



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIAS E GEOCIÊNCIAS (CTG)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA (PPGEB)

RHAYSSA MARTINS DE OLIVEIRA VERÍSSIMO

**O PAPEL DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES NO
DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL DA ISQUEMIA
MESENTÉRICA EM SISTEMAS DE SAÚDE COM
RECURSOS LIMITADOS**

Recife

2024

RHAYSSA MARTINS DE OLIVEIRA VERÍSSIMO

**O PAPEL DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES NO
DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL DA ISQUEMIA
MESENTÉRICA EM SISTEMAS DE SAÚDE COM
RECURSOS LIMITADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Biomédica. Área de concentração: Computação Biomédica.

Orientador (a): Prof. Dr. Emery Cleiton Cabral Correia Lins

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Veríssimo, Rhayssa Martins de Oliveira.

**O papel das tecnologias emergentes no diagnóstico diferencial da
isquemia mesentérica em sistemas de saúde com recursos limitados /**

Rhayssa Martins de Oliveira Veríssimo. - Recife, 2024.

64f.: il.

**Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco,
Centro de Tecnologias e Geociências, Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Biomédica , 2024.**

Orientação: Emery Cleiton Cabral Correia Lins.

Inclui referências, apêndice e anexo.

RHAYSSA MARTINS DE OLIVEIRA VERÍSSIMO

**O PAPEL DAS TECNOLOGIAS EMERGENTES NO
DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL DA ISQUEMIA
MESENTÉRICA EM SISTEMAS DE SAÚDE COM
RECURSOS LIMITADOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico Tecnologias e Geociências (CTG), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Biomédica. Área de concentração: Computação Biomédica.

.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emery Cleiton Cabral Correia Lins (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^ª. Dr^ª. Patricia Silva Lessa (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Rafael Trindade Maia (Examinador Externo)
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os portadores de doença mesentérica e, por consequência, colostomizados, que, apesar das altas taxas de mortalidade, são eternos sobreviventes, superando diariamente os desafios impostos pela saúde. A vocês, meu eterno amor!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB) da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, pela oportunidade e pelo apoio inestimável durante o desenvolvimento desta dissertação. O PPGEB desempenha um papel crucial, não apenas na minha formação acadêmica, mas também na promoção de avanços significativos na interseção entre engenharia e ciências da saúde. A infraestrutura oferecida, aliada à excelência do corpo docente, proporcionou um ambiente propício à inovação e ao aprofundamento do conhecimento. Este programa, com sua visão interdisciplinar e compromisso com a pesquisa de ponta, tem sido essencial para o desenvolvimento de soluções tecnológicas avançadas que impactam diretamente a área da Engenharia Biomédica, e sou imensamente grata por ter feito parte dessa trajetória de excelência.

É com profunda gratidão que inicio esses agradecimentos interpessoais, reconhecendo o papel essencial do professor Dr. Emery Cleiton Cabral Correia Lins, meu orientador, cuja confiança em meu potencial foi a base para a realização deste trabalho. Sua orientação cuidadosa e constante acompanhamento durante toda a pesquisa não só me guiaram, mas também me inspiraram a buscar sempre a excelência acadêmica. Agradeço, de coração, pelo conhecimento compartilhado e pela orientação constante, que foram essenciais para o meu desenvolvimento e sucesso nesta jornada acadêmica. Meu reconhecimento e eterna gratidão por tudo que aprendi sob sua mentoria.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao professor Dr. Ricardo Yara, cuja dedicação incansável e compromisso com a excelência são fundamentais para a ciência. Sua confiança em meu potencial acadêmico desde o início do mestrado, ao me acolher em sua linha de pesquisa e proporcionar a oportunidade de aplicar esse conhecimento no laboratório, foi inestimável.

À minha mãe, Rubenize Oliveira Veríssimo, dedico um agradecimento especial. Foi sua experiência pessoal com a isquemia mesentérica em 2023 que acendeu em mim o desejo de explorar essa temática. Sua força e determinação são minha maior fonte de motivação, impulsionando-me a buscar soluções que possam não só ajuda-la, mas a todos os pacientes que enfrentam o mesmo diagnóstico.

Minha gratidão a Paloma Porto Silva, cujo apoio inabalável foi fundamental desde o momento em que decidi me inscrever no mestrado. Sua crença em minhas capacidades e incentivo constante me deram a confiança necessária para perseverar em cada etapa deste processo.

