

AUTOMAÇÃO EM LABORATÓRIO DE MICROBIOLOGIA CLÍNICA COM AUXÍLIO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE AGENTES PATOGENOS E RECOMENDAÇÃO DE ANTIMICROBIANOS

AUTOMATION IN CLINICAL MICROBIOLOGY LABORATORY WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE ASSISTANCE FOR PATHOGEN IDENTIFICATION AND ANTIMICROBIAL RECOMMENDATION

Joabe Nayan Vieira Rodrigues¹

Krysthian de Oliveira Pinto Ribeiro²

RESUMO: A automação e Inteligência Artificial (IA) desempenham papéis fundamentais no laboratório de microbiologia clínica, agilizando processos, diagnósticos e tratamentos. Métodos microbiológicos tradicionais, como cultura e coloração de Gram, são demorados e repetitivos, mas facilmente automatizáveis. A automação proporciona processamento rápido e preciso de amostras biológicas, enquanto a Inteligência Artificial identifica agentes patogênicos e recomenda tratamentos adequados. Este trabalho investigou o impacto da automação e Inteligência Artificial no diagnóstico de infecções, visando melhorar eficiência, precisão e personalização de diagnósticos e tratamentos. Por meio de uma revisão de literatura, abordou técnicas microbiológicas, automação em laboratório e Inteligência Artificial destacando suas aplicações em laboratórios de microbiologia. A metodologia envolveu pesquisa bibliográfica, como Scientific Electronic Library Online (SciELO) e PubMed, utilizando palavras-chave pertinentes, como antimicrobianos, técnicas microbiológicas e automação em laboratório de microbiologia, entre outras. Espera-se que a implementação dessas tecnologias resulte em diagnósticos mais precisos, tratamentos personalizados e liberação rápida de resultados, beneficiando a prática clínica.

Palavras-chave: Automação; Antimicrobianos; Inteligência Artificial; Microbiologia.

ABSTRACT: Automation and artificial intelligence (AI) play fundamental roles in the clinical microbiology laboratory, streamlining processes, diagnostics, and treatments. Traditional microbiological methods, such as culture and Gram staining, are time-consuming and repetitive but easily automatable. Automation provides rapid and accurate processing of biological samples, while artificial intelligence identifies pathogenic agents and recommends appropriate treatments. This study investigated the impact of automation and artificial intelligence on the diagnosis of infections, aiming to improve efficiency, precision, and personalization of diagnostics and treatments.

¹ Estudante de Biomedicina, Unisales. Vitória/ES, Brasil. joabenayanvieira1@gmail.com

² Docente, Pós graduado em Microbiologia, Mestrando em ciências farmacêuticas. krysthian.ribeiro@salesiano.br

Through a literature review, it addressed microbiological techniques, laboratory automation, and artificial intelligence, highlighting their application in the microbiology laboratory. The methodology involved bibliographic research from sources such as the Scientific Electronic Library Online (SciELO) and PubMed, using relevant keywords such as antimicrobials, microbiological techniques, and laboratory automation in microbiology, among others. It is expected that the implementation of these technologies will result in more accurate diagnoses, personalized treatments, and rapid release of results, benefiting clinical practice.

Keywords: Automation; Antimicrobials; Artificial Intelligence; Microbiology.

1 INTRODUÇÃO

A automação e a Inteligência Artificial têm desempenhado um papel transformador na microbiologia clínica, especialmente no que tange ao diagnóstico e tratamento de infecções. A automação refere-se à aplicação de tecnologias que realizam processos com mínima intervenção humana, enquanto a Inteligência Artificial envolve sistemas que imitam funções cognitivas humanas, como aprendizado e tomada de decisão. No contexto dos laboratórios de microbiologia, essas tecnologias permitem a execução de procedimentos laboratoriais de forma mais rápida, precisa e eficiente, superando as limitações dos métodos tradicionais que são frequentemente manuais e demorados (Amaral, 2018).

Os métodos microbiológicos tradicionais, como cultura, coloração de Gram e testes bioquímicos, são essenciais para a identificação de patógenos. No entanto, esses procedimentos podem ser suscetíveis a erros humanos e demorar consideravelmente para produzir resultados. A automação permite que esses processos sejam realizados simultaneamente em larga escala, reduzindo o tempo necessário para obter diagnósticos precisos. Além disso, a utilização de Inteligência Artificial no laboratório facilita a análise de características físico-químicas dos agentes patogênicos presentes nas amostras, proporcionando recomendações sobre os antimicrobianos mais adequados para o tratamento (Amaral, 2018). Dessa forma, a integração da automação com a Inteligência Artificial não apenas melhora a eficiência operacional dos laboratórios, mas também contribui para atendimentos mais personalizado e eficaz aos pacientes.

A importância da automação nos laboratórios de microbiologia clínica é evidente na melhoria dos procedimentos laboratoriais. A automação não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também diminui a ocorrência de erros durante as fases analíticas dos testes. Por outro lado, a Inteligência Artificial desempenha um papel crucial na identificação do agente patogênico responsável pela infecção e na recomendação do antimicrobiano mais adequado para seu combate. Essa combinação tecnológica promete reduzir significativamente os erros na fase pós-analítica do diagnóstico (Amaral, 2018).

Diante do exposto, o problema central desta pesquisa se concentra na utilização da automação e da Inteligência Artificial para auxiliar procedimentos em laboratórios de microbiologia clínica. A pesquisa busca investigar como essas tecnologias podem

identificar agentes patogênicos com maior precisão e recomendar antimicrobianos adequados para o tratamento das infecções. Acredita-se que a adoção da automação e Inteligência Artificial influencie positivamente na eficiência e precisão da identificação dos agentes patogênicos. Espera-se que essas tecnologias contribuam para a redução das ocorrências de erros durante a fase analítica dos testes laboratoriais. Além disso, é possível que promovam uma personalização no tratamento das infecções por meio da indicação específica de antimicrobianos para cada agente patogênico identificado, resultando em uma liberação mais rápida e precisa dos resultados.

