

USO DE RECURSO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO AUXÍLIO AO ATENDIMENTO EM ENDOCRINOLOGIA

Aluana Santana Carlos¹;

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<https://lattes.cnpq.br/4300439285537836>

Paula Queiroz Raunheitti²;

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/5779201272804404>

Marilia Salete Tavares³;

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<https://lattes.cnpq.br/0661620252946564>

Jorge Fernando Borges de Moraes Junior⁴;

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/7796347695691748>

Ricardo Marciano dos Santos⁶;

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/6329550960331880>

Adalgiza Mafra Moreno⁶;

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/0565722195722162>

Joana Costa d'Avila⁷.

Universidade Iguaçu (UNIG), Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/0470213741210378>

RESUMO: A inteligência artificial (IA) tem se consolidado como tecnologia crucial na evolução da prática endocrinológica contemporânea. Sua incorporação ao cuidado clínico decorre da crescente disponibilidade de dados multimodais — laboratoriais, clínicos, de imagem, moleculares e fisiológicos — e de avanços no processamento computacional. Evidências apresentadas por Hasan (2025) mostram que modelos de IA têm sido decisivos na predição de risco em diabetes, no suporte à decisão clínica por meio de sistemas móveis e na automação da mensuração de sinais fisiológicos usando plataformas de baixo custo. Revisões recentes destacam que, na endocrinologia como um todo, técnicas de machine

learning (ML) expandem-se para o diagnóstico de nódulos tireoidianos, predição de malignidade, classificação de tumores hipofisários, interpretação de tomografia adrenal e identificação de biomarcadores moleculares associados a doenças endócrinas complexas. O panorama atual revela avanços importantes, mas também desafios significativos: transparência algorítmica, viés demográfico, generalização inadequada para populações distintas daquelas utilizadas no treinamento e necessidade de validação multicêntrica. Este capítulo sintetiza as aplicações contemporâneas da IA na prática endocrinológica, discute barreiras éticas e regulatórias e aponta recomendações formuladas por iniciativas internacionais, como o EndoCompass, para integração segura da IA na medicina endócrina.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial. Endocrinologia. Diagnóstico.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESOURCES TO SUPPORT ENDOCRINOLOGY CARE

ABSTRACT: Artificial intelligence (AI) has emerged as a critical technology in the advancement of contemporary endocrinology. Its incorporation into clinical care is driven by the increasing availability of multimodal data—laboratory, clinical, imaging, molecular, and physiological—and major progress in computational processing. Evidence presented by Hasan (2025) demonstrates that AI models have been decisive in risk prediction for diabetes, clinical decision support through mobile systems, and automated measurement of physiological signals using low-cost platforms. Recent reviews highlight that, across endocrinology, machine learning (ML) techniques are expanding into the diagnosis of thyroid nodules, malignancy prediction, classification of pituitary tumors, interpretation of adrenal imaging, and identification of molecular biomarkers associated with complex endocrine diseases. The current landscape reveals significant advances but also important challenges: algorithmic transparency, demographic bias, poor generalizability to populations differing from training datasets, and the need for multicenter validation. This chapter synthesizes contemporary applications of AI in endocrine practice, discusses ethical and regulatory barriers, and outlines recommendations from international initiatives such as EndoCompass for the safe integration of AI in endocrine medicine.

KEY-WORDS: Artificial Intelligence. Endocrinology. Diagnosis.

INTRODUÇÃO

A endocrinologia é marcada por sua intrincada arquitetura fisiológica, caracterizada por múltiplos eixos hormonais integrados em redes dinâmicas altamente reguladas. Essa complexidade, associada ao crescimento exponencial de dados clínicos, laboratoriais, imagiológicos e genéticos, cria um ambiente ideal para a incorporação de técnicas avançadas de inteligência artificial (IA).

Segundo Giorgini et al. (2023), distúrbios endócrinos envolvem relações fisiológicas não lineares que frequentemente escapam aos métodos tradicionais de análise clínica. A IA, especialmente por meio de machine learning (ML) e deep learning (DL), oferece ferramentas capazes de identificar padrões ocultos, integrar múltiplas fontes de dados e aumentar a precisão diagnóstica.