Por fim, à minha avó, Elita Luiza de Oliveira (in memoriam), cuja memória e ensinamentos continuam a iluminar meu caminho. Foi ela quem me mostrou que o amor e a ciência não são opostos, mas podem e devem caminhar juntos, complementando-se em busca de um bem maior. Sua presença em minha vida é uma lembrança constante de que, além do rigor acadêmico, é o amor que dá sentido e profundidade ao nosso trabalho.

“Desejar ver a vida de outra forma, seguir outro caminho, pois a vida é breve e precisa de valor, sentido e significado.”

Ana Claudia Quintana Arantes

RESUMO

A isquemia mesentérica aguda (IMA) é uma condição médica associada a alta mortalidade, com taxas variando de 60% a 90%, devido à sua apresentação clínica inespecífica que frequentemente resulta em diagnóstico tardio. Apesar dos avanços nas modalidades diagnósticas e tratamentos, a detecção precoce e o manejo adequado da IMA continuam sendo desafios significativos, especialmente em sistemas de saúde com recursos limitados, como o Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil. Este trabalho de dissertação investiga o papel da inteligência artificial (IA) e do machine learning (ML) na melhoria do diagnóstico de IMA, propondo um protótipo inovador que combina dispositivos de imagem portátil com algoritmos de deep learning para análise automatizada de imagens médicas e dados clínicos. O objetivo é aumentar a precisão, rapidez e eficiência diagnóstica, oferecendo suporte em tempo real para a decisão clínica, mesmo em contextos com infraestrutura limitada. A implementação desse sistema no SUS poderia não apenas otimizar recursos e reduzir custos, mas também salvar vidas ao permitir um diagnóstico mais precoce e preciso da IMA. A pesquisa conclui que a adoção de tecnologias baseadas em IA tem o potencial de transformar o atendimento médico, tornando-o mais ágil, acessível e eficaz.

Palavras-chave: Isquemia Mesentérica, Suporte à Decisão Clínica, Tratamento de Doenças Emergenciais, Aplicação de IA em Medicina, Redução de Custos na Saúde, Tecnologias de Saúde, Diagnóstico Precoce, Tecnologias de Diagnóstico de Emergência

ABSTRACT

Acute mesenteric ischemia (AMI) is a medical condition associated with high mortality, with rates ranging from 60% to 90%, due to its nonspecific clinical presentation that often results in delayed diagnosis. Despite advances in diagnostic modalities and treatments, early detection and appropriate management of AMI remain significant challenges, especially in resource-constrained healthcare systems, such as the Unified Health System (SUS) in Brazil. This dissertation investigates the role of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in improving the diagnosis of AMI, proposing an innovative prototype that combines portable imaging devices with deep learning algorithms for automated analysis of medical images and clinical data. The goal is to increase diagnostic accuracy, speed, and efficiency, offering real-time support for clinical decision-making, even in contexts with limited infrastructure. Implementing such a system in the SUS could not only improve resources and reduce costs, but also save lives by enabling earlier and more accurate diagnosis of AMI. The research concludes that the adoption of AI-based technologies has the potential to transform healthcare, making it more agile, accessible and effective.

Keywords: Mesenteric Ischemia, Clinical Decision Support, Emergency Disease Treatment, Application of AI in Medicine, Healthcare Cost Reduction, Healthcare Technologies, Early Diagnosis, Emergency Diagnostic Technologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Émbolos mesentéricos	15
Figura 2 –	Armadilhas interpretativas	17
Figura 3 –	Isquemia mesentérica não oclusiva	18
Figura 4 –	Trombose venosa mesentérica	18
Figura 5 -	Modelo de protótipo para diagnostico da Isquemia Mesentérica	44

LISTA DE TABELAS

Fluxograma 1 –Diagrama de fluxo do estudo	17
Tabela 1 - Arquiteturas de Rede Neural Convolucional (CNN).....	37
Tabela 2 – Diagnóstico e avaliação da IM com foco nos pontos positivos e negativos, dificuldades e aprendizados, implementação de modelos de IA multivariados.....	49
Organograma - Diagnóstico de IMA.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