O objetivo geral deste trabalho é realizar um levantamento bibliográfico sobre a automação em laboratórios de microbiologia clínica integrada à Inteligência Artificial. Os objetivos específicos incluem: verificar a existência de sistemas automatizados capazes de processar e analisar amostras rapidamente; analisar a eficácia dos algoritmos de Inteligência Artificial na identificação e classificação dos agentes patogênicos com base em suas características morfológicas e bioquímicas; investigar a possibilidade de integrar bases de dados microbiológicos e farmacológicos para fornecer recomendações personalizadas no tratamento das infecções.

A pesquisa se propõe a contribuir para o entendimento das inovações tecnológicas na microbiologia clínica e seu impacto na prática médica contemporânea.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA CLÍNICA

Os laboratórios de microbiologia clínica são instalações especializadas de âmbito hospitalar ou não, onde são realizadas análises microbiológicas utilizando amostras biológicas humanas, como escarro, aspirado traqueal, lavado broncoalveolar, líquido, fragmentos de tecidos, fragmentos de ossos, sangue, urina, fezes, fluidos corporais, hemocultura, diversos tipos de swab como o retal, nasal, vaginal, entre outros. Tendo como objetivo principal a identificação de agentes patogênicos como bactérias, fungos, vírus e parasitas que podem estar causando infecções, auxiliando no diagnóstico, tratamento e medicação de pacientes através de algumas técnicas microbiológicas (Barone, 2018).

2.1.1 Técnicas microbiológicas

As técnicas microbiológicas são utilizadas nos laboratórios de microbiologia clínica com o intuito de identificar microrganismos causadores de infecções, onde são utilizados os métodos como a cultura, coloração de Gram, bacterioscopia e antibiograma como métodos para auxiliar na realização do diagnóstico microbiológico na maioria dos laboratórios do mundo, permitindo a identificação da maioria das bactérias isoladas, além de possuírem um baixo custo de utilização (Perantoni, 2019).

A cultura é realizada por meio da técnica de plaqueamento em meios de cultura, que possuem características básicas controladas, sendo um método básico utilizado para

isolar microrganismos para serem identificados sendo o principal meio para alcançar o diagnóstico de doenças bacterianas, possibilitando a determinação de sensibilidade microbiana, requerendo uma espera de 18 a 24 horas para a reprodução suficiente da maioria das bactérias ou até mesmo dias ou meses no caso de microbactérias e fungos filamentosos, podendo sofrer intercorrências devido a falhas na realização. Após isolamento dos microrganismos a identificação podem ser realizadas pelas técnicas coloração de Gram e bacterioscopia (Barone, 2018; Perantoni, 2019).

A coloração de Gram é uma técnica amplamente utilizada em laboratório de análises clínicas e microbiológica, desenvolvida pelo médico dinamarquês Hans Christian Joachim Gram em 1884, essa técnica é fundamental na microbiologia clínica para a classificação de bactérias em dois grupos: Gram-positivas e Gram-negativas. Essa distinção se baseia nas diferenças estruturais das paredes celulares das bactérias, que reagem de maneira distinta aos corantes utilizados no processo. As bactérias Gram-positivas retêm o corante cristal violeta, adquirindo uma coloração roxa, devido à sua espessa camada de peptidoglicano, enquanto as Gram-negativas, com uma camada mais fina e rica em lipídios, não retêm essa coloração e aparecem avermelhadas após a aplicação de fucsina (Oliveira, 2019).

A bacterioscopia é uma técnica usada para visualização e identificação de agentes patogênicos em amostra biológicas, para isso são utilizadas lâminas devidamente corada normalmente através da técnica de coloração de Gram, aumentando assim o contraste das bactérias em relação ao fundo de amostra presente na lâmina, após este preparo as lâminas são colocadas em um microscópio óptico para realizar a visualização do agente patogênico em diversas objetivas possibilitando sua identificação (Anvisa, 2004).

O antibiograma, ou teste de sensibilidade, é uma técnica que permite a identificação de microrganismos através da sensibilidade ou resistência dos mesmos, permitindo assim a escolha de antibióticos mais adequados para o tratamento do paciente. Este teste é geralmente indicado quando há suspeita de que o agente patogênico responsável pela infecção possa pertencer a uma espécie com capacidade de resistência aos antibióticos mais comuns. O antibiograma é realizado em um isolado bacteriano obtido após a realização de uma cultura recente (Barone, 2018).

2.2 ANTIMICROBIANOS

Os antimicrobianos são substâncias naturais (antibióticos) ou sintéticas (quimioterápicos) que atuam inibindo o crescimento e combatendo infecções causadas por microrganismos, como bactérias, fungos, vírus e parasitas. Os antimicrobianos desempenham um papel de suma importância na medicina moderna, sendo fundamentais no tratamento e prevenção de diversas doenças infecciosas e controle de epidemias (Mota, 2010; Smith; Barone, 2018; Silveira; Zeluiz, 2023).

A classe dos antimicrobianos possuem uma ampla gama de agentes que são classificados de acordo com suas funcionalidades, sendo elas antibióticos, antivirais, antifúngicos e antiparasitários. Antimicrobianos atuam por meio de variados mecanismos buscando inibir e neutralizar microrganismos podendo ser por meio da

inibição da síntese da parede celular, inibição da síntese de proteínas, inibição da síntese de ácidos nucleicos, ruptura da membrana celular e inibição das vias metabólicas por exemplo (Mota, 2010; Smith; Barone, 2018; Silveira; Zeluiz, 2023).

Normalmente são utilizados no tratamento de infecções neutralizando e inibindo o crescimento de microrganismos patogênicos, permitindo que o sistema imunológico do corpo se recupere da infecção, mas também podem ser usados como forma profilática, sendo administrados preventivamente para evitar infecções, especialmente em situações de risco elevado, como cirurgias ou em pacientes imunocomprometidos (Mota, 2010; Smith; Barone, 2018; Silveira; Zeluiz, 2023).

2.3 AUTOMAÇÃO

Pela busca da humanidade por soluções que facilitassem a vida cotidiana surgiu a automação, que visa reduzir os custos, o tempo e o esforço para executar de diversas tarefas. Tendo esse objetivo, a humanidade inventou equipamentos que utilizam componentes eletroeletrônicos para transformar os métodos de trabalho, substituindo o esforço físico por meios de força mecânicos. Com isso, a humanidade passou a ter mais tempo para a realização de outras atividades. Por exemplo, os computadores foram criados para funcionar como cérebros humanos, processando dados em alta velocidade e realizando serviços com maior prontidão que um ser humano. Isso economiza tempo, dinheiro e força de trabalho, além de expandir o uso da automação em diversos setores e facilitar a execução de serviços (Nunes, 2019).

