

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CARDIOLOGIA

AUTORES

SILVA, João Luiz Camilo da

GOMES, Lucas Silva

QUEIROZ, Caio Caetano de

Discente da União das Faculdades dos Grandes Lagos – UNILAGO

CHAVES, Elemberg

Docente da União das Faculdades dos Grandes Lagos – UNILAGO

RESUMO

Inteligência artificial (IA) se refere amplamente a algoritmos analíticos que aprendem iterativamente a partir dos dados, permitindo que os computadores encontrem percepções ocultas sem serem explicitamente programados para onde olhar. Isso inclui uma família de operações que engloba vários termos como aprendizado de máquina, aprendizado cognitivo, aprendizado profundo e métodos baseados em aprendizado de reforço que podem ser usados para integrar e interpretar dados biomédicos e de saúde complexos em cenários onde os métodos estatísticos tradicionais podem não ser capazes de funcionar. O objetivo que norteou essa revisão foi ponderar o que tem feito a inteligência artificial no âmbito da cardiologia e quais os possíveis benefícios outorgados nesse meio. Para isso, foram selecionados treze artigos sobre o tema, com base no método de revisão de literatura. Tal modelo inovador pode nortear a destinação de recursos insuficientes no âmbito da saúde e auxiliar na identificação eficaz e determinada de decisões que beneficiem a personalização do cuidado baseando-se no curso de informações que surgem em uma biogeocenose integrada e intrincada, tem-se uma medicina de precisão. Assim sendo, é possível deduzir que a prática das ciências cardiovasculares terá grandes impactos, que serão evidenciados em uma abordagem personalizada e resultados aprimorados. Concluiu-se que tecnologias, portanto, têm o potencial de melhorar as decisões clínicas e levar a uma redução no número de investigações, terapias e intervenções desnecessárias.

PALAVRAS - CHAVE

Doenças Cardiovasculares; Tecnologia na medicina; Machine Learning.

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) broadly refers to analytic algorithms that iteratively learn from data, allowing computers to find hidden insights without being explicitly programmed where to look. This includes a family of operations that encompasses various terms such as machine learning, cognitive learning, deep learning, and reinforcement learning-based methods that can be used to integrate and interpret complex biomedical and health data in settings where traditional statistical methods may not be able to function. The objective that guided this review was to consider what artificial intelligence has been doing in the field of cardiology and what the possible benefits granted in this environment are. For this, thirteen articles on the subject were selected, based on the literature review method. Such an innovative model can guide the allocation of insufficient resources in the field of health and assist in the effective and determined identification of decisions that benefit the personalization of care based on the course of information that arises in an integrated and intricate biogeocenosis, there is a medicine of precision. Therefore, it is possible to deduce that the practice of cardiovascular sciences will have great impacts, which will be evidenced in a personalized approach and improved results. It was concluded that technologies therefore have the potential to improve clinical decisions and lead to a reduction in the number of unnecessary investigations, therapies and interventions.

Keywords: Cardiovascular diseases; Technology in medicine; Machine Learning.

1. INTRODUÇÃO

Observa-se uma transformação de conjunturas na vida atual. Diante da existência de computadores, ampla tecnologia e máquinas inteligentes no mundo todo, as presciências de obras fictícias antes encaradas como impossíveis de realização, tornam-se, aos poucos, uma realidade; em um tempo de tecnologia onipresente. Em frente aos mecanismos computacionais mais constantemente citados em análises clínicas e encaradas com admiração por parte da comunidade científica e de acordo com os pesquisadores há um particular destaque para a Inteligência Artificial (IA) e o consecutivo aprendizado das máquinas, o chamado *Machine Learning*. Geralmente, a Inteligência Artificial é determinada como o signo de componentes como algoritmos, robótica, redes neurais que viabilizam que *softwares* possuam atributos de inteligência que sejam próximas às de um ser humano, entre elas o aprendizado com pouca interferência humana por meio de bancos de dados (MESQUITA, 2017).

Mediante o frenético avanço tecnológico experienciado pela comunidade médica nas últimas décadas, a mudança das imagens digitais para dados de alta dimensão, isto é, com considerável número de elementos, foi impelido pelo conceito de que imagens possuem uma abundância de informações fisiopatológicas implícitas, reiteradamente, de identificação e entendimento intrincados pela observação visual convencional (ARAÚJO-FILHO et al, 2019).

