

**AVANÇOS DA TECNOLOGIA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO CUIDADO DE
ÚLCERAS NO PÉ DIABÉTICO**

***THE ADVANCES OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN THE CARE OF
DIABETIC FOOT ULCERS***

***LOS AVANCES DE LA TECNOLOGÍA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL CUIDADO DE
LAS ÚLCERAS DEL PIE DIABÉTICO***

¹Priscila Peruzzo Apolinario

²Flávia Cristina Zanchetta

³Camila Quinetti Paes

Pittella

⁴Maria Helena Melo Lima

¹Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Enfermagem. Campinas, SP, BR. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5134-6963>

²Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Enfermagem. Campinas, SP, BR. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5934-9683>

³Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Faculdade de Enfermagem. Juiz de Fora, MG, BR. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3431-5927>

⁴Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Enfermagem. Campinas, SP, BR. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6521-8324>

Autor correspondente

Priscila Peruzzo Apolinario

Universidade Estadual de Campinas

Unicamp Rua Tessália Vieira de Camargo, 126.

Cidade Universitária Campinas/SP

CEP: 13083-887

contato: +55 (19) 3521-8833 - E-mail: priscilapolinario@gmail.com

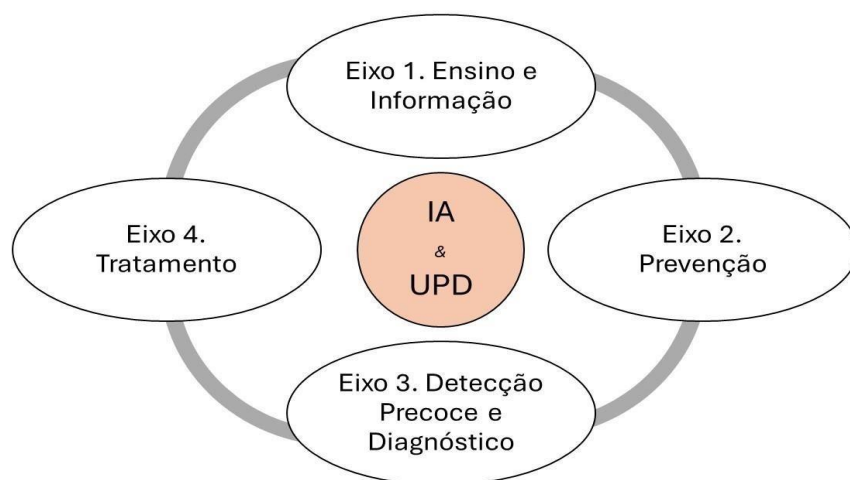
Submissão: 12-08-2024

Aprovado: 15-07-2024

INTRODUÇÃO

O diabetes mellitus (DM) é uma condição metabólica crônica caracterizada pela falta de produção de insulina ou pela não utilização deste hormônio de forma eficiente pelo corpo, resultando em hiperglicemia⁽¹⁾. A Federação Internacional de Diabetes estima que em 2021 morreram mais de 6,7 milhões de pessoas por problemas relacionados ao DM e prevê que em 2030 haverá no mundo 643 milhões de pessoas com DM, estimando que os custos financeiros relacionados a este irão ultrapassar um trilhão de dólares⁽¹⁾. No Brasil, o número de pessoas vivendo com DM é de aproximadamente 20 milhões de pessoas, o que representa 10% da população brasileira⁽²⁾. Sabe-se ainda que essa estimativa sofre um aumento gradativo a cada ano, devido a determinantes de saúde relacionados a hábitos de vida e as consequências dele⁽¹⁾, assim como pelo envelhecimento populacional⁽²⁾. Por fim, temos que a úlcera de pé diabético (UPD) é a complicação mais prevalente relacionada ao DM e é resultado de dano microvascular com neuropatia e/ou dano macrovascular na forma de doença arterial periférica⁽³⁾. Na UPD o reparo tecidual é desordenado o que ocasiona maior tempo de cicatrização, maiores custos no tratamento e menor qualidade de vida⁽³⁾.

