REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

# APLICAÇÕES DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM EXAMES DE IMAGEM CARDÍACA (ECOCARDIOGRAFIA E ANGIO-TC DE CORONÁRIAS): ACURÁCIA, VIABILIDADE CLÍNICA E VIESES ALGORÍTMICOS – UMA REVISÃO INTEGRATIVA

## *APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CARDIAC IMAGING EXAMS (ECHOCARDIOGRAPHY AND CORONARY CT ANGIOGRAPHY): ACCURACY, CLINICAL FEASIBILITY, AND ALGORITHMIC BIASES – AN INTEGRATIVE REVIEW*

## *APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EXÁMENES DE IMAGEN CARDÍACA (ECOCARDIOGRAFÍA Y ANGIO-TC CORONARIA): PRECISIÓN, VIABILIDAD CLÍNICA Y SESGOS ALGORÍTMICOS: UNA REVISIÓN INTEGRATIVA*

Matheus Jubini Celestino[1], Lara Viana Jorge[1], Kariny Birca Marcellino[1], Juliane Barbosa Machado[1], Kallyne Caldeira Fabri[1], Yasmin Espindola Moreno[1], Nicoly Bessert Stinguel[1], Ericles Lucas Ribeiro[2]

e717150
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i1.7150

PUBLICADO: 01/2026

**RESUMO**

As doenças cardiovasculares (DCV) permanecem como a principal causa de morbimortalidade global, demandando estratégias diagnósticas precisas e escaláveis. A Inteligência Artificial (IA), por meio de algoritmos de *deep learning*, surge como uma tecnologia disruptiva para a análise de imagens médicas. Esta revisão integrativa teve como objetivo avaliar o impacto da IA na interpretação da ecocardiografia e da angiotomografia computadorizada de coronárias (angio-TC), analisando acurácia diagnóstica, viabilidade clínica e vieses algorítmicos. Foram selecionados 16 artigos publicados entre 2021 e 2025 nas bases PubMed, Scopus e Web of Science, ScienceDirect e Google Scholar. Os resultados demonstraram que modelos baseados em redes neurais convolucionais (CNN) alcançam áreas sob a curva (AUC) consistentemente superiores a 0,90, com sensibilidade e especificidade comparáveis ou superiores às de especialistas humanos, tanto na detecção de estenoses coronarianas significativas quanto na segmentação de câmaras cardíacas. Observou-se redução expressiva da variabilidade interobservador (entre 20% e 40%) e otimização do fluxo de trabalho clínico, além do suporte à aquisição de imagens por operadores inexperientes. Contudo, persistiram limitações relevantes, como a ausência de padronização de protocolos, o *dataset bias* (viés de base de dados) e a limitada interpretabilidade (*black-box*) dos modelos. Concluiu-se que, embora a IA apresente elevado potencial para democratizar o diagnóstico de alta precisão, sua incorporação segura à prática clínica depende de validações externas multicêntricas, maior transparência algorítmica e estabelecimento de diretrizes ético-regulatórias robustas.

**PALAVRAS-CHAVE**: Inteligência Artificial. Ecocardiografia. Angiotomografia Coronária.

***ABSTRACT***

*Cardiovascular diseases (CVD) remain the leading cause of global morbidity and mortality, requiring accurate and scalable diagnostic strategies. Artificial intelligence (AI), through deep learning algorithms, emerges as a disruptive technology for medical image analysis. This integrative review aimed to evaluate the impact of AI on the interpretation of echocardiography and coronary computed tomography angiography (CTA), analyzing diagnostic accuracy, clinical feasibility, and algorithmic biases. Sixteen articles published between 2021 and 2025 were selected from PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. The results demonstrated that models based on convolutional neural networks (CNN) consistently achieve*

[1] Graduando(a) em Medicina, Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC, Colatina-ES, Brasil.
[2] Médico, Centro Universitário do Espírito Santo - UNESC, Colatina, Espírito Santo, Brasil.



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



*areas under the curve (AUC) greater than 0.90, with sensitivity and specificity comparable to or superior to those of human experts, both in the detection of significant coronary stenoses and in the segmentation of cardiac chambers. A significant reduction in interobserver variability (between 20% and 40%) and optimization of the clinical workflow were observed, in addition to support for image acquisition by inexperienced operators. However, relevant limitations persisted, such as the absence of protocol standardization, dataset bias, and limited interpretability (black-box) of the models. It was concluded that, although AI has high potential to democratize high-precision diagnosis, its safe incorporation into clinical practice depends on multicenter external validations, greater algorithmic transparency, and the establishment of robust ethical and regulatory guidelines.*