Existem três tipos de automação: rígida, flexível e programável.

Automação Rígida: Focada na produção de um único tipo de produto, utiliza uma linha de produção fixa com alto nível de produção. Um exemplo é a indústria automobilística, onde cada linha é responsável pela construção de uma peça específica (Nunes, 2019).

Automação Flexível: Como o nome sugere, proporciona grande flexibilidade às indústrias, permitindo a fabricação de vários produtos em um mesmo sistema de produção e modelo de peças, em quantidades variadas (Nunes, 2019).

Automação Programável: Utilizada para produção em pequenos lotes, requer a reprogramação do sistema a cada lote, organizando os equipamentos para a produção de diferentes produtos (Nunes, 2019).

2.3.1 Automação em laboratório de microbiologia clínica

Atualmente, a automação em laboratórios de microbiologia clínica tem se tornado uma prática cada vez mais comum, devido a existência de diversos equipamentos automatizados que realizam desde hemoculturas até testes de sensibilidade a antimicrobianos, oferecendo grandes vantagens em comparação com as metodologias manuais.

Esses equipamentos auxiliam especialmente em laboratórios que processam uma grande quantidade de amostras diariamente, visto que um laboratório automatizado

proporciona uma gama de vantagens, como aumento da precisão na identificação de microrganismos muitos dos quais seriam praticamente indetectáveis com métodos manuais, aprimoramento no fluxo de trabalho, gerando aumento na produtividade, redução no tempo de obtenção de resultados de identificação microbiológicas, refino no controle de qualidade com aumento de reprodutibilidade e precisão dos resultados. Além disso, eles realizam testes de múltiplos antimicrobianos simultaneamente de forma mais rápida do que os métodos convencionais em amostras biológicas (Amaral, 2018; Fonseca, 2019).

2.4 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (IA) é um campo da ciência da computação que visa a criação de sistemas capazes de realizar tarefas normais do dia-dia, que se realizadas por seres humanos demandaria inteligência e tempo. Dentre as tarefas estão a aprendizagem, o reconhecimento de padrões, percepção, a resolução de problemas e a tomada de decisões. A definição de Inteligência Artificial não é única, podendo variar de acordo com a perspectiva do pesquisador e a aplicação específica. Porém a um consenso de que a Inteligência Artificial busca dotar os computadores com habilidades que permitem realizar funções antes exclusivas da inteligência humana (Monard, 2000).

O conceito do que viria a ser Inteligência Artificial surgiu após a Segunda Guerra Mundial, no ano de 1956, logo após a criação do computador, na Dartmouth College Conference que foi organizada por John McCarthy, do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) local onde marcou oficialmente o nascimento da Inteligência Artificial. Neste evento um grupo de pesquisadores definiram a Inteligência Artificial como o estudo e a concepção de agentes inteligentes, sendo um agente inteligente qualquer entidade que perceba seu ambiente e tome ações que maximizem suas chances de sucesso (Gomes, 2010).

Os primeiros desenvolvimentos em IA estavam focadas em programas simbólicos para a resolução de problemas, provando teoremas lógicos, não só replicando provas humanas, mas também produzindo novas provas mais eficientes para certos teoremas (Monard, 2000).

O teste de Turing, proposto pelo cientista da computação Alan Turing em 1950, foi um marco inicial importante na definição da inteligência em máquinas. Turing sugeriu que um computador poderia ser considerado inteligente se conseguisse enganar um ser humano, fazendo-o acreditar que estava conversando com outro humano, sendo esse teste usado como uma maneira operacional de avaliar a inteligência das máquinas e continua a ser uma referência na área (Monard, 2000).

2.4.1 Inteligência Artificial em laboratório de microbiologia clínica

A Inteligência Artificial está se tornando uma ferramenta essencial para as áreas da saúde, incluindo a microbiologia, onde suas aplicações práticas podem melhorar a eficiência e a precisão dos diagnósticos e tratamentos. Uma das principais utilidades

da Inteligência Artificial em laboratórios de microbiologia clínica é o gerenciamento de dados, permitindo o gerenciamento de grandes volumes de dados clínicos, facilitando o armazenamento e a indexação de sequências genéticas. Isso é crucial para laboratórios que lidam com dados complexos e variados (Gonçalves, 2020).

A IA é capaz de identificar padrões, confirmando semelhanças semânticas entre dados clínicos e literatura científica. Essa capacidade pode ser utilizada para detectar surtos epidêmicos. Outro benefício importante é a validação de dados não estruturados, permitindo que os profissionais de saúde identifiquem erros em achados clínicos, melhorando assim a qualidade do diagnóstico (Silva, 2023).

