo frequência respiratória, SpO_2 , $PtcCO_2$, sons pulmonares, padrão ventilatório, tosse e volume corrente, além de variáveis complementares, como frequência cardíaca, sinais eletrocardiográficos e atividade física. A utilização de sensores multimodais possibilitou a aquisição simultânea de diferentes sinais, ampliando a

caracterização do estado respiratório e permitindo a identificação de alterações que poderiam não ser detectadas por um único parâmetro⁶⁻¹².

Quanto à validação, os estudos apresentaram diferentes níveis de avaliação, com alguns sistemas comparados a dispositivos clínicos ou métodos de referência e outros concentrados na demonstração da capacidade técnica de aquisição dos sinais. O protótipo para mensuração de PtcCO₂ e SpO₂ apresentou resultados comparáveis aos obtidos por dispositivos clínicos comerciais, sustentando a viabilidade do uso de sensores vestíveis para o acompanhamento desses parâmetros⁸, enquanto os sistemas multimodais demonstraram capacidade de diferenciar padrões respiratórios por meio da análise combinada de sinais acústicos e fisiológicos⁷.

CONCLUSÃO

Diante dos achados, conclui-se que as tecnologias vestíveis apresentam potencial para o monitoramento contínuo e não invasivo da função respiratória, utilizando diferentes sensores capazes de captar múltiplos parâmetros, como frequência respiratória, SpO₂, PtcCO₂, sons pulmonares e padrão ventilatório. Entretanto, os diferentes níveis de validação e as limitações relacionadas à qualidade dos sinais, posicionamento dos sensores, calibração, autonomia energética, conforto e padronização ainda representam desafios. Assim, são necessários estudos adicionais para aprimorar a validação, a confiabilidade e a aplicabilidade dessas tecnologias em condições reais de monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aliverti A. Wearable technology: role in respiratory health and disease. *Breathe (Sheff)*. 2017 Jun;13(2):e27-e36. doi:10.1183/20734735.008417.
2. El Gharbi M, Fernández-García R, Gil I. Wireless communication platform based on an embroidered antenna-sensor for real-time breathing detection. *Sensors (Basel)*. 2022 Nov 10;22(22):8667. doi:10.3390/s22228667.
3. World Health Organization. *Chronic respiratory diseases [Internet]*. Geneva: World Health Organization; 2026. Available from: <https://www.who.int/health-topics/chronic-respiratory-diseases>
4. Grootegoed LC, Pol MC, Hertogh CMP, Kolodziej LM, de Jong MD, Schinkel J, *et al*. Health care professionals' perspectives on the use of a wearable device for early detection and continuous vital signs monitoring of acute respiratory infections in nursing homes: qualitative study. *JMIR Nurs*. 2026;9:e84436. doi:10.2196/84436.

5. World Health Organization. *Ageing and health [Internet]*. Geneva: World Health Organization; 2025. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>
6. Han L, Liang W, Xie Q, Zhao J, Dong Y, Wang X, *et al*. Health monitoring via heart, breath, and Korotkoff sounds by wearable piezoelectret patches. *Adv Sci (Weinh)*. 2023 Oct;10(28):e2301180. doi:10.1002/advs.202301180.
7. Moon KS, Lee SQ. A wearable multimodal wireless sensing system for respiratory monitoring and analysis. *Sensors (Basel)*. 2023 Jul 29;23(15):6790. doi:10.3390/s23156790.
8. Golemi K, Apinis E, Isiksalan I, Vakhter V, Guler U. A wearable prototype measuring PtcCO₂ and SpO₂. *IEEE Biomed Circuits Syst Conf*. 2024 Oct 23;2024:1-4. doi:10.1109/BioCAS61083.2024.10798377.
9. Nankivell C, *et al*. Evaluating a remote monitoring program for respiratory diseases: prospective observational study. *JMIR Form Res*. 2023;7:e10709787.
10. Sanchez-Perez JA, Berkebile J, Jordan N, Maher K, Inan O, Grunwell J. Monitoring respiratory health in children with acute asthma using wearable electrical bioimpedance and breath sounds: observational case-control study. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2026;14:e72979. doi:10.2196/72979.
11. Oliveira TRA, Fernandes ATdNSF, Santino TA, Menescal FEPdS, Nogueira PAdMS. Effects of using wearable devices to monitoring physical activity in pulmonary rehabilitation programs for chronic respiratory diseases: a systematic review protocol. *PLoS One*. 2024 Jul 26;19(7):e0308109. doi:10.1371/journal.pone.0308109.
12. Devkota J, Sharma HN. Wearable sensors for respiratory protection in occupational settings. *J Safety Res*. 2026 Jun;97:218-234. doi:10.1016/j.jsr.2026.02.006.