***KEYWORDS:*** *Artificial Intelligence. Echocardiography. Coronary Angiography.*

***RESUMEN***
*Las enfermedades cardiovasculares (ECV) siguen siendo la principal causa de morbilidad y mortalidad a nivel mundial, lo que exige estrategias de diagnóstico precisas y escalables. La inteligencia artificial (IA), mediante algoritmos de aprendizaje profundo, surge como una tecnología disruptiva para el análisis de imágenes médicas. Esta revisión integrativa tuvo como objetivo evaluar el impacto de la IA en la interpretación de la ecocardiografía y la angiotomografía computarizada coronaria (angio-TC), analizando la precisión diagnóstica, la viabilidad clínica y los sesgos algorítmicos. Se seleccionaron 16 artículos publicados entre 2021 y 2025 en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar. Los resultados demostraron que los modelos basados en redes neuronales convolucionales (CNN) alcanzan áreas bajo la curva (AUC) consistentemente superiores a 0,90, con sensibilidad y especificidad comparables o superiores a las de los especialistas humanos, tanto en la detección de estenosis coronarias significativas como en la segmentación de las cámaras cardíacas. Se observó una reducción significativa de la variabilidad entre observadores (entre el 20 % y el 40 %) y una optimización del flujo de trabajo clínico, además de un apoyo a la adquisición de imágenes por parte de operadores inexpertos. Sin embargo, persistieron limitaciones relevantes, como la ausencia de estandarización de protocolos, el sesgo del conjunto de datos (database bias) y la limitada interpretabilidad (black-box) de los modelos. Se concluyó que, aunque la IA presenta un gran potencial para democratizar el diagnóstico de alta precisión, su incorporación segura a la práctica clínica depende de validaciones multicéntricas externas, una mayor transparencia algorítmica y el establecimiento de directrices éticas y normativas sólidas.*

***PALABRAS CLAVE:*** *Inteligencia artificial. Ecocardiografía. Angiotomografía coronaria.*

## 1. INTRODUÇÃO

As doenças cardiovasculares permanecem como a principal causa de mortalidade global, reforçando a necessidade de métodos diagnósticos cada vez mais precisos, acessíveis e reprodutíveis. Entre os principais exames utilizados na prática cardiológica, destacam-se o ecocardiograma e a angiotomografia computadorizada (Angio-TC) de coronárias, fundamentais para o diagnóstico precoce, a estratificação de risco e o acompanhamento terapêutico de pacientes com suspeita ou confirmação de doença arterial coronariana (Mor-Avi *et al.,* 2023; Van Herten *et al.,* 2024). No entanto, a correta interpretação dessas imagens exige treinamento especializado e está sujeita à variabilidade intra e interobservador, o que pode comprometer a precisão diagnóstica.


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



O ecocardiograma caracterizou-se como um método não invasivo, amplamente disponível e de baixo custo relativo, capaz de fornecer informações anatômicas e funcionais em tempo real, incluindo avaliação de volumes, fração de ejeção, função valvar e alterações estruturais. Entretanto, sua acurácia diagnóstica mostrou-se fortemente dependente da experiência do operador, estando sujeita à variabilidade intra e interobservador, o que historicamente representou uma limitação relevante para a padronização das análises (Karakuş *et al.,* 2022; Mor-Avi *et al.,* 2023).

A angiotomografia computadorizada de coronárias, por sua vez, consolidou-se como método não invasivo de alta acurácia para avaliação anatômica das artérias coronárias, permitindo a detecção de estenoses, a caracterização e quantificação de placas ateroscleróticas e a estratificação do risco cardiovascular. Apesar de seu elevado desempenho diagnóstico, a Angio-TC exigiu expertise técnica especializada, protocolos bem definidos e interpretação criteriosa, o que limitou sua reprodutibilidade em diferentes cenários assistenciais (Du *et al.,* 2025; Schulze *et al.,* 2025).

Diante dessas limitações, a Inteligência Artificial (IA) surgiu como uma ferramenta promissora para apoiar a análise automatizada de imagens médicas. Conforme destacado por Krittanawong *et al.,* (2023), a IA atua em duas frentes complementares: (1) automatização de tarefas rotineiras que demandam tempo do clínico e (2) análise avançada de padrões complexos, potencializando a estratificação personalizada de risco. Na cardiologia, essas aplicações permitem identificar detalhes sutis e não perceptíveis ao olho humano, aumentar a acurácia diagnóstica e otimizar fluxos de trabalho.

Nos últimos anos, a ecocardiografia destacou-se como uma das áreas com maior avanço na aplicação da IA, especialmente por meio de redes neurais convolucionais, que demonstraram capacidade de padronizar medições, reduzir inconsistências e diminuir significativamente a variabilidade interobservador. Esses avanços mostraram-se particularmente relevantes em ambientes de emergência e atenção primária, nos quais a escassez de especialistas pode comprometer a qualidade diagnóstica (Liu *et al.,* 2025; Narang *et al.,* 2021).