- **AMI** - Artéria Mesentérica Inferior
- **AMS** - Artéria Mesentérica Superior
- **IA** - Inteligência Artificial
- **IMA** - Isquemia Mesentérica Aguda
- **IMC** - Isquemia Mesentérica Crônica
- **ML** - Machine Learning
- **MIP** - Imagens de Projeção de Máxima Intensidade
- **MPR** - Reformatação Multiplanar
- **NOMI** - Isquemia Mesentérica Não Oclusiva
- **PPGEB** - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica
- **SUS** - Sistema Único de Saúde
- **UFPE** - Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Contexto e Fisiopatologia.....	15
1.2 Causas da Isquemia Aguda Primária.....	16
1.3 Perspectivas em biomarcadores.....	28
1.4 Visão Geral da IA na Área da Saúde	28
2 OBJETIVOS	30
2.1 Objetivos Específicos	30
3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	32
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
4.1 Etapas do Desenvolvimento e Treinamento de Modelos de <i>Deep Learning</i> para Isque- mia Mesentérica.....	36
4.2 Desenvolvimento dos Modelos de Deep Learning.....	37
4.3 Etapas para integração dos algoritmos de IA em um protótipo portátil	39
4.4 Plano Estratégico para Implementação e Escalabilidade do Sistema de Diagnóstico de Isquemia Mesentérica no SUS	41
4.5 Características e Elementos do Protótipo	43
5 RESULTADOS ESPERADOS	46
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
7 CONCLUSÕES.....	52
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

A isquemia mesentérica é uma condição potencialmente fatal, caracterizada pela redução do fluxo sanguíneo para o intestino, e que apresenta uma das taxas de mortalidade mais elevadas entre as emergências abdominais. Apesar dos avanços médicos, seu diagnóstico precoce e preciso permanece um desafio, o que aumenta consideravelmente o risco de óbito e a complexidade do tratamento. É um paradoxo alarmante, considerando que o intestino, mais do que apenas um órgão digestivo, desempenha funções vitais na regulação imunológica, no equilíbrio hormonal e na comunicação com o sistema nervoso central. Estima-se que o intestino possua cerca de 100 milhões de neurônios e uma quantidade surpreendente de microrganismos que contribuem para a homeostase do corpo humano, evidenciando sua importância para a saúde e o bem-estar geral.

A hipótese levantada neste trabalho é de que as emergentes inovações tecnológicas como a inteligência artificial e o aprendizado de máquina, têm demonstrado grande potencial em diversos campos da saúde, oferecendo perspectivas promissoras para detecção precoce de condições complexas. Neste contexto, a presente dissertação propõe-se a explorar o papel das tecnologias emergentes no diagnóstico diferencial da isquemia mesentérica, considerando sua potencialidade para transformar a prática clínica e salvar vidas.

A isquemia mesentérica aguda (IMA) é uma causa incomum, mas altamente letal, de abdômen agudo em situações de emergência (OLDENBURG et al., 2014). O espessamento da parede intestinal, a estriação mesentérica e o derrame ascítico são achados comuns, mas não específicos, que correlacionam-se mal com a gravidade da doença (OLDENBURG et al., 2014).

A IMA representa menos de 1% de todas as causas de abdômen agudo em situações de emergência (WASNIK; KAZA; AL-HAWARY; LIU, 2011). No entanto, está associada a uma alta mortalidade (60–90%) devido à sua apresentação clínica não específica, resultando em diagnóstico tardio. A IMA se distingue da isquemia mesentérica crônica (IMC), que é causada pela estenose gradual da vasculatura mesentérica—geralmente por aterosclerose—e não é fatal de forma aguda (PECORARO et al., 2013).

O diagnóstico é frequentemente suscitado na unidade de terapia intensiva (UTI) no contexto da piora da condição clínica de um paciente após um episódio anterior de insuficiência circulatória profunda e aguda, como uma parada cardíaca ressuscitada com sucesso, cirurgia de bypass cardiopulmonar, bem como choque séptico, hipovolêmico ou cardiogênico. As taxas de mortalidade relatadas são extremamente altas, e o tempo para o diagnóstico representa um fator-chave para melhorar seu prognóstico associado (PAUL et al., 2020).