Paralelamente a este cenário, ocorre uma revolução tecnológica mundial associada à inteligência artificial (IA) caracterizada por soluções digitais com potencial para impactar os sistemas de saúde, o comportamento humano e as relações de cuidado nesta área. Atualmente, aplicações de IA estão sendo desenvolvidas no cuidado de feridas para prevenção, detecção precoce, estratificação e análise de fatores de risco, diagnóstico, tratamento, previsão de resultados e avaliação de prognóstico de feridas⁽⁴⁻⁷⁾. Além disso, a IA tem sido empregada em sistemas de monitoramento remoto, permitindo o acompanhamento contínuo de pacientes com condições crônicas, e na automação de tarefas administrativas, liberando os profissionais de saúde para se concentrarem no cuidado direto ao paciente. Deste modo, considerando o potencial tecnológico do uso da IA no cuidado de feridas, este artigo abordará o uso colaborativo da IA no ensino, na prevenção, na detecção precoce, no diagnóstico e no tratamento das UPD por meio de uma discussão estruturada em 4 eixos, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Eixos de cuidado de UPD e IA.

Fonte: Elaborado pelos autores. 2024

Eixo 1. Ensino e Informação

Por meio da utilização de IA, é possível favorecer o raciocínio clínico e tomada de decisão de profissionais de saúde no cuidado de UPD. Em 2022, Bender e colaboradores⁽⁸⁾ desenvolveram um protótipo de sistema de aprendizagem baseado em evidências e operado por algoritmo que calcula uma pontuação de similaridade entre casos novos e casos armazenados na base de casos de UPD (em relação a seis variáveis: necrose, tamanho da ferida, granulação, esfacelo, pele seca e idade), pautando o protótipo na estratégia de raciocínio baseado em casos e aplicando o conhecimento de casos previamente resolvidos para resolver novos problemas, simulando o que ocorre na prática clínica quando é realizada a discussão de casos entre profissionais de saúde. Do mesmo modo, é possível construir estratégias de ensino

com IA para favorecer a literacia em saúde. Em 2024, Mashatian⁽⁹⁾ construiu um modelo de IA baseado em linguagem com o objetivo de oferecer informações sobre diabetes e cuidados com os pés de pessoas com diabetes para leigos com nível de alfabetização de até oito anos e alcançou 98% de precisão nas respostas do algoritmo para perguntas sobre o tema.

Eixo 2. Prevenção

A termografia infravermelha é um método rápido, não invasivo e sem contato que permite a visualização da distribuição da temperatura plantar do pé. Em condições anormais, a circulação sanguínea nos membros inferiores estará significativamente reduzida, indicando menor aporte circulatório, o que afetará o padrão da temperatura plantar⁽¹⁰⁾. Em

UPD a associação de sistemas de diagnósticos auxiliados por computador com termografia infravermelha mostra-se promissora para superar limitações como a percepção visual humana, a falta de conhecimento e a falta de recursos humanos⁽¹⁰⁻¹²⁾. Outras possibilidades de IA para prevenção estão sendo realizadas, como o uso de Rede Neural Artificial para predição do risco de pacientes com DM2 desenvolverem UPD, pautado na ausência ou presença de haplótipos do gene TLR4⁽¹³⁾ Smartphonebased wound assessment system for patients with diabetes; uso de aprendizado de máquinas não supervisionado para rastrear pacientes com DM e com potencial para desenvolverem UPD, direcionando esses indivíduos de alto risco para acompanhamento prioritário na prevenção do pé diabético⁽¹⁴⁾.

Eixo 3. Detecção Precoce e Diagnóstico

O diagnóstico e a detecção de feridas em membros inferiores de pessoas com diabetes requer habilidade e conhecimento científico, no entanto, esses conhecimentos e experiência profissional não estão presentes em todas as regiões do mundo. Dentre as contribuições potenciais da IA para o atendimento ao paciente com diabetes está o reconhecimento e a análise de UPD. Usando métodos computadorizados como visão computacional e redes neurais é possível realizar o diagnóstico de UPD por meio de fotografias de lesões dos membros inferiores por dispositivos móveis em aplicativos com algoritmos avançados de IA^(15,16). Do mesmo modo, já é possível avaliar a presença de

infecção e isquemia em UPD, fatores de risco para amputação e a necessidade de revascularização de membros inferiores em pessoas com DM^(17,18).