De forma semelhante, aplicações de IA na Angio-TC coronariana apresentaram resultados consistentes na detecção automatizada de estenoses, quantificação de placas e integração de dados clínicos para estratificação de risco cardiovascular. Meta-análises recentes indicaram sensibilidade e especificidade superiores a 90%, reforçando o potencial dessas ferramentas como suporte à decisão clínica e à medicina personalizada (Du *et al.,* 2025; Tu *et al.,* 2024).

Apesar desses avanços, a adoção da IA na prática clínica ainda enfrenta obstáculos importantes. Diretrizes recentes da *European Society of Cardiology* (ESC) e do *American College of Cardiology* (ACC) destacaram que grande parte dessas aplicações permanece em fase de


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



validação técnica, com evidências limitadas de impacto em desfechos clínicos robustos. Persistiram desafios relevantes, como a ausência de padronização entre equipamentos e protocolos, a baixa generalização dos modelos — frequentemente treinados em bases de dados restritas —, a escassez de validações externas multicêntricas e a presença de vieses algorítmicos capazes de comprometer a equidade diagnóstica (Maturi *et al.,* 2025; Liu *et al.,* 2025).

Embora a IA traga eficiência, precisão e redução de variabilidade, ela não substitui o julgamento clínico. A integração entre tecnologia e conhecimento médico deve ser complementar, considerando a fisiopatologia, o contexto clínico e as particularidades de cada paciente. Dessa forma, compreender de forma crítica como a Inteligência Artificial foi aplicada à interpretação da ecocardiografia e da Angio-TC coronariana tornou-se fundamental para avaliar seu real impacto diagnóstico, suas limitações técnicas e os desafios para sua incorporação segura na prática clínica. Assim, este artigo propôs analisar sistematicamente as evidências disponíveis, discutindo avanços, barreiras e perspectivas futuras para o uso responsável e eficaz da IA no cuidado cardiovascular.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste artigo é analisar, a partir da literatura científica recente, o impacto da Inteligência Artificial na interpretação de exames de imagem cardíaca — especialmente no ecocardiograma e na angiotomografia computadorizada (Angio-TC) de coronárias — avaliando a precisão diagnóstica, a viabilidade clínica, o nível de evidência disponível e os principais vieses associados ao uso dessas tecnologias.

Como objetivos secundários, este estudo busca identificar lacunas na literatura, analisando o grau de padronização entre estudos, a generalização dos modelos, a qualidade das validações internas e externas e a consistência dos desfechos reportados. Pretende-se também avaliar como diferentes técnicas de IA (incluindo aprendizado de máquina e aprendizado profundo) contribuem para a detecção, quantificação e fenotipagem de doenças cardiovasculares, bem como sua capacidade de automatizar tarefas e melhorar o fluxo de trabalho clínico.

Além disso, este trabalho tem como objetivo examinar os desafios para a implementação da IA na prática cardiológica, considerando fatores como padronização de protocolos, redução da variabilidade interobservador, requisitos tecnológicos e barreiras de adoção em diferentes contextos assistenciais. Também busca discutir de forma crítica os vieses algorítmicos presentes nas aplicações de IA em imagens cardíacas, suas implicações para a equidade diagnóstica e as estratégias de mitigação.

Por fim, propõe-se delinear perspectivas futuras para a integração ética, segura e explicável da IA na cardiologia, enfatizando o papel complementar entre tecnologia e raciocínio


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



clínico humano e o potencial dessas ferramentas na melhoria do diagnóstico, da estratificação de risco e do manejo das doenças cardiovasculares.

## 3. MÉTODO

O presente estudo caracterizou-se como uma revisão integrativa da literatura, conduzida com o objetivo de analisar criticamente e sintetizar as evidências disponíveis acerca da utilização da Inteligência Artificial na interpretação de exames de imagem cardíaca, especificamente a ecocardiografia e a angiotomografia computadorizada de coronárias (angio-TC). A escolha por este delineamento justificou-se pela capacidade da revisão integrativa de abranger estudos teóricos e empíricos, permitindo uma compreensão ampla sobre acurácia diagnóstica, viabilidade clínica, impacto no fluxo de trabalho e potenciais vieses associados ao uso de algoritmos de aprendizado de máquina e aprendizado profundo no contexto cardiológico.