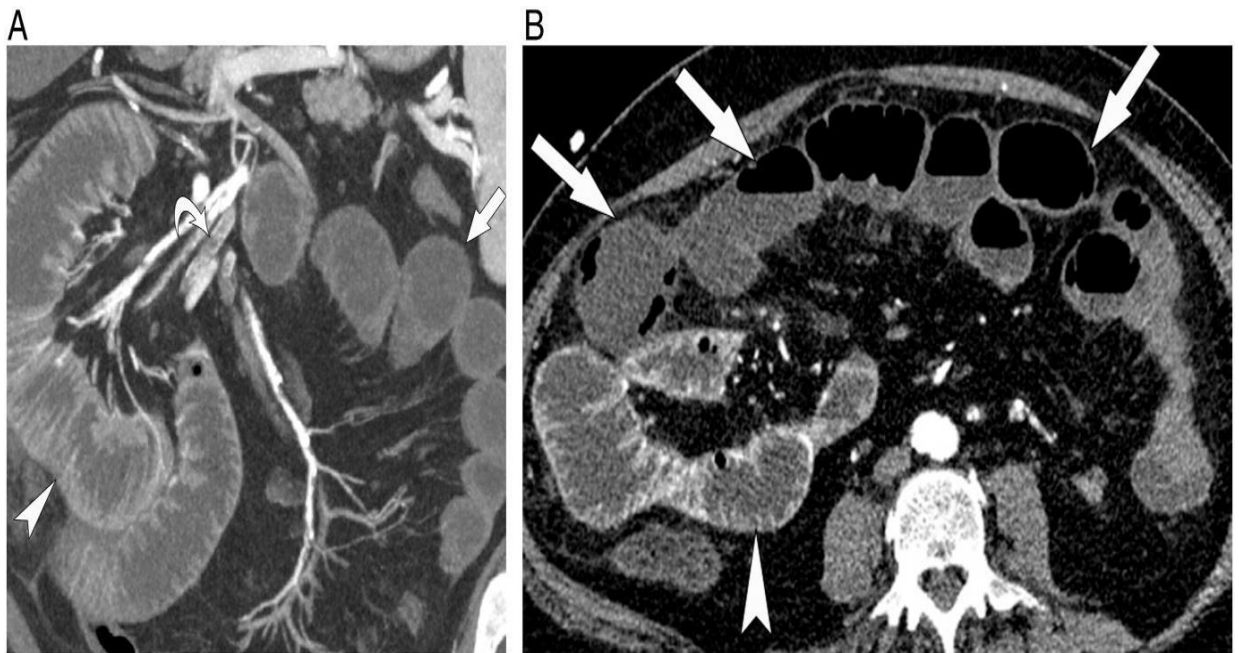
1.1 Contexto e Fisiopatologia

O trato gastrointestinal (GI) é predominantemente perfundido pela artéria celiaca, artéria mesentérica superior (AMS) e artéria mesentérica inferior (AMI). A artéria celiaca e seus ramos são a principal fonte de sangue para o estômago, duodeno proximal e baço. A AMS suprimenta a maior parte do intestino delgado, bem como o cólon até o nível da flexura esplênica. A AMI, a menor das três artérias, fornece sangue ao cólon descendente, cólon sigmoide e ao terço proximal do reto (HORTON; FISHMAN, 2010; GORE et al., 2008).

A extensa colateralização entre as três artérias garante um suprimento sanguíneo contínuo, mesmo que um dos vasos esteja comprometido. Em situações crônicas, geralmente é necessário que pelo menos dois dos três vasos estejam ocluídos ou criticamente estenosados antes que a isquemia se desenvolva. A artéria mesentérica superior (AMS) e a artéria celiaca anastomosam principalmente por meio de um arco formado pelas artérias gastroduodenal e pancreaticoduodenal (GORE et al., 2008).

Normalmente, 20–25% do débito cardíaco e 30–35% do volume total de sangue são direcionados ao intestino delgado em repouso. Aproximadamente 70–80% desse fluxo é direcionado à mucosa, 15–25% à muscular própria e serosa, e 5% à submucosa (GORE et al., 2008). Dada sua alta demanda metabólica e rica irrigação sanguínea, o insulto isquêmico inicial é tipicamente limitado à mucosa (WIESNER et al., 2003). Lesões isoladas à mucosa geralmente cicatrizam completamente após a remoção do insulto isquêmico (WIESNER et al., 2003; MITSUDO; BRANDT, 1992). Com a isquemia prolongada, há um envolvimento gradual da submucosa mais profunda e de partes da camada muscular; a cicatrização nesta fase geralmente resulta em fibrose e estenose (WIESNER et al., 2003; MITSUDO; BRANDT, 1992). Eventualmente, ocorre o envolvimento da muscular mais profunda e da serosa, resultando em necrose transmural irreversível e perfuração (OLDENBURG et al., 2003; WIESNER et al., 2003). Um insulto isquêmico é seguido por uma resposta inflamatória mediada por células inflamatórias locais e infiltrantes, com a liberação de citocinas e outros mediadores pró-inflamatórios, resultando em aumento da permeabilidade vascular e deterioração progressiva da parede intestinal (OLDENBURG et al., 2004). A translocação bacteriana ocorre secundariamente à diminuição da integridade da mucosa; isso não apenas potencializa as alterações inflamatórias existentes por meio de uma infecção sobreposta, mas também pode resultar em bacteremia, coagulação intravascular disseminada (CID) e falência multiorgânica (OLDENBURG et al., 2004; WIESNER et al., 2003).

