



C A P Í T U L O 2

ANÁLISE DE ELETROCARDIOGRAMAS COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: AVANÇOS, APLICAÇÕES E DESAFIOS NO DIAGNÓSTICO

Gabrielle Rodrigues Caixeta

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário
de Patos de Minas- UNIPAM, MG-Brasil.

Karina Vieira de Melo

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário
de Patos de Minas- UNIPAM, MG-Brasil.

Natália Silva Tolentino

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário
de Patos de Minas- UNIPAM, MG-Brasil.

Rebeca Brasileiro

Discente do Curso de Medicina do Centro Universitário
de Patos de Minas- UNIPAM, MG-Brasil.

Karine Cristine de Almeida

Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário
de Patos de Minas- UNIPAM, MG-Brasil.

Karoline Lopes Caixeta

Docente do Curso de Medicina do Centro Universitário
de Patos de Minas- UNIPAM, MG-Brasil.

As doenças cardiovasculares configuram-se como a principal causa de mortalidade entre as doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) no Brasil, ocupando posição de destaque nos indicadores nacionais de saúde (Oliveira *et al.*, 2024). Em escala global, essas enfermidades representam um dos maiores desafios sanitários, não apenas pela alta taxa de óbitos, mas também pelas consequências sociais, econômicas e pela perda de qualidade e expectativa de vida da população (Oliveira; Moura; Silva, 2023).

Estima-se que cerca de 30% das mortes por DCNT no país tenham origem em causas cardiovasculares, cuja incidência está relacionada, em grande parte, a fatores de risco evitáveis, de acordo com dados do Ministério da Saúde (Brasil, 2023).

Esse cenário representa uma significativa sobrecarga para o sistema de saúde pública, tornando essencial a compreensão do impacto dessas patologias, a fim de que possam ser abordadas de maneira mais eficaz e menos onerosa (Barbosa *et al.*, 2025).

O eletrocardiograma (ECG), desenvolvido em 1902, é uma ferramenta amplamente utilizada na prática clínica por ser um exame não invasivo e com capacidade de avaliar a atividade elétrica do coração. Seu uso é fundamental para a identificação de arritmias, infartos do miocárdio e isquemias, contribuindo diretamente para o diagnóstico e acompanhamento de diversas condições cardíacas. Os achados obtidos por meio do ECG orientam decisões terapêuticas e permitem o monitoramento da eficácia das intervenções adotadas (Muzammil *et al.*, 2024).

No entanto, erros na interpretação de ECGs ainda são frequentes, resultantes de diferentes vieses, desatenção a detalhes sutis ou insuficiente capacitação dos profissionais responsáveis pela análise. Essa limitação levanta preocupações quanto à aplicabilidade dos achados, uma vez que interpretações incorretas podem acarretar prejuízos clínicos significativos (Di Costanzo *et al.*, 2024).

Com o advento da inteligência artificial (IA) aplicada à análise de ECGs, esse exame tradicional e amplamente utilizado passou a dispor de uma abordagem mais precisa e padronizada. A IA tem se mostrado capaz de identificar alterações discretas que muitas vezes escapam à observação humana, transformando o ECG em uma ferramenta preditiva não apenas de doenças cardíacas, mas também de outras comorbidades (Attia *et al.*, 2021).

Dessa forma, este capítulo tem como objetivo explorar os avanços, as aplicações práticas e os desafios éticos e técnicos relacionados ao uso da inteligência artificial na análise de eletrocardiogramas, destacando sua importância no diagnóstico e na evolução da medicina cardiovascular.

APRENDIZADO PROFUNDO E O ECG

O aprendizado profundo (*Deep Learning*) é um ramo do aprendizado de máquina que utiliza arquiteturas compostas por múltiplas camadas, aplicando sucessivas transformações não lineares nos dados. Essas arquiteturas permitem a modelagem de padrões complexos, sendo construídas a partir da combinação de Redes Neurais Artificiais (*Artificial Neural Networks* – ANNs) (Marinho, 2021).

As redes neurais profundas (DNNs), utilizadas em sistemas de IA, são formadas por camadas de nós interconectados, onde cada nó atua como um neurônio artificial. Esses nós processam entradas por meio de uma função matemática que envolve pesos ajustáveis e uma função de ativação não linear. Os dados fluem sequencialmente entre as camadas, de forma que cada camada transforma as entradas e transmite a saída para a próxima, até que a última camada gere o resultado final (Attia *et al.*, 2021).