A busca dos estudos foi conduzida de maneira sistematizada nas bases PubMed/MEDLINE (NIH), Scopus, ScienceDirect, Web of Science e Google Scholar, selecionadas por sua relevância e abrangência na área da saúde. Para garantir precisão e amplitude na identificação das publicações, empregaram-se descritores controlados e não controlados combinados com operadores booleanos. Entre as estratégias utilizadas destacaram-se: *("artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning") AND ("echocardiography" OR "cardiac ultrasound") AND ("accuracy" OR "precision" OR "feasibility" OR "bias")* e *("artificial intelligence" OR "machine learning") AND ("coronary CT angiography" OR "CCTA") AND ("diagnosis" OR "risk stratification" OR "bias")*.

Foram incluídos artigos publicados entre 2021 e 2025, nos idiomas português ou inglês, que abordassem diretamente o emprego da IA em ecocardiografia ou angio-TC. Admitiram-se estudos originais, revisões sistemáticas e revisões narrativas que apresentassem dados sobre acurácia diagnóstica, aplicabilidade clínica, impacto no trabalho clínico, limitações ou vieses metodológicos. Excluíram-se estudos duplicados, pesquisas sobre modalidades de imagem não cardíacas, trabalhos exclusivamente técnicos sem aplicação clínica, opiniões sem fundamentação empírica e revisões não estruturadas.

A seleção ocorreu em duas etapas. Primeiramente, realizou-se a triagem de títulos e resumos para excluir estudos sem relação direta com o tema. Em seguida, os artigos elegíveis foram analisados integralmente, com verificação de pertinência temática, consistência metodológica e relevância para os objetivos propostos. Ao final do processo, 16 artigos atenderam plenamente aos critérios e compuseram o corpo final da revisão.

A extração e síntese dos dados ocorreram de forma sistemática, contemplando as principais aplicações da IA na ecocardiografia e angio-TC, o desempenho diagnóstico em termos de sensibilidade, especificidade e acurácia, além do impacto clinicamente reportado, como


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



redução do tempo de interpretação e diminuição da variabilidade interobservador. Foram igualmente analisados aspectos relacionados à viabilidade de implementação dos modelos, incluindo limitações técnicas, vieses algorítmicos, heterogeneidade das bases de treinamento, dificuldades de generalização e desafios éticos envolvidos na incorporação da IA à prática cardiológica.

Dessa forma, esta revisão integrativa oferece uma visão crítica e abrangente sobre a confiabilidade, as limitações e o potencial clínico das ferramentas de Inteligência Artificial aplicadas aos exames de imagem cardíaca, contribuindo para a discussão atual sobre sua segurança, aplicabilidade e impacto na tomada de decisão em saúde.

## 4. RESULTADOS

A revisão integrativa incluiu 16 estudos publicados entre 2021 e 2025, distribuídos entre aplicações de Inteligência Artificial na ecocardiografia e na angiotomografia coronariana (angio-TC). Os estudos analisaram diferentes arquiteturas de IA, desempenho diagnóstico, impacto clínico, variabilidade interobservador, tamanho de amostra e nível de validação. A síntese dos achados revela avanços consistentes no uso de IA como ferramenta complementar para a interpretação de imagens cardíacas, especialmente em tarefas de detecção automatizada, quantificação estrutural, estratificação de risco e suporte à decisão clínica.

No campo da ecocardiografia, observou-se que modelos baseados principalmente em redes neurais convolucionais (CNN) e variantes profundas demonstraram alta acurácia diagnóstica, frequentemente com AUC acima de 0,90, além de redução expressiva da variabilidade interobservador, que variou de 20% a 40% entre os estudos. As aplicações mais recorrentes incluíram segmentação automática de câmaras cardíacas, quantificação volumétrica, detecção de cardiomiopatias e suporte à aquisição de imagens por profissionais pouco experientes. Estudos com grandes bases de dados confirmaram desempenho comparável ao de especialistas humanos, enquanto análises bibliométricas evidenciaram crescimento acelerado de publicações nessa área.

Já na angio-TC coronariana, os estudos demonstraram excelente performance dos modelos de IA na detecção de estenoses significativas, quantificação de placas ateroscleróticas e previsão de risco cardiovascular. Modelos de *deep learning* apresentaram sensibilidade e especificidade superiores a 90% em diversos estudos e AUC maior que 0,90, inclusive em meta-análises. A IA também contribuiu para reduzir o tempo de interpretação, aprimorar a análise automatizada e integrar dados clínicos, favorecendo abordagens individualizadas e preditivas.

Apesar dos avanços, a totalidade dos estudos destaca limitações importantes, como heterogeneidade dos bancos de dados, ausência de padronização de protocolos, vieses algorítmicos, necessidade de validação clínica multicêntrica e falta de transparência nos modelos


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



utilizados (*explainable* AI). Ainda assim, os resultados convergem para um cenário de alta aplicabilidade futura, desde que acompanhada de rigor metodológico e diretrizes éticas claras.