Inteligência artificial (IA) se refere amplamente a algoritmos analíticos que aprendem iterativamente a partir dos dados, permitindo que os computadores encontrem percepções ocultas sem serem explicitamente programados para onde olhar. Isso inclui uma família de operações que engloba vários termos como aprendizado de máquina, aprendizado cognitivo, aprendizado profundo e métodos baseados em aprendizado de reforço que podem ser usados para integrar e interpretar dados biomédicos e de saúde complexos em cenários onde os métodos estatísticos tradicionais podem não ser capazes de funcionar (SHAMEER, et al, 2018).

Ademais, os novos avanços relativos a *hardware* concernentes ao processamento de dados, às diversas metodologias de aprendizado de máquina e o considerável número de dados anotados auxiliaram para que a inteligência artificial (IA) propiciasse uma grande transformação de padrões nos mais variados ramos do conhecimento médico, e em especial, em Cardiologia, por sua habilidade de dar suporte às deliberações que podem aprimorar a performance do diagnóstico e também do prognóstico. Essas repercussões devem ser analisadas no ponto de vista da segurança do paciente, individualização dos cuidados, concepção de valor para os pacientes, na seara da tecnologia que aos poucos consubstancia a IA como essencial para uma prática médica de qualidade (DEY et al, 2019).

Os caminhos mais promissores para IA na medicina são o desenvolvimento de algoritmos automatizados de predição de risco que podem ser usados para orientar o atendimento clínico; uso de técnicas de aprendizado não supervisionado para mais precisamente fenotipar doenças complexas; e a implementação de algoritmos de aprendizagem por reforço para aumentar de forma inteligente os prestadores de cuidados de saúde. A utilidade de um modelo preditivo baseado em aprendizado de máquina dependerá de fatores, incluindo heterogeneidade de dados, profundidade de dados, amplitude de dados, natureza da tarefa de modelagem, escolha de aprendizado de máquina e algoritmos de seleção de recursos e evidência ortogonal. Uma compreensão crítica da força e das limitações de vários métodos e tarefas passíveis de aprendizado de máquina é vital. Aproveitando o crescente corpus de big data na medicina, detalhamos caminhos pelos quais o aprendizado de máquina pode facilitar o desenvolvimento

ideal de modelos específicos do paciente para melhorar o diagnóstico, a intervenção e os resultados na medicina cardiovascular (SHAMEER, et al, 2018).

“Big data” é usado para descrever grandes quantidades de dados coletados. Na área da saúde, isso inclui registros médicos, resultados de pacientes, dados de resultados, dados genômicos e, mais importante, informações derivadas de imagens. “Biobancos” e “bio-recursos” (“*Biobanks*” e “*bio-resources*”) são uma forma particular de coleta organizada de “big data” geralmente como parte de um programa formal de pesquisa com coleta de dados rigorosa e controle de qualidade. “Atlas” (*Atlases*) são grandes coleções de dados em que os dados são combinados para fornecer informações de referência sobre a variação dentro de um sistema organizado, como a estrutura do coração (DEY et al, 2019).

As pioneiras aplicações da IA em imagem cardíaca se embasaram na medida quantitativa automatizada de padrões anatômicos (a exemplo das estenoses e dilatações vasculares) e funcionais (a exemplo da fração de ejeção ventricular) antes feitos de forma manual e reiteradamente tidos como trabalhosos e morosos (ARAÚJO-FILHO et al, 2019).

A despeito dos resultados motivadores e da quantidade cada vez maior de publicações nessa temática, ainda tem-se um considerável caminho a ser trilhado anteriormente que os indícios científicos abrangendo IA na imagenologia cardíaca sejam introduzidas no dia a dia clínico (ARAÚJO-FILHO et al, 2019).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Refere-se a um estudo de revisão da literatura de artigos publicados nos últimos cinco anos sobre a inteligência artificial na cardiologia, com o intento de observar as características deste assunto tão atual e como o mesmo tem influenciado positivamente na comunidade científica.

Tem-se que a revisão de literatura abrange descobertas de estudos feitos defronte diversos outros métodos que existem, como o bibliográfico, viabilizando consequentemente aos revisores recopilar resultados sem prejudicar a subordinação epistemológica dos estudos empíricos que estão incluídos em certo artigo, dessa forma analisando resumos dos dados de modo sistemático (GALVÃO; RICARTE, 2020).

A questão norteadora desta revisão foi: O que tem feito a inteligência artificial no âmbito da cardiologia? Quais os benefícios outorgados?