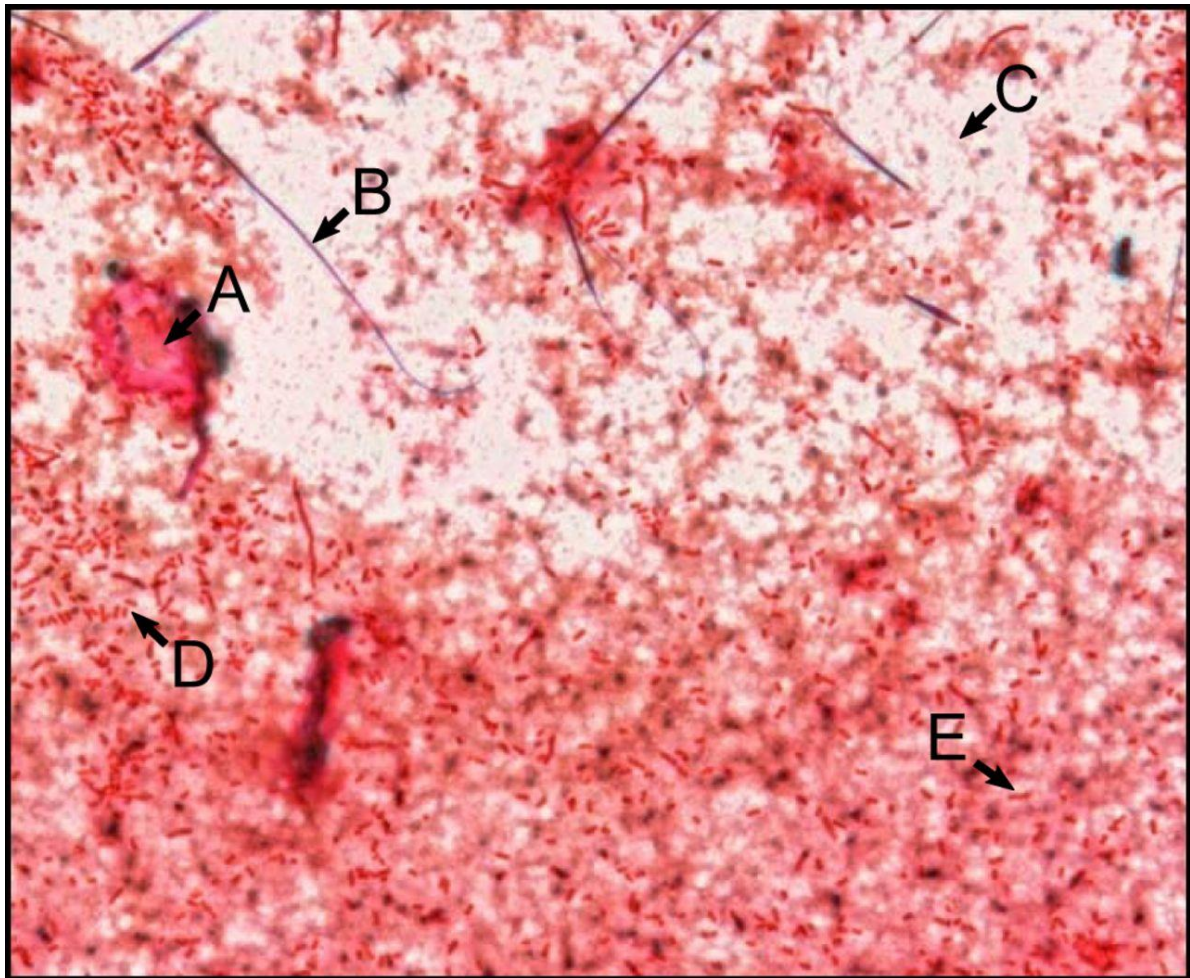
Além disso, os sistemas baseados em IA podem suportar a prescrição de medicamentos ao acessar dados do paciente e literatura médica, auxiliando na escolha da medicação mais adequada e disponível, especialmente no contexto do uso específico de antibióticos (Freire, 2022).

2.4.2 Identificação de microrganismos através de imagens

A identificação de microrganismos por imagem através da Inteligência Artificial (IA) utiliza uma rede neural convolucional profunda (CNN) para interpretar automaticamente colorações de Gram em culturas de sangue, substituindo a análise manual, que é dependente de operadores especializados e demorada. O sistema automatizado CNN foi treinado para reconhecer as morfologias mais comuns em infecções da corrente sanguínea: bacilos Gram-negativos, cocos Gram-positivos em aglomerados e cocos Gram-positivos em cadeias ou pares.

O modelo foi alimentado com mais de 100 mil recortes de imagens de 468 lâminas de culturas de sangue, atingindo uma precisão de 94,9%. O sistema demonstrou alta sensibilidade e especificidade na detecção dos microrganismos: 98,4% de sensibilidade para cocos Gram-positivos em cadeias/pares, 93,2% para cocos Gram-positivos em aglomerados e 96,3% para bacilos Gram-negativos. A CNN também foi aplicada para classificar lâminas inteiras sem intervenção humana, demonstrando que o algoritmo é eficiente na identificação de cortes de imagem com microrganismos e pode acelerar a revisão de esfregaços em laboratórios clínicos, como podemos observar nas imagens abaixo, onde na primeira apresenta os pontos (A) coloração de fundo intensa; (B) um artefato de cristalização de coloração; (C) coloração de fundo difusa; (D) células Gram-negativas de alto contraste individualmente solucionáveis; e (E) células Gram-negativas de baixo contraste individualmente solucionáveis. (Smith, 2018).