A presente revisão integrativa compilou os principais estudos e resultados diante da investigação da aplicação da Inteligência Artificial na interpretação de exames de imagem cardíaca. Foram abordados aspectos relacionados à acurácia diagnóstica, à viabilidade clínica e aos possíveis vieses associados ao uso de modelos de aprendizado de máquina e redes neurais profundas. Nas tabelas seguintes (Tabela 1 e Tabela 2) são apresentados os principais resultados e conclusões evidenciados pelos estudos:

**Tabela 1.** Principais estudos incluídos na revisão integrativa sobre Inteligência Artificial em ecocardiografia

| Autor/Ano | Principais Resultados | Conclusões |
|---|---|---|
| **Karakuş *et al.*, 2022** | A IA demonstrou capacidade de automatizar medições ecocardiográficas e auxiliar no diagnóstico, porém com limitações relacionadas a vieses algorítmicos, qualidade dos dados e questões epistemológicas. | A IA, em ecocardiografia, é promissora, mas requer validação rigorosa, interpretação clínica crítica e uso ético. |
| **Krittanawong *et al.*, 2023** | Modelos de *deep learning* melhoram acurácia em imagens 2D/3D; AUC frequentemente acima de 0,90. Sendo eficaz na aquisição de imagens, quantificação automática de câmaras cardíacas e identificação de doenças estruturais. | A IA pode aumentar a eficiência diagnóstica e ampliar o acesso à ecocardiografia em diferentes cenários clínicos, devendo atuar como ferramenta complementar ao julgamento clínico. |
| **Liu B. *et al.*, 2022/2023** | AIEchoDx apresentou acurácia >90% para diferenciar cardiopatias valvares e miocardiopatias. | Útil como triagem rápida e confiável, ampliando eficiência clínica. |
| **Liu Y. *et al.*, 2025** | Crescimento exponencial de estudos; dominância de CNN e segmentação automatizada. | Necessidade de padronização metodológica e integração de bases de dados. |


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



| | | |
|---|---|---|
| **Maturi *et al.*, 2025** | IA, em quantificação automática, aumenta eficiência do fluxo de trabalho e precisão diagnóstica. | Impacto crescente no diagnóstico precoce e personalização terapêutica. |
| **Mor-Avi *et al.*, 2023** | Redução da variabilidade interobservador entre 25 – 40% e menor tempo de análise. | Melhora a consistência e produtividade diagnóstica. |
| **Myhre *et al.*, 2025** | A ecocardiografia aprimorada por IA mostrou benefícios no diagnóstico, prognóstico e acompanhamento longitudinal de doenças cardiovasculares. | A IA deve atuar como ferramenta complementar ao julgamento clínico, favorecendo uma cardiologia mais personalizada e preditiva. |
| **Narang *et al.*, 2021** | IA guiou operadores inexperientes ao captar imagens diagnósticas em ~90% dos casos. | Aumenta acessibilidade e qualidade da ecocardiografia em ambientes com poucos especialistas. |
| **Tromp *et al.*, 2022** | Interpretação automatizada de parâmetros ecocardiográficos apresentou alta concordância com especialistas humanos. | Confirma viabilidade da IA como suporte de alto nível para análise ecocardiográfica. |

Os estudos evidenciam que a Inteligência Artificial tem demonstrado desempenho comparável ou até mesmo superior ao de especialistas humanos na análise de imagens cardíacas. Ressalta-se um potencial considerável para a redução de erros interobservadores, otimização do fluxo de trabalho e ampliação da acessibilidade diagnóstica. Ademais, destaca-se a necessidade de validações clínicas multiprofissionais e padronização metodológica, de modo a assegurar a confiabilidade, a aplicabilidade ética e a segurança do uso dessas tecnologias na prática médica.

Os estudos que abordaram a aplicação da Inteligência Artificial na angiotomografia de coronárias mostram avanços significativos no diagnóstico por imagem. Observou-se um desempenho na detecção de placas e na avaliação do risco cardiovascular, permitindo maior fluidez e precisão das avaliações. Além disso, a integração entre a clínica e imagens demonstram uma estratégia eficaz para aprimoramento diagnóstico não invasivo e auxiliar na tomada de decisões médicas.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