Para treinar essas redes, utiliza-se o algoritmo chamado *Backpropagation Through Time* (BPTT), que ajusta os pesos ao longo da rede com o objetivo de minimizar a função de custo. Esse ajuste é feito acumulando os gradientes da função de erro ao longo do tempo. Contudo, em sequências muito longas, é comum que ocorram problemas como o desvanecimento ou a explosão do gradiente, o que pode dificultar a convergência do modelo durante o treinamento (Santana, 2022).

Esse tipo de abordagem é especialmente útil na área médica, como na análise de eletrocardiogramas (ECGs). Redes neurais profundas podem ser aplicadas para auxiliar no diagnóstico automático a partir desses sinais, contribuindo para uma interpretação mais rápida e precisa por parte dos profissionais de saúde (Garzon; Barbosa, 2023).

Entre as arquiteturas utilizadas, destacam-se as redes neurais convolucionais (CNNs), que se mostram eficazes na detecção de padrões temporais e espaciais em sinais de ECG. Esses modelos têm sido empregados com sucesso na identificação de arritmias, classificação de batimentos anormais e previsão de doenças cardíacas estruturais. Estudos mostram que modelos baseados nessa abordagem podem superar especialistas humanos em tarefas diagnósticas específicas, desde que treinados com conjuntos de dados amplos e variados (Qayyum *et al.*, 2025).

Além disso, o aprendizado profundo também tem sido explorado como ferramenta para viabilizar o monitoramento contínuo de sinais de ECG. Essa integração permite capturar arritmias transitórias ou intermitentes, que muitas vezes passam despercebidas em registros de curta duração. A análise prolongada do ritmo cardíaco fornece uma avaliação mais completa da função elétrica do coração e favorece intervenções mais precoces. Esse recurso, aliado a sistemas de telemedicina, amplia o acesso ao cuidado, especialmente em contextos com limitações geográficas ou estruturais. (Katal *et al.*, 2023).

APLICAÇÕES DA IA NA ANÁLISE DE ECGS

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na cardiologia tem demonstrado um impacto crescente, não apenas nos procedimentos terapêuticos, mas também nas ferramentas diagnósticas, como a análise de ECGs. Na cardiologia intervencionista, a IA vem sendo empregada para oferecer suporte em tempo real durante procedimentos complexos, otimizando o posicionamento de dispositivos e reduzindo riscos operacionais. Essa mesma capacidade analítica pode ser direcionada à interpretação de ECGs, em que algoritmos inteligentes são capazes de detectar alterações discretas nos sinais elétricos cardíacos, permitindo diagnósticos precoces e maior precisão clínica (Cabral *et al.*, 2024).

Segundo Castro e Borges, 2024, no contexto mais amplo da prática médica, observa-se que a IA se posiciona como uma aliada estratégica ao médico, sobretudo na triagem e no reconhecimento automatizado de padrões em exames complementares. Ao ser aplicada à leitura de ECGs, a IA potencializa a acurácia diagnóstica e promove a redução de falhas humanas, além de oferecer suporte contínuo e personalizado na monitorização eletrocardiográfica, favorecendo intervenções mais oportunas e assertivas.

Complementando essa perspectiva, a utilização da IA em processos de detecção e segmentação automática de estruturas demonstra seu valor na análise minuciosa de dados clínicos. Essa abordagem, embora comumente aplicada à imagem médica, é plenamente transponível para sinais como o ECG, nos quais algoritmos são capazes de segmentar ondas e complexos eletrocardiográficos, classificando-os conforme sua normalidade ou patologia. Essa segmentação automática torna-se uma poderosa ferramenta de apoio à decisão clínica, principalmente em ambientes com alta demanda assistencial (Siqueira *et al.*, 2023).

Além de sua aplicação diagnóstica, a IA tem revelado grande utilidade em contextos educacionais, como demonstrado pelo desenvolvimento de sistemas tutores inteligentes voltados ao ensino de eletrocardiografia. O “ECG Tutor”, por exemplo, representa uma solução inovadora que simula cenários clínicos, analisa respostas de estudantes e oferece feedback imediato. Tal recurso não apenas promove o aprendizado ativo, como também contribui para a formação de profissionais mais capacitados na interpretação precisa de ECGs, combinando conhecimento clínico e domínio tecnológico desde a graduação (Pereira, 2023).