Para a revisão bibliográfica foram utilizadas as bases de dados Scielo, Lilacs (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde) e PubMed. Os descritores utilizados foram: “inteligência artificial”; “inteligência artificial na cardiologia”; “ferramentas computacionais na cardiologia”; “Internet das coisas na cardiologia”; “*Machine Learning* em Cardiologia”, “*Artificial Intelligence in Cardiology*” e “três dimensões na cardiologia”.

Foram inclusos na presente revisão treze artigos da literatura, sendo três nacionais de 2017 a 2020, e dez internacionais de 2016 a 2019, com busca em base de dados *on-line*.

Depois da leitura dos artigos supramencionados, os seus dados foram analisados de forma minuciosa e um compêndio dos mesmos foram organizados em conformidade à elaboração autoral, título do trabalho, importância do trabalho, ano de publicação, espécie de estudo e suas conclusões, como será explorado seguidamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A expressão IA foi usada pioneiramente na Conferência de Dartmouth no ano de 1956. Todavia, a viabilidade de que as máquinas tivessem a capacidade de imitar o comportamento humano e de fato raciocinar foi pensada previamente por Alan Turing em 1950, que fez um teste para distinguir os seres humanos das máquinas – o chamado teste de Turing. Resumidamente, a IA é uma mercadoria advinda da conciliação de modelos matemáticos aprimorados e computação, que viabiliza o desenvolvimento de algoritmos intrincados com a capacidade de simular a inteligência humana. Tal processo começa com a edificação de um banco de dados que represente uma problemática que se almeja estudar – arrecadando e processando de forma adequada – intitulando-se os mesmos de dados saudáveis (MARQUES, et al, 2020).

As pioneiras aplicações da IA em imagem cardíaca se embasaram numa medida quantitativa automatizada de parâmetros anatômicos e funcionais antes feitos de modo manual, sendo bem mais intrincados e demorados. Hoje as aplicações abrangem a predição de isquemia miocárdica por meio de observação automatizada do Fluxo Fracionado de Reserva (FFR) coronariano por Tomografia Computadorizada (TC) e a reconhecimento de placas vulneráveis por angio-TC utilizando *radiomics*, um mecanismo de análise quantitativa de imagens com base em análise textural, isto é, na heterogeneidade de um setor de interesse por meio do arranjo de pixels ou índices de cinza de cada voxel. Há também achados cardiovasculares incidentais em exames de TC e Ressonância Magnética (RM) (SOFFER et al, 2019).

A inteligência artificial (IA) transformou aspectos-chave da vida humana. *Machine learning* (ML), que é um subconjunto da IA em que as máquinas adquirem informações autonomamente, extraindo padrões de grandes bancos de dados, tem sido cada vez mais usado na comunidade médica e, especificamente, no domínio das doenças cardiovasculares. Observa-se aqui uma visão geral das metodologias de ML que são usadas para a construção de modelos baseados em dados inferenciais e preditivos. Destaca-se vários domínios de aplicação de ML, como ecocardiografia, eletrocardiografia e recentemente desenvolvidas modalidades de imagem não invasivas, como pontuação de cálcio da artéria coronária e angiografia por tomografia computadorizada coronariana (AL'AREF et al, 2018).

A pesquisa cardiovascular e as comunidades clínicas estão idealmente posicionadas para enfrentar a epidemia de causas de morte não transmissíveis, bem como para avançar a compreensão da saúde e doença humana, por meio do desenvolvimento e implementação da medicina de precisão - que faz uso de novas tecnologias. Novas ferramentas serão necessárias para descrever o estado de saúde cardiovascular de indivíduos e populações, incluindo dados 'ômicos', determinantes sociais e de exposição, o microbioma, comportamentos e motivações, dados gerados pelo paciente e a variedade de dados em registros médicos eletrônicos. Os especialistas cardiovasculares podem aproveitar sua experiência e usar a medicina de precisão para facilitar a descoberta da ciência e melhorar a eficiência da pesquisa clínica, com o objetivo de fornecer informações mais precisas para melhorar a saúde de indivíduos e populações. Os cuidados de saúde sob a medicina de precisão se tornarão um sistema mais integrado e dinâmico, no qual os pacientes não são mais uma entidade passiva sobre a qual as medições são feitas, mas sim partes interessadas centrais que contribuem com dados e participam ativamente na tomada de decisão compartilhada (ANTMAN, LOSCALZO, 2016).