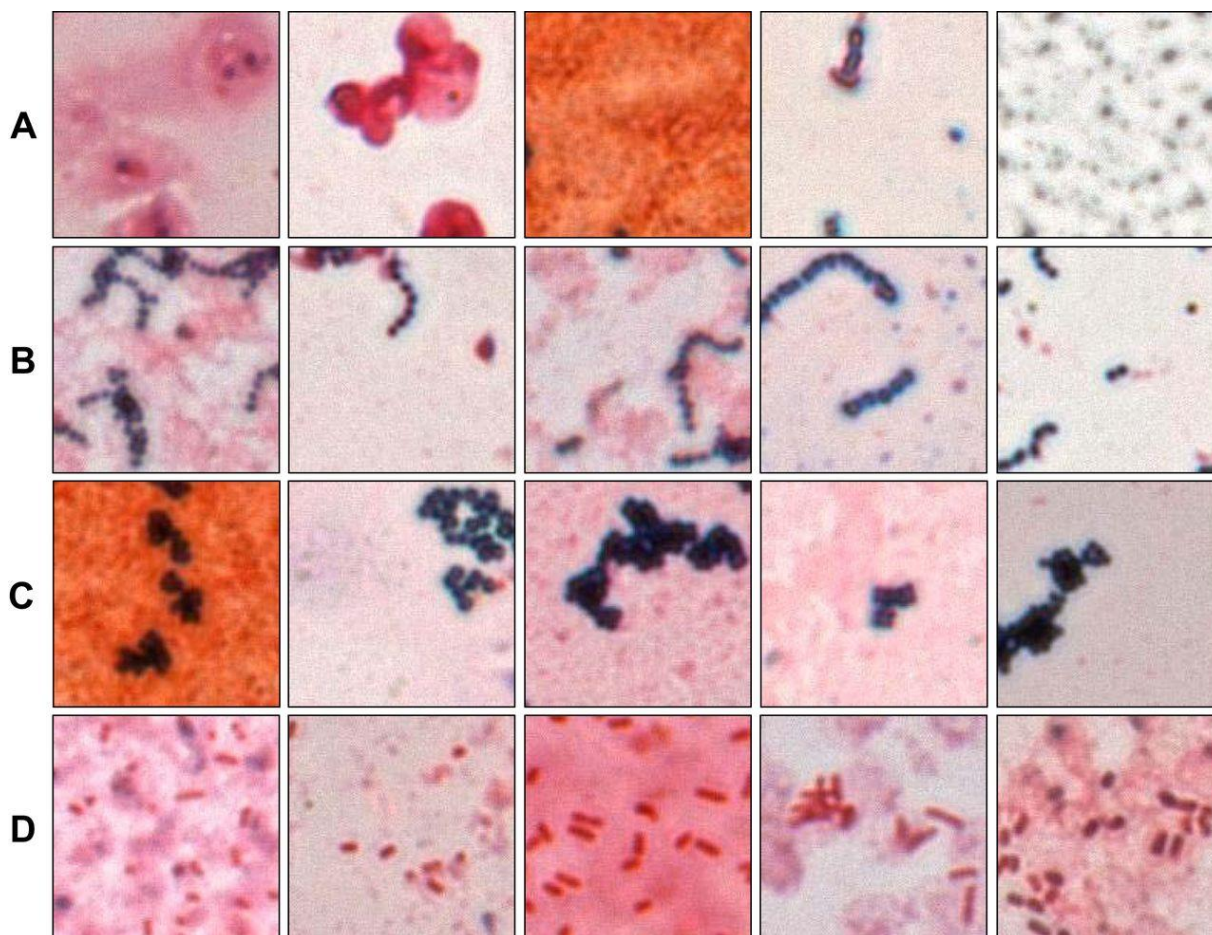
Figura 1- Características típicas de esfregaços de coloração de Gram de hemocultura.



Fonte: Smith, 2018.

Já na figura 2 pode-se observar culturas que foram classificadas automaticamente, sendo cada imagem representa uma cultura classificada corretamente que foi extraída automaticamente de uma imagem durante a classificação de lâmina inteira. As linhas nas imagens representam (A) fundo, (B) cadeias/pares Gram-positivos, (C) aglomerado Gram-positivos ou (D) bastonetes Gram-negativos, sendo uma das aplicações práticas da plataforma a apresentação de imagens enriquecidas com organismos como organismos a um tecnólogo para agilizar a revisão do esfregaço e a identificação de microrganismo (Smith, 2018).

Figura 2- Exemplos de cortes de imagem classificadas corretamente.



Fonte: Smith, 2018.

2.4.3 Identificação de fungos através de um nariz eletrônico

Um nariz eletrônico é um dispositivo que imita as três fases do sistema olfativo humano: detecção, processamento de sinais e interpretação de odores, fazendo que ele tenha a capacidade de detectar e diferenciar odores simples ou complexos usando um conjunto de sensores químicos não específicos, que possuem a capacidade de detectar uma ampla variedade de compostos orgânicos voláteis presentes no ar. As respostas obtidas através dos sensores geram padrões específicos para diferentes substâncias, e esses padrões são transmitidos para um banco de dados onde serão processados e interpretados por uma Inteligência Artificial buscando o reconhecimento de substâncias. Essa base de dados é utilizada para treinar o sistema de reconhecimento de padrões, permitindo que o dispositivo reconheça odores previamente armazenados na memória, já que muitos tipos de fungos produzem uma gama específica de compostos voláteis, que funcionam como impressão digital para estes microrganismos podendo ser utilizados como forma de detecção e identificação (Vasconcelos, 2022).

3 METODOLOGIA

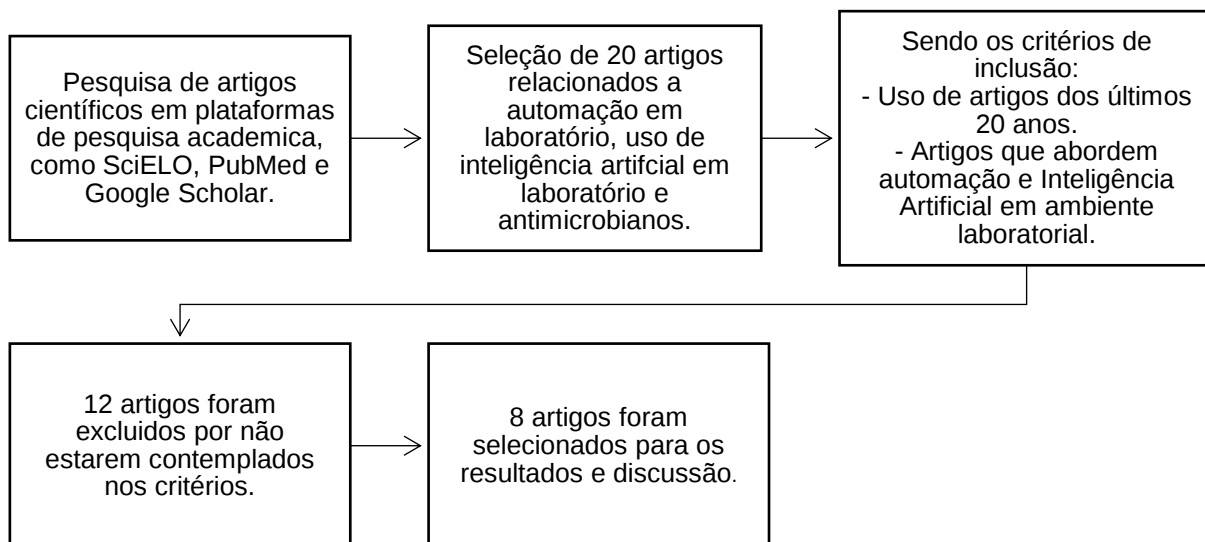
O seguinte trabalho tem como objetivo avaliar e comprovar o uso da automação e de Inteligência Artificial como forma de auxílio em procedimentos em laboratórios de microbiologia, buscando a identificação de agentes patogênicos e recomendação de antimicrobianos. Este trabalho tem cunho descritivo e explicativo, permitindo uma análise detalhada do uso da automação e Inteligência Artificial na microbiologia laboratorial clínica. A abordagem adotada é qualitativa. A coleta de dados foi realizada através de pesquisa bibliográfica de documentos obtidos nas seguintes plataformas: Scientific Electronic Library Online (SciELO) e PubMed, visando a utilização de documentos e artigos pertinentes ao tema.