O crescimento acelerado da literatura científica confirma essa tendência. Kamińska et al. (2025) analisaram 1130 estudos publicados entre 2000 e 2024 e observaram expansão sem precedentes da IA na prática endocrinológica. Modelos avançados de redes neurais convolucionais (CNNs) têm demonstrado performance superior à de especialistas em múltiplas tarefas diagnósticas, especialmente na tireoide, hipófise e adrenal.

Ainda assim, o avanço tecnológico vem acompanhado de desafios metodológicos e éticos. O documento europeu EndoCompass (2025) destaca a necessidade de governança robusta, mitigação de vieses, auditorias contínuas e educação dos profissionais de saúde para o uso seguro dessas ferramentas.

OBJETIVO

Este capítulo foi elaborado por meio de pesquisa bibliográfica narrativa, com foco em estudos contemporâneos que abordam a aplicação de inteligência artificial na prática endocrinológica. Foram consultados artigos científicos, revisões, diretrizes e documentos técnicos provenientes de bases reconhecidas, incluindo periódicos internacionais da área de endocrinologia, tecnologia em saúde e inteligência artificial. A seleção priorizou publicações recentes, de alta relevância científica e com aplicabilidade clínica.

METODOLOGIA

Este capítulo foi elaborado por meio de pesquisa bibliográfica narrativa, caracterizada pela análise ampliada, interpretativa e integrativa de estudos contemporâneos sobre o uso da inteligência artificial na prática endocrinológica. Trata-se de um estudo de abordagem qualitativa, voltado à compreensão aprofundada de conceitos, aplicações, limitações e implicações éticas da IA no contexto da endocrinologia. Quanto à natureza, a pesquisa é aplicada, uma vez que busca compreender a utilização prática de tecnologias inteligentes no cuidado em saúde. Em relação aos objetivos, classifica-se como exploratória e descritiva, por integrar, organizar e descrever o estado da arte sobre o tema.

Do ponto de vista dos procedimentos metodológicos, este trabalho configura-se como pesquisa bibliográfica, desenvolvida a partir da consulta a artigos científicos, revisões narrativas e sistemáticas, diretrizes clínicas, documentos técnicos, relatórios institucionais e publicações de organismos internacionais. As fontes foram obtidas em bases reconhecidas na área da saúde, como PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO e repositórios de sociedades científicas, além de livros digitais especializados em inteligência artificial

aplicada à medicina.

A seleção do material priorizou publicações recentes, de alta relevância científica, abrangendo estudos relacionados à aplicação de machine learning, deep learning, visão computacional, modelos preditivos e ferramentas digitais empregadas em diferentes subcampos da endocrinologia. A estratégia narrativa permitiu integrar evidências diversas, identificar tendências e sintetizar discussões críticas, configurando uma análise ampla e interpretativa do conhecimento disponível.

Não foram aplicados critérios sistemáticos de inclusão e exclusão, pois o objetivo central não foi mensurar efeitos, mas interpretar e contextualizar o avanço da IA na endocrinologia. Também não houve coleta de dados em campo, experimentação animal ou pesquisa com seres humanos; portanto, não se aplica submissão a comitê de ética, uma vez que o estudo utilizou exclusivamente fontes secundárias já publicadas.

Assim, esta metodologia atende ao propósito de oferecer uma visão abrangente, crítica e atualizada da integração entre inteligência artificial e endocrinologia, permitindo refletir sobre impactos, desafios e perspectivas futuras dessa tecnologia no cuidado em saúde.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1- Panorama conceitual da IA aplicada à endocrinologia

A inteligência artificial (IA) aplicada à endocrinologia fundamenta-se em um conjunto de técnicas computacionais capazes de analisar, integrar e interpretar dados biomédicos de alta complexidade. Diferentemente de abordagens estatísticas tradicionais, que operam de forma linear e dependem de hipóteses pré-estabelecidas, a IA sobretudo machine learning (ML) e deep learning (DL) consegue identificar interações não lineares, padrões ocultos e relações multifatoriais características dos sistemas endócrinos.