Figura 1. Émbolos mesentéricos.



Fonte: Harper D, Chandler B (2016)

A imagem coronariana de projeção de máxima intensidade (MIP) mostra ramos extensivamente calcificados da artéria mesentérica superior preenchidos com émbolos (seta curva). Enquanto algumas alças no abdômen direito apresentam realce normal (cabeça de seta), outras à esquerda estão hipo-realçadas e isquêmicas (seta). B) A imagem de tomografia computadorizada de fase arterial/entérica combinada de energia dual em corte transversal demonstra a profunda diferença de contraste entre as alças normais (cabeça de seta) e as alças isquêmicas hipo-realçadas (seta). Observe que o intestino isquêmico tem parede fina e que a diminuição do realce pode ser desafiadora para identificar sem primeiro usar o intestino normal como um controle interno para comparação.

1.2 Causas da isquemia mesentérica aguda primária

A etiologia da isquemia mesentérica aguda primária (IMA) é tradicionalmente dividida em isquemia mesentérica oclusiva ou não oclusiva (NOMI). As etiologias oclusivas são ainda subdivididas em arterial ou venosa.

Arterial

A IMA arterial é a mais comum, representando 50–75% de todos os casos de IMA (OLDENBURG et al., 2004; CLAIR; BEACH, 2016). A extensão da isquemia pode ser variável e depende principalmente da localização da oclusão/estenose, da carga do coágulo e da robustez da circulação colateral (GARZELLI et al., 2020).

A IMA embólica responde por 40–50% de todos os casos de IMA (CLAIR; BEACH, 2016). A artéria mesentérica superior (AMS) é particularmente suscetível a fenômenos embólicos devido ao seu calibre relativamente grande e ao estreito ponto de origem da aorta abdominal (OLDENBURG et al., 2004; GORE et al., 2008). Os êmbolos frequentemente se

alojam a 3–10 cm do óstio da AMS, perto ou distal à origem da artéria cólica média (OLDENBURG et al., 2004; MCKINSEY; GEWERTZ, 1997; GORE et al., 2008; GARZELLI et al., 2020). Os êmbolos são mais frequentemente de origem cardíaca; menos comumente, podem se originar da aorta ou da própria AMS, como em um aneurisma da AMS parcialmente trombosado. Cerca de 20–50% dos pacientes têm múltiplos êmbolos na AMS ou êmbolos sincrônicos em órgãos sólidos, como o baço e os rins, e um terço tem um evento embólico antecedente (OLDENBURG et al., 2004; HARPER; CHANDLER, 2016; PÉREZ-GARCÍA et al., 2018; ASCHOFF et al., 2009). A apresentação clínica é frequentemente fulminante e caracterizada por dor abdominal severa "desproporcional" ao exame físico, diarreia e hematochezia (OLDENBURG et al., 2004).

A presença de êmbolos, como múltiplos êmbolos na artéria mesentérica superior (AMS) ou em órgãos sólidos, como baço e rins, pode ser considerada uma variável relevante e potencialmente preditiva em modelos de Inteligência Artificial (IA) voltados para a predição de eventos embólicos, como acidentes vasculares cerebrais (AVCs), infartos intestinais ou danos renais. Modelos de IA têm o poder de analisar e combinar grandes volumes de dados, e a identificação precoce da presença de êmbolos pode ser crucial para prever e prevenir complicações graves em pacientes com risco de embolismo. Em sistemas de IA aplicados à medicina, a presença de múltiplos êmbolos pode ser utilizada para prever eventos adversos graves, como infartos intestinais, lesões renais ou AVCs. Esses modelos podem ajudar os profissionais de saúde a identificar pacientes com risco elevado e, assim, tomar decisões terapêuticas mais eficazes, como anticoagulação, intervenções cirúrgicas ou monitoramento intensivo.