Além dos métodos axiais, as possíveis utilizações de mecanismos de IA na ecocardiografia são igualmente abrangentes e envolvem a análise funcional automatizada (abrangendo uma fração de ejeção e *strain* longitudinal), a dimensionação de anomalias de contratilidade segmentar e o reconhecimento de eixos

e estruturas com técnicas de DL. Há estudos que abrangem a análise textural de placas coronarianas e valva aórtica por *radiomics*, marcadores prognósticos em cardiomiopatias com técnicas de ML e análise funcional ventricular automatizada com mecanismos de DL (ALSHARQI, 2018).

A ecocardiografia é uma ferramenta essencial no diagnóstico e tratamento de uma ampla gama de doenças cardiovasculares. Como resultado, as diretrizes foram desenvolvidas para garantir a quantificação e interpretação precisas, mas a análise final permanece dependente do operador ter a experiência e o conhecimento para aderir a essas diretrizes. Pode ser possível superar ou reduzir essa limitação com o uso de modelos de aprendizado de máquina (*machine learning*). Por exemplo, as diretrizes recomendam medidas quantitativas de câmaras e válvulas durante a avaliação para informar a tomada de decisão clínica. No entanto, em ambientes clínicos ocupados, como configurações de emergência aguda, a análise quantitativa pode não ser prática devido ao tempo adicional necessário para o rastreamento manual. Portanto, é reconhecido que a estimativa visual continua sendo o esteio em muitas áreas da prática clínica; embora isso requeira experiência considerável em ecocardiografia. A aplicação do aprendizado de máquina para destacar a necessidade de quantificação ou fornecer medidas totalmente automatizadas rapidamente para o médico poderia, portanto, superar esse problema e melhorar a precisão do diagnóstico (ALSHARQI, 2018).

O ML pode ser categorizado em 3 tipos de aprendizado: supervisionado; não supervisionado; e reforço. No aprendizado supervisionado, os algoritmos usam um conjunto de dados rotulados por humanos para prever o resultado desejado e conhecido. O aprendizado supervisionado é ótimo para problemas de classificação e regressão, mas requer muitos dados e é demorado porque os dados precisam ser rotulados por humanos. Por outro lado, o aprendizado não supervisionado busca identificar novos mecanismos de doenças, genótipos ou fenótipos de padrões ocultos presentes nos dados. Na aprendizagem não supervisionada, o objetivo é encontrar os padrões ocultos nos dados sem feedback dos humanos. Por exemplo, ensinar residentes médicos (rótulos) antes que eles vejam os pacientes pode ser denominado aprendizado supervisionado. Em contraste, permitir que os médicos residentes vejam os pacientes (sem rótulos) e, em seguida, permitir que eles aprendam com seus erros (erros) e elaborem seus próprios planos (otimizar) pode ser denominado aprendizado não supervisionado. Alguns algoritmos, como redes neurais artificiais (RNAs), podem ser treinados usando aprendizado supervisionado ou não supervisionado para otimizar a precisão da predição automatizada. Por último, a aprendizagem por reforço pode ser vista como um híbrido de aprendizagem supervisionada e não supervisionada. O objetivo da aprendizagem por reforço é maximizar a precisão dos algoritmos usando tentativa e erro. (KRITTANAWONG et al, 2017).

A natureza desses dados é diversa, diversificando os dados socioambientais, clínico-laboratoriais a dados ômicos (como metaboloma, proteoma, lipidoma) e informações das intensidades de vermelho, verde e azul (sistema RGB) de cada pixel que faz parte de uma imagem, a título de exemplo. Origens múltiplas desses dados abrangem as obtidas de registros médicos eletrônicos ou até mesmo dispositivos chamados de “*wearables*” (“vestíveis”). Aqui, o “Big Data” é usado para caracterizar um considerável acervo de dados para os quais as metodologias clássicas de análise não são bem-sucedidas na observação, pesquisa, interpretação e armazenagem (MARQUES, et al, 2020).

As tecnologias de *blockchain*, a internet das coisas (IoT), a impressão em três dimensões (3D) e a inteligência artificial auxiliam na concepção de uma rede de mercados baseada em plataformas de pequenas organizações. Assim, negócios fundamentados em alta tecnologia possuem o potencial de colaborar para o sucesso de procedimentos e organização do meio hospitalar. Nesse sentido, as máquinas

passam a usar a auto otimização, autoconfiguração e, inclusive, inteligência artificial para completar tarefas intrincadas, buscando viabilizar eficiências de custo maiores e bens ou serviços de qualidade superior (DILSIZIAN; SIEGEL, 2018).