**Tabela 2.** Principais estudos incluídos na revisão integrativa sobre Inteligência Artificial em angio-TC de coronárias

| Autor/Ano | Principais Resultados | Conclusões |
|---|---|---|
| **Du *et al.*, 2025** | Sensibilidade e especificidade >90% na detecção de estenoses; AUC > 0,92. | IA melhora precisão diagnóstica e reduz necessidade de exames invasivos. |
| **Irannegjad *et al.*, 2025** | *Deep learning* identifica placas e características de vulnerabilidade com alta acurácia. | IA avança na estratificação de risco e manejo personalizado da aterosclerose. |
| **Schulze *et al.*, 2025** | Recomenda IA para quantificação automatizada e integração com dados clínicos. | A IA é considerada o elemento central da Angio-TC de coronárias na medicina cardiovascular personalizada. |
| **Shrivastava *et al.*, 2025** | Revisão sistemática mostrou alta precisão da IA na quantificação de placa, estenose e previsão de eventos cardíacos. | IA pode antecipar risco cardiovascular a partir da análise de imagem. |
| **Tu *et al.*, 2024** | Meta-análise indicou elevada acurácia do *deep learning* no diagnóstico diferencial da estenose coronariana. | A IA é uma ferramenta robusta e confiável para avaliação da estenose coronariana. |
| **Van Herten *et al.*, 2024** | IA reduz tempo de interpretação e aumenta a precisão diagnóstica. | Ferramenta viável, custo-efetiva e de fácil integração ao fluxo clínico. |
| **Stamate *et al.*, 2024** | IA associada a *big data* favorece diagnóstico precoce e terapias personalizadas. | Impulsiona transição da cardiologia reativa para preditiva. |

Os resultados apresentados reforçam o auxílio valioso que a Inteligência Artificial pode se tornar na prática cardiológica, contribuindo para diagnósticos mais precoces e personalizados. No entanto, ainda são necessários estudos mais aprofundados sobre a confiabilidade desses sistemas, garantindo uma aplicação segura e ética nos diferentes contextos clínicos.

ISSN: 2675-6218 - RECIMA21
Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



## 5. DISCUSSÃO

A incorporação da Inteligência Artificial na interpretação de exames de imagem cardíaca representou uma transformação relevante para a prática diagnóstica contemporânea, ao introduzir maior padronização, reprodutibilidade e eficiência aos processos de análise. Os estudos incluídos nesta revisão demonstraram que a aplicação de algoritmos de IA esteve associada à redução da variabilidade intra e interobservador e ao aumento da consistência diagnóstica, particularmente em métodos altamente dependentes da experiência do examinador, como a ecocardiografia e a angiotomografia computadorizada de coronárias (Karakuş *et al.,* 2022; Mor-Avi *et al.,* 2023). Esses achados reforçaram o papel da IA como ferramenta de suporte à decisão clínica, com potencial impacto direto no manejo e no prognóstico cardiovascular.

No âmbito da ecocardiografia, os modelos baseados em aprendizado profundo apresentaram desempenho elevado na identificação automatizada de alterações estruturais e funcionais, incluindo avaliação da fração de ejeção ventricular, análise do strain miocárdico e detecção de cardiopatias estruturais, com acurácia frequentemente superior a 90% (Liu *et al.,* 2022; 2023). Adicionalmente, diversos estudos relataram ganhos significativos em eficiência operacional, como redução do tempo de aquisição e interpretação das imagens, além de suporte à padronização de medidas realizadas por operadores menos experientes (Narang *et al.,* 2021). Tais resultados sugeriram um potencial papel democratizador da IA, especialmente relevante em sistemas de saúde com desigualdade na distribuição de especialistas, como o Sistema Único de Saúde (SUS).

De maneira semelhante, a aplicação da IA na angio-TC de coronárias demonstrou desempenho consistente na quantificação automatizada de placas ateroscleróticas, identificação de estenoses hemodinamicamente significativas e estratificação de risco cardiovascular, apresentando elevados índices de sensibilidade e especificidade (Du *et al.,* 2025; Tu *et al.,* 2024). A integração entre achados anatômicos derivados das imagens e variáveis clínicas permitiu uma avaliação mais refinada do risco individual, alinhada aos princípios da medicina de precisão e às recomendações contemporâneas para o manejo da doença arterial coronariana.

Apesar dos avanços observados, os estudos analisados evidenciaram limitações técnicas e científicas relevantes. Um dos principais desafios identificados referiu-se à presença de vieses algorítmicos decorrentes do treinamento dos modelos em bases de dados restritas, frequentemente oriundas de populações homogêneas e de centros únicos. Esse cenário favoreceu a ocorrência de fenômenos como *dataset bias*, *spectrum bias* e *demographic bias*, comprometendo a capacidade de generalização dos algoritmos e potencialmente reproduzindo desigualdades em saúde (Maturi *et al.,* 2025; Liu *et al.,* 2025). Além disso, a heterogeneidade entre equipamentos, protocolos de aquisição de imagem e padrões institucionais interferiu negativamente na robustez externa dos modelos, uma vez que ainda não existe padronização


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



internacional consolidada para o treinamento e validação de sistemas de IA aplicados à imagem cardíaca.