Sendo utilizados dados dos últimos 20 anos para realizar a pesquisa bibliográfica, com as seguintes palavras-chave: antibiograma, antimicrobianos, automação, automação laboratorial, bacterioscopia, coloração de Gram, cultura, identificação de microrganismos através de imagens, Inteligência Artificial, Inteligência Artificial em laboratório de microbiologia, laboratório de microbiologia, técnicas microbiológicas e também termos em inglês como antimicrobials, antibiogram, artificial intelligence, artificial intelligence in microbiology laboratory, automation, bacterioscopy, culture, Gram staining, identification of microorganisms through images, laboratory automation, microbiology laboratory, microbiological techniques. Excluindo termos como automação industrial, laboratório de hematologia, laboratório de parasitologia, laboratório de bioquímica entre outros termos que não tem a ver com laboratório de microbiologia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização do seguinte trabalho, foram realizadas pesquisas buscando artigos científicos que discutissem e tratassem sobre automação em laboratório de microbiologia clínica com auxílio de Inteligência Artificial para identificação de agentes patogênicos e recomendação de antimicrobianos. O processo utilizado para a seleção dos artigos científicos de acordo com os critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos podem ser observados no fluxograma abaixo:

Fluxograma 1 – Etapas de seleção dos artigos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Após a seleção dos artigos científicos, foi realizado a organização dos dados referentes aos artigos científicos, sendo eles o título, os nomes dos autores e ano de publicação, objetivos e resultados. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão foram selecionados 8 artigos científicos para a composição dessa revisão.

Quadro 1 - Síntese de artigos

Título	Autores/Ano	Objetivos	Resultados
A importância da automação nos laboratórios de análises clínicas	Amaral et al. (2018)	Demonstrar a relevância da automação na medicina laboratorial, destacando como essa tecnologia melhora a qualidade, agilidade e segurança dos processos laboratoriais.	O estudo revelou que a automação em laboratórios clínicos traz benefícios como aumento da eficiência, permitindo maior volume de testes em menos tempo; redução de erros humanos, elevando a confiabilidade; melhoria na precisão dos resultados, favorecendo diagnósticos mais seguros; e redução de custos operacionais devido à otimização de recursos e mão de obra.
Automated interpretation of blood culture	Smith et al. (2018)	Desenvolver um método automatizado que possa melhorar a eficiência e a	O estudo revelou que a rede neural convolucional (CNN) obteve 94,9% de precisão

Gram stains by use of a deep convolutional neural network		precisão na classificação de colorações de Gram por meio de IA, que tradicionalmente é um processo laboratorial intensivo e dependente do operador.	em um conjunto de testes para identificação. Os resultados confirmaram a previsão do método para acelerar a classificação de colorações de Gram, contribuindo para diagnósticos e tratamentos mais rápidos de infecções sanguíneas.
Automação no laboratório de microbiologia	Fonseca et al. (2019)	Comparar as metodologias fenotípicas manuais e automatizadas para a identificação de microrganismos isolados de hemoculturas, avaliando o impacto da automação em relação à identificação manual no tratamento, internação e mortalidade de pacientes na Unidade de Terapia Intensiva (UTI).	Os resultados indicam que não houve vantagens significativas da automação sobre os resultados clínicos analisados, devido à dificuldade na realização de estudos. Embora a automação seja vista como vantajosa para laboratórios com alta demanda de amostras, comodidade e precisão em diagnósticos microbiológicos.
Automatização da técnica da coloração de Gram	Oliveira et al. (2019)	Desenvolver um protótipo de equipamento para automatizar o processo de coloração de Gram, visando superar as desvantagens associadas ao método manual, como alta demanda de tempo, maior risco de contaminação, desperdício de insumos e falta de padronização.	Os resultados mostram que o protótipo foi capaz de realizar a coloração de bactérias com eficiência. Em comparação ao método manual, o equipamento proporcionou qualidade uniforme, eliminou desperdícios e aumentou a segurança do operador ao minimizar o contato com amostras contaminantes.
Utilização de machine learning em laboratórios de análises clínicas	Sousa (2022)	Identificar e discutir os principais erros que ocorrem durante a coleta de amostras biológicas, além de explorar as	Os resultados indicam que a maior ocorrência de erros é na fase pré-analítica, normalmente no momento da coleta, podendo ser reduzidos por meio de

		consequências desses erros para a qualidade dos exames laboratoriais. O estudo enfatiza a necessidade de melhorias nos processos de coleta e a realização de treinamentos adequados para as equipes responsáveis.	treinamentos e equipamentos específicos.
Uso machine learning para prever suscetibilidade a antibióticos através de dados de pacientes hospitalizados	Silveira (2023)	Aplicar algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado para prever a suscetibilidade de bactérias a antibióticos em pacientes hospitalizados.	Os resultados mostram que os algoritmos de IA obtiveram os melhores na precisão da suscetibilidade bacteriana à vancomicina.
Inteligência Artificial em saúde, inovação ou ilusão?	Silva (2023)	Investigar a implementação e o uso de soluções de Inteligência Artificial (IA) em hospitais brasileiros, analisando os fatores que influenciam seu sucesso ou fracasso.	Embora a IA tenha um potencial transformador na saúde, sua implementação enfrenta desafios práticos que precisam ser abordados para maximizar seus benefícios
Inteligência Artificial em laboratórios de análises clínicas	Almeida Filho (2024)	Demonstrar através da literatura informações mais recentes das formas de utilização da Inteligência Artificial nas análises clínicas.	A Inteligência Artificial apresentou a capacidade de analisar grandes volumes de dados clínicos rapidamente e com alta precisão.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

O seguinte trabalho sobre a automação nos laboratórios de microbiologia clínicas destaca uma série de avanços e desafios associados à implementação de tecnologias automatizadas, especialmente no contexto da coloração de Gram. A análise dos artigos selecionados oferece uma visão abrangente das implicações dessa automação, ressaltando tanto os benefícios quanto as limitações.