O desenvolvimento de algoritmos de IA possui o benefício de não demandar pressupostos diversos no que tange aos dados subjacentes. Além disso, a origem desses modelos matemático-computacionais viabiliza, por meio de dados observacionais, um considerável grau de evidência por conta de seu alto desempenho, o que acaba evidenciando uma grande transformação de paradigma na medicina baseada em evidências. Observa-se que os ensaios clínicos tradicionais são lentos no geral, além de terem um alto custo e serem limitados em tamanho (ANTMAN, LOSCALZO, 2016).

Tal modelo inovador pode nortear a destinação de recursos insuficientes no âmbito da saúde e auxiliar na identificação eficaz e determinada de decisões que beneficiem a personalização do cuidado baseando-se no curso de informações que surgem em uma biogeocenose integrada e intrincada, tem-se uma medicina de precisão. Assim sendo, é possível deduzir que a prática das ciências cardiovasculares terá grandes impactos, que serão evidenciados em uma abordagem personalizada e resultados aprimorados (ANTMAN, LOSCALZO, 2016).

Na ecocardiografia diversas pesquisas analisando a utilização do *Machine Learning* na explicação de imagens. que por meio de um banco de dados de pacientes com miocardiopatia hipertrófica e de pessoas com hipertrofia fisiológica que se submeteram a *Speckle Tracking*, conseguiram fazer um sistema computacional com base em ML com capacidade de assistir ecocardiografistas não tão experientes na diferenciação entre as condições com alta acurácia. O *Machine Learning* irá diminuir ou erradicar a instabilidade intra e inter observador dos exames ecocardiográficos e diminuir de maneira acentuada os erros cognitivos. Assim, a utilização da inteligência artificial se depara com a ética médica, uma vez que as dúvidas que podem acontecer em situações de erros que poderão concernir à concessão de responsabilidades como um questionamento de erros médicos ou de softwares, sendo esta uma discussão que deve ser ponderada. Deve-se atentar para o fato de que ocorrerá uma diminuição concreta da imprescindibilidade de médicos em conjunturas onde os computadores poderão ser alimentados de forma direta por informações meramente digitais como já ocorre na radiologia e na patologia, uma vez que o grande número de informações digitais disponíveis viabilizará a formação de bancos de dados confiáveis que irão levar a um desempenho das máquinas melhor que a humana (NARULA et al, 2016).

Uma das principais vantagens de usar modelos de *Machine Learning* no processo de interpretação é que os modelos também podem reunir esses dados para atuar como ferramentas de previsão com níveis potencialmente altos de precisão. Após o treinamento, o algoritmo de aprendizado de máquina deve ser capaz de reconhecer diferentes padrões estruturais e funcionais cardíacos que, se sutis, podem ser perdidos durante a interpretação pelo médico. Esses dados são previstos pela comparação de recursos de novos dados com um modelo ajustado em recursos extraídos dos dados de treinamento. Embora a aplicação do ML à ecocardiografia esteja em um estágio relativamente inicial, várias aplicações já foram desenvolvidas para facilitar a interpretação (DEY et al, 2019).

A interpretação e as diretrizes da ecocardiografia dependem fortemente do uso de medidas quantitativas. As técnicas de processamento de imagens com algoritmos de aprendizado de máquina subjacentes têm se mostrado promissoras para a rápida identificação de estruturas e quantificação de parâmetros relacionados. A avaliação do volume e da função ventricular esquerda foi uma das primeiras aplicações da inteligência artificial para minimizar o erro e reduzir a subjetividade do operador. Os métodos

evoluíram tanto que, recentemente, a literatura evidenciou que a fração de ejeção do ventrículo esquerdo e o *strain* longitudinal podem ser analisados em aproximadamente 8s usando métodos de aprendizado de máquina. Na ecocardiografia 3D, os modelos de floresta aleatórios para identificar as bordas mostraram fornecer uma identificação precisa das cavidades ventriculares esquerda e direita, de modo que os volumes derivados dos ventrículos esquerdo e direito sejam comparáveis aos medidos por ressonância magnética cardíaca. Além disso, foi demonstrado que o aprendizado de máquina auxilia na avaliação de valvopatia, por exemplo, valvopatia mitral. Avaliações automatizadas de ecocardiogramas transesofágicos 3D da válvula mitral forneceram uma avaliação quantitativa mais reprodutível e consistente do tamanho do anel valvar mitral e sua morfologia do que a interpretação humana. Um extenso trabalho também foi feito no campo da segmentação da válvula aórtica para o planejamento de procedimento de implantação de válvula aórtica transtorácica (DEY et al, 2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível observar que os mecanismos de inteligência artificial, como a mineração de dados (*data mining*) e o aprendizado de máquina (*machine learning*), igualmente contribuem para a análise da imagem ecocardiográfica. Na seara da cardiologia clínica, os estudos evidenciaram que os algoritmos de aprendizado profundo superam os clínicos na previsão de prognóstico e eventos que irão ocorrer em pacientes cardíacos. Ainda, o ML auxiliou já a desenvolver uma classificação fenotípica evidente de pacientes com insuficiência cardíaca com fração de ejeção preservada.