Eixo 4. Tratamento

Para avaliar os diversos fatores envolvidos no processo de cicatrização de UPDs, tais como questões físicas, fisiológicas e bioquímicas de feridas, várias tecnologias de biossensor inteligente relacionadas à IA têm sido utilizadas. A maioria dos curativos in situ desenvolvidos baseia-se na detecção visual, movimento, odor, pH, umidade, temperatura, pressão, oxigênio, glicose, ácido úrico e colonização bacteriana⁽¹⁹⁾. Como exemplo, foi desenvolvido com IA um hidrogel condutor com nanopartículas nomeado de PDA@Ag NPs/CPHs com atividade antibacteriana e monitoramento de movimentos em grande escala do corpo humano em tempo real. Além disso, os PDA@Ag NPs/CPHs têm um efeito terapêutico significativo em feridas de pés de pessoas com diabetes, promovendo a angiogênese, modulando a deposição de colágeno, inibindo o crescimento bacteriano e controlando a infecção da ferida⁽²⁰⁾. Outra possibilidade de tratamento, relaciona-se com o cuidado dos pés. Devido às alterações causadas pela neuropatia, os membros inferiores estão sujeitos a formação de calos, perda sensorial e a deformidade física do pé, o que favorece gradualmente a formação de úlcera. Assim, palmilhas e sapatos personalizados são itens fundamentais para o tratamento e a

prevenção de lesões, e estes podem ser personalizados por sistemas de computador baseados em IA⁽²¹⁾, oferecendo cuidado individualizado e de qualidade com impacto direto na qualidade de vida.

Conclusão

A IA tem um futuro promissor no ensino e informação, na prevenção, na detecção precoce da lesão, no diagnóstico e no tratamento de UPD, com benefícios diretos para os sistemas de saúde, para os pacientes e para os profissionais que prestam assistência às feridas de pessoas com diabetes. Contudo, ressalta-se que será necessário adaptação e empenho coletivo pelos membros da sociedade para o uso dos potenciais benefícios da IA e deste modo ocorrer uma real melhoria no cuidado de UPD favorecida pela IA.

REFERÊNCIAS

- International Diabetes Federation. *IDF Diabetes Atlas*. 10 edição. Bruxelas, Bélgica; 2021.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo Demográfico 2022*. Rio de Janeiro: IBGE; 2023.
- Waibel FWA, Uçkay I, Soldevila-Boixader L, Sydler C, Gariani K. Current knowledge of morbidities and direct costs related to diabetic foot disorders: a literature review. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024; 17;14:1323315.
- Sarp S, Kuzlu M, Wilson E, Cali U, Guler O. The Enlightening Role of Explainable Artificial Intelligence in Chronic Wound Classification. *Electronics (Basel)*. 2021;10(12):1406.
- Barakat-Johnson M, Jones A, Burger M, Leong T, Frotjold A, Randall S, et al. Reshaping wound care: Evaluation of an artificial intelligence app to improve wound assessment and management amid the COVID-19 pandemic. *Int Wound J*. 2022;19(6):1561–77.
- Tehsin S, Kausar S, Jameel A. Diabetic wounds and artificial intelligence: A mini-review. *World J Clin Cases*. 2023;11(1):84–91.
- Cross K, Harding K. Risk profiling in the prevention and treatment of chronic wounds using artificial intelligence. *Int Wound J*. 2022;19(6):1283–5.
- Bender C, Cichosz SL, Malovini A, Bellazzi R, Pape-Haugaard L, Hejlesen O. Using Case-Based Reasoning in a Learning System: A Prototype of a Pedagogical Nurse Tool for Evidence-Based Diabetic Foot Ulcer Care. *J Diabetes Sci Technol*. 2022;16(2):454–9.
- Mashatian S, Armstrong DG, Ritter A, Robbins J, Aziz S, Alenabi I, et al. Building Trustworthy Generative Artificial Intelligence for Diabetes Care and Limb Preservation: A Medical Knowledge Extraction Case. *J Diabetes Sci Technol*. 2024; 20:19322968241253568.
- Adam M, Ng EYK, Tan JH, Heng ML, Tong JWK, Acharya UR. Computer aided diagnosis of diabetic foot using infrared thermography: A review. *Comput Biol Med*. 2017;91:326–36.
- Liu C, van Netten JJ, van Baal JG, Bus SA, van der Heijden F. Automatic detection of diabetic foot complications with infrared thermography by asymmetric analysis. *J Biomed Opt*. 2015;20(2):026003.
- Faus Camarena M, Izquierdo-Renau M, Julian-Rochina I, Arrébola M, Miralles M. Update on the Use of Infrared Thermography in the Early Detection of Diabetic Foot Complications: A Bibliographic Review. *Sensors*. 2023;24(1):252.
- Singh K, Singh VK, Agrawal NK, Gupta SK, Singh K. Association of Toll-Like