O estudo de Amaral et al. (2018) enfatiza a importância da automação nos laboratórios, argumentando que a introdução de equipamentos automatizados pode reduzir significativamente o tempo de processamento e minimizar erros humanos. Os

autores ressaltam que a automação não apenas melhora a eficiência operacional, mas também proporciona maior segurança aos trabalhadores ao diminuir o contato com amostras potencialmente contaminantes. Essa perspectiva é corroborada por Oliveira et al. (2019), que desenvolveram um protótipo para automatizar a coloração de Gram, focando na padronização dos resultados e na redução do desperdício de insumos. O protótipo demonstrou eficácia em garantir um padrão uniforme de qualidade nas análises, essencial para diagnósticos precisos.

A automação do processo de coloração de Gram é particularmente relevante na prevenção da contaminação em laboratórios. A técnica manual tradicional apresenta desvantagens significativas, como a alta possibilidade de contaminação cruzada e o desperdício de insumos. O protótipo desenvolvido por Oliveira et al. (2019) visa mitigar esses riscos, criando um ambiente mais controlado e seguro para a análise. Um dos principais benefícios da automação é a redução do contato direto do operador com as amostras, minimizando a intervenção humana e, conseqüentemente, diminuindo o risco de contaminação. Além disso, a automação assegura uma padronização nos procedimentos, resultando em uma coloração mais uniforme e confiável.

Por outro lado, Fonseca e Heijden (2019) abordam a automação especificamente no laboratório de microbiologia, ressaltando que, apesar das vantagens, a transição para métodos automatizados pode enfrentar resistência devido ao alto custo dos equipamentos e à necessidade de treinamento especializado para os profissionais. Essa resistência é um fator importante a ser considerado, pois pode limitar a adoção generalizada da automação em laboratórios menores ou com orçamento restrito.

Adicionalmente, Almeida Filho et al. (2024) exploram o uso da Inteligência Artificial (IA) em laboratórios clínicos, destacando como essa tecnologia pode complementar os processos automatizados e melhorar ainda mais a precisão dos diagnósticos. A IA pode ser utilizada para interpretar resultados com base em grandes volumes de dados, oferecendo insights que vão além do que é possível com métodos tradicionais. Este aspecto é particularmente relevante no contexto da coloração de Gram, onde a interpretação correta das amostras é fundamental para o tratamento adequado dos pacientes.

Sousa (2022) investiga a aplicação de machine learning em laboratórios clínicos e sugere que essa tecnologia pode ser utilizada para prever a suscetibilidade a antibióticos com base nos dados coletados durante as análises. Essa abordagem não só potencializa os resultados obtidos pela coloração de Gram, mas também contribui para um tratamento mais eficaz e direcionado aos pacientes.

A inclusão dos estudos de Silveira (2023) e Smith et al. (2018) enriquece ainda mais essa discussão sobre automação nos laboratórios de análises clínicas. Silveira (2023) investiga a aplicação de machine learning para prever a suscetibilidade a antibióticos com base em dados de pacientes hospitalizados. O autor destaca que o uso de algoritmos de aprendizado de máquina pode transformar a análise de dados clínicos, permitindo diagnósticos mais precisos e personalizados. Essa abordagem é

particularmente relevante no contexto da coloração de Gram, pois a capacidade de prever como diferentes bactérias responderão a tratamentos antibióticos pode melhorar significativamente as decisões clínicas e os resultados para os pacientes.

Por sua vez, Smith et al. (2018) apresentam um sistema automatizado que utiliza uma rede neural convolucional profunda para interpretar colorações de Gram em culturas sanguíneas. Os autores demonstram que o sistema automatizado não apenas iguala, mas em alguns casos supera a precisão dos especialistas humanos na interpretação das amostras. Essa inovação representa um avanço significativo na automação dos laboratórios, pois reduz o tempo necessário para obter resultados e minimiza a subjetividade associada à interpretação manual.

Além disso, conforme evidenciado por Oliveira et al. (2019), o desenvolvimento do protótipo automatizado não só visa aumentar a eficiência do processo como também busca prevenir contaminações ao reduzir o contato humano com amostras biológicas perigosas. Assim, ao integrar automação com Inteligência Artificial e machine learning nas práticas laboratoriais, os profissionais podem esperar não apenas melhorias na precisão diagnóstica, mas também na segurança operacional dentro do ambiente clínico.

5 CONCLUSÃO

Em conclusão, a automação e Inteligência Artificial (IA) estão gerando uma revolução nos laboratórios de microbiologia clínica, se mostrando essencial para a modernização do setor e para a melhoria da qualidade do diagnóstico microbiológico. A implementação dessas tecnologias acelera os processos manuais em laboratórios, aumentando a precisão na identificação de patógenos e recomendando antimicrobianos, resultando em um atendimento diferenciado e eficiente aos pacientes.

A automação permite que os métodos tradicionais de microbiologia sejam realizados de forma simultânea e em larga escala, reduzindo o tempo de espera por resultados e diminuindo erros humanos e a Inteligência Artificial analisa as características dos agentes patogênicos, otimizando as recomendações de tratamento.

Em suma, a microbiologia clínica está ligada à evolução das tecnologias automatizadas e Inteligência Artificial. O desenvolvimento dessas áreas são cruciais para garantir e promover avanços significativos na saúde pública e no manejo das infecções.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, F. A. .; GASPAR, R. P. L. .; SANTOS, V. M. .; FERNANDES, H.; PAIVA JUNIOR, A. A. de . Inteligência Artificial em laboratórios de análises clínicas. **Revista Remecs - Revista Multidisciplinar de Estudos Científicos em Saúde**, [S. l.], p. 16, 2024. Disponível em:

<<https://www.revistaremeecs.com.br/index.php/remecs/article/view/1560>>. Acesso em: 11 nov. de 2024.