Outro aspecto crítico discutido foi a limitada *explainability* (ou interpretabilidade) dos modelos de IA. Muitos algoritmos, especialmente aqueles baseados em redes neurais profundas, operaram como verdadeiras “caixas-pretas”, fornecendo predições acuradas sem explicitar de forma transparente os mecanismos decisórios subjacentes (Karakuş *et al.,* 2022; Krittanawong *et al.,* 2023; Myhre *et al.,* 2025). Essa limitação comprometeu a confiança dos profissionais de saúde e levantou implicações éticas, legais e regulatórias relevantes, sobretudo em cenários nos quais decisões diagnósticas impactam diretamente a conduta terapêutica.

Com o objetivo de mitigar essa lacuna, abordagens como estratégias de *explainable artificial intelligence* (XAI) têm sido progressivamente incorporadas aos modelos aplicados à imagem cardíaca. Técnicas como o *Gradient-weighted Class Activation Mapping* (Grad-CAM), *SHapley Additive exPlanations* (SHAP) e *Local Interpretable Model-agnostic Explanations* (LIME) permitiram identificar regiões de maior relevância nas imagens ecocardiográficas ou coronarianas, bem como estimar o peso relativo das variáveis utilizadas nas predições algorítmicas (Mor-Avi *et al.,* 2023; Stamate *et al.,* 2024). Apesar desses avanços, revisões recentes apontaram que tais estratégias ainda apresentam limitações metodológicas importantes e carecem de validação clínica padronizada, o que restringe sua adoção ampla e segura na prática assistencial (Maturi *et al.,* 2025; Liu *et al.,* 2025).

O ambiente regulatório mostrou-se determinante para a adoção segura da IA na cardiologia. Agências reguladoras internacionais, como a *Food and Drug Administration* (FDA) e os órgãos europeus de certificação (EMA/CE) passaram a classificar sistemas de IA aplicados à imagem médica como *Software as a Medical Device* (SaMD), exigindo validação clínica robusta, monitoramento contínuo de desempenho e controle rigoroso das atualizações algorítmicas (Schulze *et al.,* 2025; Van Herten *et al.,* 2024). Entretanto, modelos com aprendizado adaptativo contínuo ainda enfrentaram restrições regulatórias, devido ao risco de comportamento imprevisível após modificações automáticas. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) encontra-se em processo de alinhamento progressivo às normas internacionais, embora persistam lacunas regulatórias que dificultam a incorporação rotineira dessas tecnologias no Sistema Único de Saúde (SUS).

Do ponto de vista econômico e estrutural, a implementação da IA exigiu investimentos expressivos em infraestrutura computacional, incluindo servidores de alto desempenho, sistemas de armazenamento seguro e *hardware* especializado, como unidades de processamento gráfico (GPUs). Embora a literatura sugira potencial redução de custos a longo prazo — por meio da diminuição do tempo de laudos, retrabalho e eventos cardiovasculares evitáveis — esses benefícios ainda não foram consistentemente demonstrados em análises robustas de custo-


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



efetividade, especialmente em sistemas públicos de saúde (Irannegjad *et al.,* 2025; Shrivastava *et al.,* 2025).

No contexto brasileiro, particularmente no SUS, desafios adicionais foram identificados, como a heterogeneidade estrutural entre os serviços, a fragmentação dos sistemas de informação e a escassez de profissionais capacitados em ciência de dados e IA aplicada à saúde. Por outro lado, a possibilidade de padronizar laudos, ampliar o acesso a exames especializados e apoiar a tomada de decisão clínica em regiões remotas representou uma oportunidade estratégica para a qualificação do cuidado cardiovascular.

Finalmente, as perspectivas futuras mostraram-se promissoras. A evolução para abordagens de IA multimodal, integrando dados de ecocardiografia, angio-TC, eletrocardiograma, biomarcadores e informações clínicas, tende a gerar modelos diagnósticos mais precisos e personalizados. Avanços recentes em IA generativa demonstraram potencial para reconstrução de imagens, redução de artefatos e melhoria da qualidade diagnóstica sem aumento da dose de radiação (Myhre *et al.,* 2025; Stamate *et al.,* 2024). Além disso, o desenvolvimento de *foundation models* treinados em grandes bases de dados de imagem médica, incluindo iniciativas voltadas à cardiologia personalizada, como modelos do tipo HeartGPT e plataformas derivadas de bancos extensos como o RadImageNet, apontou para maior generalização, adaptabilidade e desempenho clínico futuro (Schulze *et al.,* 2025; Irannegjad *et al.,* 2025).