- Receptor 4 Polymorphisms with Diabetic Foot Ulcers and Application of Artificial Neural Network in DFU Risk Assessment in Type 2 Diabetes Patients. *Biomed Res Int.* 2013;2013:1–9.
14. Ferreira ACBH, Ferreira DD, Oliveira HC, Resende IC de, Anjos A, Lopes MHB de M. Competitive neural layer-based method to identify people with high risk for diabetic foot. *Comput Biol Med.* 2020;120:103744.
 15. Yap MH, Chatwin KE, Ng CC, Abbott CA, Bowling FL, Rajbhandari S, et al. A New Mobile Application for Standardizing Diabetic Foot Images. *J Diabetes Sci Technol.* 2018;12(1):169–73.
 16. Wang L, Pedersen PC, Strong DM, Tulu B, Agu E, Ignatz R. Smartphone-Based Wound Assessment System for Patients With Diabetes. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2015;62(2):477–88.
 17. Goyal M, Reeves ND, Davison AK, Rajbhandari S, Spragg J, Yap MH. DFUNet: Convolutional Neural Networks for Diabetic Foot Ulcer Classification. *IEEE Trans Emerg Top Comput Intell.* 2020;4(5):728–39.
 18. Yap MH, Cassidy B, Pappachan JM, O’Shea C, Gillespie D, Reeves ND. Analysis Towards Classification of Infection and Ischaemia of Diabetic Foot Ulcers. In: 2021 IEEE EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI). IEEE; 2021. p. 1–4.
 19. Kaur D, Purwar R. Nanotechnological advancement in artificial intelligence for wound care. In: *Nanotechnological Aspects for Next-Generation Wound Management.* Elsevier; 2024. p. 281–318.
 20. Zhao Y, Li Z, Song S, Yang K, Liu H, Yang Z, et al. Skin-Inspired Antibacterial Conductive Hydrogels for Epidermal Sensors and Diabetic Foot Wound Dressings. *Adv Funct Mater.* 2019;29(31).
 21. Germani M. Shoes Customization Design Tools for the “Diabetic Foot.” *Comput Aided Des Appl.* 2011;8(5):693–711.

Fomento e Agradecimento: Nada a declarar

Contribuição dos autores

Priscila Peruzzo Apolinario: Contribuiu substancialmente na concepção e/ou no planejamento do estudo; na redação e/ou revisão crítica e aprovação final da versão submetida;

Flávia Cristina Zanchetta: contribuiu na redação e/ou revisão crítica e aprovação final da versão submetida;

Camila Quinetti Paes Pittella: contribuiu na redação e/ou revisão crítica e aprovação final da versão submetida;

Maria Helena Melo Lima: Contribuiu substancialmente na concepção e/ou no planejamento do estudo; na redação e/ou revisão crítica e aprovação final da versão submetida.

Declaração de conflito de interesses: Nada a declarar

Editor Científico: Ítalo Arão Pereira Ribeiro.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0778-1447>