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária Microbiologia Clínica para o Controle de Infecção Relacionada à Assistência à Saúde. Módulo 6: Detecção e identificação de bactérias de importância médica. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária.– Brasília: Anvisa**, Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosdesaude/publicacoes/modulo-6-deteccao-e-identificacao-de-bacterias-de-importancia-medica/view>>. Acesso em: 29 mar de 2024

AMARAL, Priscila da S.; BARBOSA, Rayanne dos S.; CORREIA, Salete M.B. S. A importância da automação nos laboratórios de análises clínicas. **Newlab**, 2018. Disponível em: <https://www.newslab.com.br/wp-content/uploads/yumpu_files/A%20IMPORT%C3%82NCIA%20DA%20AUTOMA%C3%87%C3%83O%20NOS%20LABORAT%C3%93RIOS%20DE%20AN%C3%81LISES%20CL%C3%8DNICAS.pdf>. Acesso em: 31 mar de 2024.

BARONE, Alessandra; FERNANDES, Archangelo P. Antibiógrama. **ProfBIO**, 2018. Disponível em: <https://www.profbio.com.br/aulas/ac2_06.pdf>. Acesso em: 29 mar de 2024.

BARONE, Alessandra; FERNANDES, Archangelo P. Introdução à microbiologia clínica. **ProfBIO**, 2018. Disponível em: <https://www.profbio.com.br/aulas/ac2_01.pdf>. Acesso em: 29 mar de 2024.

CASTRO, Maria da C. A. Candidemia nosocomial: diagnóstico com proteômica aplicada na identificação e resistência das leveduras e uso da Inteligência Artificial. **Universidade Federal De Pernambuco**, Recife, Pernambuco, Brasil, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/42765/1/TESE%20Maria%20da%20Concei%C3%A7%C3%A3o%20Alexandre%20Castro.pdf>>. Acesso em: 11 nov. de 2024.

FONSECA, Juliane de M.; HEIJDEN, Inneke M. van der. Automação no laboratório de microbiologia. **Portal Regional da BVS Informação e Conhecimento para a Saúde**, 2019. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1022330>>. Acesso em: 31 mar. de 2024.

GONÇALVES, L.S.; AMARO, M. L. M.; ROMERO, A. L. M.; SCHAMNE, F. K.; FRESSATTO, J. L.; BEZERRA, C.W. Implementation of an Artificial Intelligence Algorithm for sepsis detection. **Rev Bras Enferm**. 2020;73(3):e20180421. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0034-7167-2018-0421>>. Acesso em: 11 nov. de 2024.

GOMES, Dennis dos S. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. **Revista Olhar Científico** – Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 1, n. 2, p. 234-245, ago./dez. 2010. Disponível em: <https://www.professores.uff.br/screspo/wp-content/uploads/sites/127/2017/09/ia_intro.pdf>. Acesso em: 14 jun. de 2024.

MONARD, Maria C.; BARANAUKAS, José A. Aplicações de Inteligência Artificial: Uma Visão Geral. São Carlos: **Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação de São Carlos**, 2000. Disponível em: <<https://dcm.ffclrp.usp.br/~augusto/publications/2000-laptec.pdf>>. Acesso em: 14 jun. de 2024.

MOTA, Letícia M.; VILAR, Fernando Crivelenti; DIAS, Larissa B. A.; NUNES, Tiago F.; MORIGUTI, Julio C. Uso racional de antimicrobianos. **Medicina (Ribeirão Preto)**, Ribeirão Preto, Brasil, v. 43, n. 2, p. 164–172, 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/175>>. Acesso em: 8 nov. de 2024.

NUNES, Ricardo de A. B. **Conceito e impactos da automação**. Anhanguera Guarulhos, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/27617/1/TCC%2B3%2B-%2BDEFESA.pdf>>. Acesso em: 31 mar de 2024.

OLIVEIRA, Milton Cezar de; NICIOLI, Vitor Hugo; FABRICIO, Willian dos Santos. Automatização da técnica da coloração de Gram. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Biomédicos) - **Faculdade de Tecnologia FATEC Bauru**, Bauru, 2019. Disponível em: <<http://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/10021>>. Acesso em: 29 mar de 2024

PERANTONI, Larissa Morbi; QUEIROZ-FERNANDES, Geisiany Maria de. Evolução das técnicas diagnósticas em microbiologia clínica. **Universidade do Sagrado Coração (USC)**, SALUSVITA, Bauru, v. 38, n. 2, p. 529-542, 2019. Disponível em: <https://secure.unisagrado.edu.br/static/biblioteca/salusvita/salusvita_v38_n2_2019/salusvita_v38_n2_2019_art_18.pdf>. Acesso em: 29 mar de 2024.

SOUSA, Albert B. Utilização de machine learning em laboratórios de análises clínicas. **Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública EBMSP**, 2022. Disponível em: <https://www.rbac.org.br/wp-content/uploads/2023/04/RBAC-v54-4-2022_artigo06.pdf>. Acesso em: 11 nov. de 2024.

SILVA, Alexandre C. P. Inteligência Artificial em saúde, inovação ou ilusão?. **Escola de Administração de Empresas de São Paulo**, 2023. Disponível em: <<https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/b501f8fc-651f-404a-89a2-eadd4860e0a/content>>. Acesso em: 11 nov. de 2024.

SILVEIRA, Brenda P. Uso machine learning para predizer suscetibilidade a antibióticos através de dados de pacientes hospitalizados. **UFRGS**, Porto Alegre, 2023. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/263438/001175202.pdf?sequence=1>>.
Acesso em: 8 nov. de 2024.

SMITH, Kenneth P.; KANG, Anthony D.; KIRBY, James E. *Automated interpretation of blood culture Gram stains by use of a deep convolutional neural network*. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 56, n. 3, 2018. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1128/JCM.01521-17>>. Acesso em: 9 out. de 2024.

VASCONCELOS, Paulo Júnior de Moraes. Identificação de fungos anemófilos, em ambientes abertos, através de um nariz eletrônico e modelos de Inteligência Artificial. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. **ATTENA Repositório digital da UFPE**. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47102>>. Acesso em: 25 set. de 2024.

ZELUIZ, Luís. Antimicrobianos: funções e mecanismos de ação. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, v. 43, n. 2, p. 8-15, 2023. Disponível em:
<<https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v43i2p164-172>>. Acesso em: 2 jun. de 2024.