A endocrinologia apresenta uma complexidade sistêmica singular: os eixos hormonais apresentam retroalimentação dinâmica, interdependência entre múltiplos órgãos, redundância funcional e modulação por variáveis ambientais e metabólicas. Essa natureza multifatorial se alinha ao potencial da IA em capturar padrões fisiológicos emergentes, que não são facilmente identificáveis pelo raciocínio clínico humano.

Do ponto de vista técnico, ML supervisionado é o paradigma predominante, sendo amplamente utilizado em:

- classificação diagnóstica, especialmente em imagens (ex.: tireoide, hipófise, adrenal);
- modelagem prognóstica, estimando risco ou desfechos;
- estratificação fenotípica, integrando variáveis clínicas e biomarcadores.

Dentro do ML supervisionado, modelos como Support Vector Machines (SVM),

Random Forests, Gradient Boosting Machines e Regressão Logística regularizada dominam aplicações clínicas. Entretanto, a ascensão do deep learning, especialmente as Convolutional Neural Networks (CNNs), revolucionou a capacidade de interpretar imagens médicas, ultrapassando desempenho de especialistas em múltiplos cenários.

Além disso, a crescente disponibilidade de dados multimodais — incluindo perfil ômico (genômico, transcriptômico, metabolômico), imagem avançada, sinais fisiológicos contínuos, sensores vestíveis, dados ambientais e comportamentais — tem promovido o avanço de modelos multimodais, capazes de unificar diferentes fontes informacionais em um único pipeline preditivo.

Outro conceito emergente é o de foundation models para saúde, redes neurais massivamente treinadas em grandes bases de dados médicas. Esses modelos apresentam potencial para enfrentar um dos maiores desafios da endocrinologia: escassez de dados para condições raras, como tumores adrenocorticais, síndromes hipofisárias e distúrbios genéticos do metabolismo.

Finalmente, técnicas modernas de explainable AI (XAI) têm sido incorporadas para lidar com a baixa interpretabilidade de modelos de DL, favorecendo adoção clínica. Métodos como Grad-CAM, SHAP e LIME permitem ao profissional entender quais características contribuíram para a decisão algorítmica, contribuindo para segurança, auditoria e prática médica transparente.

2- Aplicações específicas nas principais áreas da endocrinologia:

A aplicação da IA em endocrinologia não ocorre de maneira homogênea entre os eixos hormonais. Tireoide, hipófise, adrenal, metabolismo ósseo e diabetes mostram diferentes graus de maturidade tecnológica. A seguir, as principais áreas com seus avanços ampliados.

2.1 Tireoide — o campo mais avançado e com maior evidência científica

A tireoide é o eixo mais bem explorado pela IA dentro da endocrinologia por três razões principais:

1. alta prevalência de nódulos tireoidianos;
2. dependência diagnóstica de imagem, especialmente ultrassom;
3. variabilidade interobservador significativa entre endocrinologistas e radiologistas.

CNNs aplicadas a ultrassonografia têm alcançado desempenho equivalente ou superior ao de especialistas na detecção e classificação de nódulos, reduzindo erros humanos. Além disso:

- Modelos podem reduzir biópsias desnecessárias, otimizando decisões de punção

aspirativa por agulha fina (PAAF).

- Algoritmos predizem malignidade em nódulos Bethesda III e IV, auxiliando na conduta cirúrgica.
- Sistemas avançados são capazes de prever mutação BRAFV600E com base apenas na imagem ultrassonográfica, auxiliando no planejamento terapêutico.
- Em Doença de Graves, modelos identificam risco de evolução para orbitopatia grave, e predizem responder ao radioiodo com mais precisão que critérios tradicionais.

2.2 Hipófise — IA na neuroendocrinologia

A IA tem revolucionado a caracterização de tumores hipofisários, incluindo:

- Diferenciação entre adenomas e cistos de Rathke, com acurácia superior a 84%.
- Identificação de adenomas agressivos com base em textura de RM e parâmetros clínicos.
- Predição de resposta a análogos da somatostatina em acromegalia utilizando modelos híbridos ML + radiômica.
- Análise facial por IA para detecção de acromegalia subclínica, mesmo anos antes do diagnóstico convencional.
- Além disso, modelos preditivos auxiliam no manejo cirúrgico, identificando:
 - risco de hiponatremia pós-operatória,
 - desenvolvimento de diabetes insipidus,
 - probabilidade de hipopituitarismo.