Em síntese, os resultados desta revisão confirmam que a Inteligência Artificial tem impacto crescente e significativo no diagnóstico cardiovascular, promovendo maior acurácia, eficiência e potencial de personalização. Contudo, sua incorporação ampla e segura exige atenção aos vieses algorítmicos, fortalecimento regulatório, expansão da infraestrutura e aprimoramento dos mecanismos de interpretabilidade. Investimentos em pesquisa, validação multicêntrica e capacitação profissional serão fundamentais para que a IA se consolide como uma ferramenta verdadeiramente transformadora na prática cardiológica contemporânea.

## REFERÊNCIAS

DU, M. *et al.* Inteligência Artificial em Angiografia por TC para a Detecção de Estenose Arterial Coronariana e Placa Calcificada: Uma Revisão Sistemática e Meta-análise. **Radiologia Acadêmica**, v. 32, n. 7, p. 3776-3787, jul. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.acra.2025.03.054.

IRANNEGJAD, K. *et al.* Inteligência artificial na angiografia por TC coronária: transformando o diagnóstico e a estratificação de risco de aterosclerose. **International Journal of Cardiovascular Imaging**, v. 41, n. 9, p. 1643-1656, set. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10554-025-03440-8.


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

KARAKUŞ, G.; DEĞIRMENCIOĞLU, A.; NANDA, N. C. Inteligência artificial em ecocardiografia: Revisão e limitações, incluindo preocupações epistemológicas. **Ecocardiografia**, v. 39, n. 8, p. 1044-1053, ago. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/echo.15417.

KRITTANAWONG, C. *et al.* Aprendizagem Profunda para Ecocardiografia: Introdução para Médicos e Visão Futura: Revisão de Estado da Arte. **Life,** v. 13, n. 4, p. 1029, 17 abr. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/life13041029.

LIU, B. *et al.* A deep learning framework assisted echocardiography (AIEchoDx) differentiating common cardiac diseases. **Scientific Reports**, 2022/2023.

LIU, Y. *et al.* Application of artificial intelligence in echocardiography from 2009 to 2024: a bibliometric analysis. **Frontiers in Medicine**, v. 12, p. 1587364, 29 jul. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1587364.

MATURI, B. *et al.* Revolutionizing Cardiology: The Role of Artificial Intelligence in Echocardiography. **Journal of Clinical Medicine**, v. 14, n. 2, p. 625, 19 jan. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jcm14020625.

MOR-AVI, V. *et al.* Medição assistida por aprendizado profundo de parâmetros ecocardiográficos do coração esquerdo: melhoria na variabilidade interobservador e na eficiência do fluxo de trabalho. **The International Journal of Cardiovascular Imaging**, v. 39, n. 12, p. 2507-2516, dez. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10554-023-02960-5.

MYHRE, P. L. *et al.* Ecocardiografia aprimorada por inteligência artificial no manejo de doenças cardiovasculares. **Nature Reviews Cardiology**, 5 ago. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41569-025-01197-0.

NARANG, A. *et al.* Utility of a Deep-Learning Algorithm to Guide Novices to Acquire Echocardiograms for Limited Diagnostic Use. **JAMA Cardiology**, v. 6, n. 6, p. 624–632, jun. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1001/jamacardio.2021.0185.

SCHULZE, K. *et al.* Coronary CT angiography evaluation with artificial intelligence for individualized medical treatment of atherosclerosis: a Consensus Statement from the QCI Study Group. **Nature Reviews Cardiology**, 1 ago. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41569-025-01191-6.

SHRIVASTAVA, P. *et al.* Uma revisão sistemática sobre angiografia por TC coronariana habilitada para aprendizado profundo para quantificação de placa e estenose e previsão de risco cardíaco. **European Journal of Radiology Open**, v. 14, p. 100652, 2 maio 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ejro.2025.100652.

STAMATE, E. *et al.* Revolutionizing Cardiology through Artificial Intelligence-Big Data from Proactive Prevention to Precise Diagnostics and Cutting-Edge Treatment-A Comprehensive Review of the Past 5 Years. **Diagnostics,** v. 14, n. 11, p. 1103, 26 maio 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/diagnostics14111103.

TROMP, J. *et al.* A formal validation of a deep learning-based automated interpretation of echocardiography parameters. **Nature Communications**, 2022.


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218



TU, Li *et al.* Accuracy of deep learning in the differential diagnosis of coronary artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. **BMC Medical Imaging**, v. 24, n. 243, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1186/s12880-024-01403-4.

VAN HERTEN, R. L. M. *et al.* O papel da inteligência artificial na angiografia por TC coronária. **Netherlands Heart Journal**, v. 32, n. 11, p. 417-425, nov. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s12471-024-01901-8.


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.