Diversas pesquisas cardiovasculares com base em mecanismos de inteligência artificial estão caminhando positivamente com o objetivo de lograr uma excelência em diagnose e tratamento de doenças em tal ramo. Pela alta potencialidade de transformar a forma como se concebe o conhecimento, interpreta-se dados e se toma decisões, a IA pode provocar incertezas e dúvidas entre os profissionais de saúde e os médicos. Todavia, no uso evidencia-se a cada dia mais útil e necessária a procura de respostas aos questionamentos progressivos que a medicina demanda.

Concluiu-se que embora a ecocardiografia seja a modalidade de imagem mais acessível para o diagnóstico de doenças cardiovasculares, sua interpretação permanece subjetiva e dependente do operador. Neste artigo, destacamos algumas das pesquisas que demonstram o valor da IA, em particular o aprendizado de máquina, em imagens médicas e seu potencial para melhorar o atendimento ao paciente. A inclusão de modelos de aprendizado de máquina na ecocardiografia e tecnologia no meio da cardiologia parece muito promissora, pois essas são capazes de identificar com precisão várias características ecocardiográficas e prever resultados, sem as limitações inerentes à interpretação humana atualmente. Essas tecnologias, portanto, têm o potencial de melhorar as decisões clínicas e levar a uma redução no número de investigações, terapias e intervenções desnecessárias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL'AREF SJ, et al. Clinical applications of machine learning in cardiovascular disease and its relevance to cardiac imaging. **Eur Heart J**. 2018;40(24):1975-86.
- ALSHARQI M, et al Artificial intelligence and echocardiography. **Echo Res Pract**. 2018;5(4):R115-R25.
- ANTMAN EM, LOSCALZO J. Precision medicine in cardiology. **Nat Rev Cardiol**. 2016;13(10):591-602.
- ARAÚJO-FILHO et al. Inteligência Artificial e Imagem Cardíaca. **Arq Bras Cardiol: Imagem cardiovasc**. 2019;32(3):154-156.
- DEY D, et al. Artificial Intelligence in Cardiovascular **Imaging**: JACC State-of-the-Art Review. **J Am Coll Cardiol**. 2019;73(11):1317-35.
- DILSIZIAN ME, SIEGEL EL. Machine meets biology: a primer on artificial intelligence in cardiology and cardiac imaging. **Curr Cardiol Rep**. 2018;20(12):139.
- GALVÃO, M.C.B.; RICARTE, I.L.M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **LOGEION: Filosofia da informação**, Rio de Janeiro, v. 6 n. 1, p.57-73, set.2019/fev. 2020.
- JOHNSON, K.W. et al. Artificial Intelligence in Cardiology. **J Am Coll Cardiol**. 2018;71(23):2668-79.
- KRITTANAWONG C, et al. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. **J Am Coll Cardiol**. 2017;69(21):2657-64
- MARQUES, E.M.S. et al. Inteligência Artificial em Cardiologia: Conceitos, Ferramentas e Desafios “ –Quem Corre é o Cavalo, Você Precisa ser o Jôquei”. **Arq Bras Cardiol**. 2020; 114(4):718-725.
- MESQUITA, C.T. Inteligência Artificial e Machine Learning em Cardiologia – Uma Mudança de Paradigma. **International Journal of Cardiovascular Sciences**. 2017;30(3):187-188.
- NARULA S, et al. Machine-Learning Algorithms to Automate Morphological and Functional Assessments in 2D Echocardiography. **J Am Coll Cardiol**. 2016;68(21):2287–95.
- SHAMEER K, et al. Machine learning in cardiovascular medicine: are we there yet? **Heart**. 2018;104(14):1156-64.
- SOFFER S, et al. Convolutional Neural Networks for Radiologic Images: A Radiologist's Guide. **Radiology**. 2019;290(3):590-606.