Essas ferramentas melhoram segurança perioperatória e permitem abordagem personalizada.

2.3 Adrenais — estratificação avançada com imagem e radiômica

Na adrenal, a IA é usada principalmente para diferenciar:

- adenomas benignos,
- carcinomas adrenocorticais,
- feocromocitomas,
- tumores de comportamento incerto.
- Modelos treinados em tomografia pré-contraste têm apresentado:
 - acurácia superior a 86% para diferenciar adenomas lipídicos de feocromocitomas;
 - detecção precoce de carcinoma adrenocortical com base em assinaturas radiômicas

complexas;

- redução da necessidade de cintilografia e exames hormonais extensos.
- Além disso, IA tem sido usada para prever resposta a terapias ablativas e estimar risco cirúrgico.

2.4 Metabolismo ósseo — IA em fraturas ocultas e predição de fragilidade

Modelos avançados aplicados à tomografia oportunística conseguem:

- identificar fraturas vertebrais não diagnosticadas,
- estimar densidade mineral óssea,
- prever risco futuro de fraturas com acurácia superior ao FRAX.

A análise radiômica óssea permite detectar padrões de microarquitetura que não são visíveis ao olho humano, ampliando o potencial de prevenção primária.

2.5 Diabetes — maior maturidade tecnológica da IA em endocrinologia

Entre as áreas endócrinas, diabetes é onde IA mais impacta a prática clínica.

As aplicações incluem:

- Previsão glicêmica em tempo real com precisão alta.
- Detecção preditiva de hipoglicemia e hiperglicemia.
- Avaliação de risco de eventos adversos em populações vulneráveis, como idosos.
- Integração com mHealth para países de baixa renda.
- Análise de sinais digitais de sensores de baixo custo, ampliando acesso ao monitoramento.
- Modelos de aprendizado por reforço, fundamentais para o desenvolvimento de sistemas de pâncreas artificial, permitindo ajustes automatizados de insulina.
- A IA, assim, já faz parte da rotina da diabetologia avançada.

3- Limitações, riscos éticos e desafios regulatórios

Apesar dos avanços, a aplicação da IA na endocrinologia enfrenta desafios estruturais que impactam adoção clínica, confiança, equidade e segurança.

3.1 Viés algorítmico e desigualdade em saúde

Modelos treinados majoritariamente em populações ocidentais apresentam

desempenho reduzido em:

- populações de baixa renda,
- minorias étnicas,
- pacientes com características fenotípicas diferentes das usadas no treinamento.
- Esse viés reforça desigualdades preexistentes e compromete a segurança clínica.

3.2 Falta de interpretabilidade (“caixa-preta”)

Um dos maiores obstáculos à adoção clínica é a opacidade dos modelos de deep learning. Endocrinologistas precisam entender:

- por que um algoritmo classificou um nódulo como maligno,
- quais variáveis influenciaram uma decisão terapêutica,
- se há risco de decisão incorreta em determinado subgrupo.

A emergência da Explainable AI (XAI) tenta mitigar essa limitação, tornando modelos mais auditáveis e confiáveis.

3.3 Falha de generalização e reprodutibilidade

Muitos modelos:

- são treinados em bases pequenas,
- não são validados externamente,
- apresentam overfitting,
- têm desempenho inferior em ambientes reais.

A falta de reprodutibilidade limita aprovação regulatória e integração em guidelines.

3.4 Fragilidades metodológicas dos estudos

Revisões mostram problemas frequentes:

- variabilidade nos critérios de inclusão;
- ausência de padronização de métricas;
- falta de descrição das técnicas de pré-processamento;
- pequenas amostras;
- uso inadequado de validação cruzada.

Isso prejudica comparabilidade e maturidade científica da área.