De acordo com Garzón e Barbosa, 2023, os avanços nos algoritmos de aprendizado de máquina revelam o grande potencial dessas ferramentas na classificação automatizada de eletrocardiogramas. Modelos supervisionados, como redes neurais e máquinas de vetores de suporte, vêm sendo aplicados com êxito na identificação de anomalias cardíacas, ampliando a escalabilidade do diagnóstico e reduzindo desigualdades de acesso a cuidados especializados. Essas abordagens tecnológicas não substituem o raciocínio clínico, mas o complementam com rapidez, precisão e reprodutibilidade, fortalecendo a medicina baseada em dados e evidências.

FUTURO DA ANÁLISE DE ECG COM A IA: SUAS LIMITAÇÕES VERSUS A ANÁLISE HUMANA

A análise de eletrocardiogramas (ECG) por meio de ferramentas utilizando IA tem se consolidado como uma das mais relevantes aplicações da tecnologia no campo da cardiologia. O uso de algoritmos de aprendizado de máquina, especialmente aqueles baseados em *deep learning* (DL), permite a detecção de padrões sutis e

complexos que muitas vezes escapam à percepção humana. A principal vantagem dos modelos de DL é a capacidade de extrair características diretamente dos dados brutos, sem a necessidade de intervenção humana na engenharia de atributos (Kwon *et al.*, 2021).

O futuro dessa tecnologia aponta para uma crescente integração com dispositivos portáteis e sistemas de monitoramento contínuo, como os sensores baseados em Internet das Coisas (IoT). Modelos de IA já demonstram acurácia superior a 96% na predição de arritmias como fibrilação atrial e bradicardia sinusal, quando treinados com bases públicas de sinais de ECG. Além disso, destaca-se a velocidade de processamento e a consistência das análises automatizadas, fatores especialmente relevantes em contextos de triagem e emergência (Maggioni, 2023).

Entretanto, apesar dos avanços promissores, a IA aplicada à análise de ECG ainda apresenta limitações importantes, sendo um dos principais desafios o fenômeno do “overfitting”, quando o modelo se ajusta excessivamente aos dados de treinamento, perdendo capacidade de modificação para novos contextos. Assim, ressaltam que, na ausência de validação externa, o desempenho do modelo pode ser superestimado, sem garantia de aplicabilidade em ambientes clínicos reais, uma vez que o *overfitting* faz uma análise generalizada (Kwon *et al.*, 2021).

Outro aspecto crucial refere-se à diferença entre a análise automatizada e a interpretação humana. Embora a IA tenha se mostrado eficaz na identificação de alterações eletrocardiográficas, como padrões de repolarização e disfunções ventriculares, ela ainda não é capaz de contextualizar essas informações clinicamente. Nesse contexto, a IA pode apresentar alta precisão na segmentação de estruturas cardíacas, mas carece da compreensão clínica necessária para a interpretação dos achados em sua totalidade (Siqueira *et al.*, 2023).

A IA é capaz de identificar sinais não percebidos durante a interpretação humana, porém, deve ser entendida como ferramenta complementar, uma vez que a análise humana integra aspectos subjetivos e clínicos que vão além dos dados do ECG. Os cardiologistas consideram fatores como sintomas, histórico médico, uso de medicamentos e comorbidades, elementos fundamentais na decisão terapêutica. Além disso, a experiência acumulada e a capacidade de julgamento ético e empático são atributos intrínsecos à prática médica. Dessa forma, projeta-se para o futuro um modelo de atuação colaborativa, onde o médico utiliza a IA como suporte diagnóstico, beneficiando-se da velocidade e precisão dos algoritmos, sem abdicar de sua capacidade de julgamento clínico. A complementaridade entre homem e máquina pode representar um novo paradigma na cardiologia, unindo tecnologia e humanização no cuidado ao paciente (Martins *et al.* 2024).