3.5 Desafios éticos e regulatórios

A aplicação clínica de IA envolve:

- proteção de dados sensíveis;
- conformidade com GDPR, LGPD, HIPAA;
- necessidade de auditorias contínuas;
- supervisão humana obrigatória (human-in-the-loop);
- responsabilização legal em caso de erro algorítmico.

O projeto EndoCompass (2025) destaca a importância de integrar princípios de fairness, governança e supervisão contínua para evitar erros sistêmicos e danos clínicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inteligência artificial já apresenta alto potencial transformador na prática endocrinológica, com desempenhos superiores aos de especialistas em múltiplas tarefas diagnósticas. Todavia, implementação clínica segura exige validação multicêntrica, mitigação de vieses, transparência algorítmica e governança robusta. A IA não substitui o endocrinologista; ela amplia sua capacidade analítica e favorece cuidado mais preciso, eficiente e equitativo.

REFERÊNCIAS

- ALBERTI, K. G. M.; ZIMMET, P.; SHAW, J. International Diabetes Federation: guidelines for diabetes care. *Diabetes Research and Clinical Practice*, v. 157, p. 107–115, 2022.
- AMINI, P. et al. Artificial intelligence in endocrinology: assisting clinicians in decision-making. *Endocrine Reviews*, v. 43, n. 4, p. 512–530, 2022.
- BENNETT, C.; ZHOU, Y. Artificial intelligence for thyroid nodule risk stratification: a comprehensive review. *Thyroid*, v. 31, n. 9, p. 1345–1356, 2021.
- BRITO, J. P.; SCHUMAN, M. Artificial intelligence in endocrine imaging: current applications and future directions. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, v. 107, n. 2, p. 321–330, 2022.
- CAMPOS, A.; MORAES, J. *Inteligência artificial aplicada à medicina: fundamentos e tendências*. Rio de Janeiro: Atheneu, 2021.
- CHEN, L. et al. Deep learning models for diabetes prediction: advances and clinical implications. *Lancet Digital Health*, v. 4, n. 6, p. e456–e468, 2022.
- COELHO, R. et al. Machine learning for endocrine tumors: current evidence and challenges. *Endocrine Oncology*, v. 3, n. 1, p. 45–59, 2023.

FREITAS, D.; OLIVEIRA, M. Tecnologias digitais na saúde: impacto, desafios e perspectivas. São Paulo: Manole, 2020.

GIORGINI, R. et al. Artificial Intelligence in Endocrinology: a comprehensive review. European Journal of Endocrinology, v. 188, n. 1, p. 1–20, 2023.

GUPTA, H.; ALEXANDER, E. AI in diabetes management: from predictive analytics to automated insulin delivery. Diabetes Technology & Therapeutics, v. 24, n. 7, p. 471–480, 2022.

KELLEY, P.; LI, M. Ethical considerations in AI-assisted clinical care. Journal of Medical Ethics, v. 48, n. 2, p. 93–102, 2022.

LEE, J.; KIM, S. Artificial intelligence in pituitary and adrenal disorders: a systematic review. Frontiers in Endocrinology, v. 13, p. 103–120, 2022.

MENDES, R. et al. IA e diagnóstico **médico: aplicações, desafios** e legislações. Belo Horizonte: Scientia, 2023.

MOULIN, T.; GARCIA, A. Machine learning for thyroid disease classification: performance and challenges. Computers in Biology and Medicine, v. 145, p. 105–118, 2022.

PASQUALI, R. et al. AI and metabolic disorders: predictive models for obesity and insulin resistance. Obesity Reviews, v. 23, n. 1, p. 1–15, 2022.

SILVA, N.; BARRETO, R. Inteligência Artificial na prática clínica. Salvador: EDUFBA, 2021.

TANAKA, M.; SHIMADA, H. AI in continuous glucose monitoring: accuracy enhancement and clinical implications. Journal of Diabetes Science and Technology, v. 16, n. 4, p. 775–784, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Ethics and governance of artificial intelligence for health. Geneva: WHO Press, 2021.

ZHANG, X.; WANG, Y. Deep learning for medical imaging in endocrinology: opportunities and limitations. Medical Image Analysis, v. 81, p. 102–125, 2022.