CONCLUSÃO

A aplicação da inteligência artificial na análise de eletrocardiogramas representa um avanço significativo na prática cardiológica, oferecendo suporte diagnóstico com maior precisão, agilidade e padronização. Ao longo deste capítulo, foram apresentados os fundamentos técnicos, as aplicações práticas e os desafios associados ao uso dessa tecnologia, evidenciando seu potencial de transformar tanto o diagnóstico quanto a formação médica. Apesar das limitações atuais, como o risco de superajuste dos modelos e a ausência de contextualização clínica por parte dos algoritmos, a IA se consolida como uma ferramenta complementar valiosa, que não substitui, mas fortalece a atuação médica. Nesse cenário, a integração entre inteligência artificial e julgamento clínico desponta como um caminho promissor, pautado na aliança entre inovação tecnológica e cuidado humanizado.

REFERÊNCIAS

ATTIA, Z. I. *et al.* Application of artificial intelligence to the electrocardiogram. **European Heart Journal**, v. 42, n. 46, p. 4717–4730, 2021.

BARBOSA, P. A. M. *et al.* O papel da inteligência artificial na predição de doenças cardiovasculares. **Revista Corpus Hippocraticum**, v. 1, n. 1, 2025

BRASIL. Ministério da Saúde. **Estratégia de Saúde Cardiovascular**, 2023.

CABRAL, B. F. *et al.* O impacto da inteligência artificial nos avanços em Cardiologia Intervencionista. Anais New Science Publishers. **Editora Impacto**, I MED 360 – Congresso Regional de Medicina, [S. l.], 2024.

CASTRO, M. C. M.; BORGES, P. J. S. O impacto do uso de Inteligência Artificial na prática médica. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 17, n. 60, p. e2106, 2024.

DI COSTANZO, A. *et al.* An artificial intelligence analysis of electrocardiograms for the clinical diagnosis of cardiovascular diseases: a narrative review. **Journal of Clinical Medicine**, Basel, v. 13, n. 4, 2024.

GARZON, N. A.; BARBOSA, L. S. O. Aprendizado de máquina na medicina: como algoritmos de aprendizado de máquina podem ser aplicados em diagnósticos médicos, prognósticos e descoberta de novos tratamentos. **Recima21**, v. 4, n. 12, 2023.

KATAL, N. *et al.* Deep learning based arrhythmia detection using ECG signals: a comparative study and performance evaluation. **Diagnostics**, v. 13, n. 24, 2023.

KWON, J. *et al.* Artificial intelligence using electrocardiography: strengths and pitfalls. **European Heart Journal**, v. 42, n. 30, p. 2896–2898, 2021.

MAGGIONI, A. F. **Inteligência Artificial aplicada a análise de Eletrocardiograma**. 2023. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Computação). Curso de Computação, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2023.

MARINHO, L. B. **Segmentação de batimentos cardíacos em eletrocardiograma e identificação de arritmia cardíaca em um único lote de processamento por aprendizado profundo usando uma abordagem de regressão em uma rede neural convolucional**. 2021. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Teleinformática). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

MARTINS, V. B. L. *et al.* Avanços da inteligência artificial na cardiologia: uma revisão abrangente. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 4, p. 2442–2456, 2024.

MUZAMMIL, M. *et al.* Artificial intelligence-enhanced electrocardiography for accurate diagnosis and management of cardiovascular diseases. **Journal of Electrocardiology**, v. 83, p. 30–40, 2024.

OLIVEIRA, C. H. S.; MOURA, M. L. R.; SILVA, P. H. V. O papel da inteligência artificial na predição de doenças cardiovasculares. **Revista de Iniciação Científica da FAMINAS**, v. 4, n. 2, p. 1–8, 2023.

OLIVEIRA, G. M. M. *et al.* Cardiovascular statistics – Brazil 2023. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 121, n. 2, p. e20240079, 2024.

PEREIRA, L. A. *et al.* ECG Tutor: desenvolvimento e avaliação de um sistema tutor inteligente gamificado para ensino de eletrocardiograma. **Revista Brasileira de Educação Médica**, v. 47, n. 2, 2023.

QAYYUM, S. N. *et al.* Revolutionizing electrocardiography: the role of artificial intelligence in modern cardiac diagnostics. **Annals of Medicine & Surgery**, v. 87, n. 1, p. 161–170, 2025.

SANTANA, J. R. G. **Classificação de arritmias cardíacas em sinais de ECG utilizando redes neurais profundas**. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

SIQUEIRA, V. S. *et al.* Inteligência artificial aplicada na detecção e segmentação automática de estruturas cardíacas em imagens ecocardiográficas. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, v. 12, n. 4, p. 1589–1604, 2023.