A trombose da artéria mesentérica superior é responsável por 20–35% da IMA, e até 80% dos pacientes têm um histórico de isquemia mesentérica crônica (IMC) (OLDENBURG et al., 2004). Um desencadeador comum para a IMA trombótica é a ruptura de uma placa aterosclerótica existente (WASNIK et al., 2011). O local de obstrução é geralmente mais proximal em comparação com a IMA embólica — muitas vezes na origem da AMS — com uma extensão maior da isquemia (OLDENBURG et al., 2004; WASNIK et al., 2011). O início dos sintomas na IMA trombótica é mais insidioso em comparação com a IMA embólica, dado o aumento da colateralização, e é tipicamente sobreposto a sintomas existentes de IMC, como dor abdominal pós-prandial e aversão a alimentos (GORE; YAGHMAI, 2008).

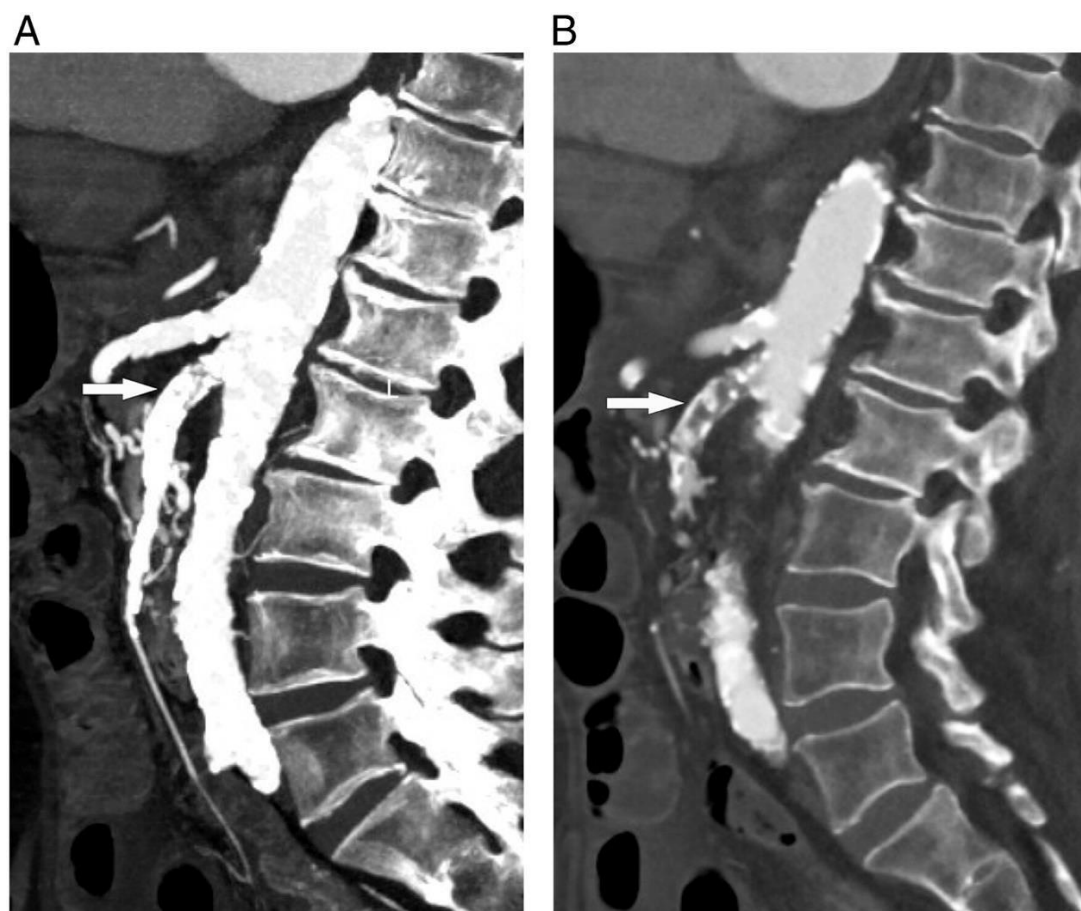
A dissecção é outra causa da IMA arterial; a AMS pode se originar de um lúmen falso mal perfundido em uma dissecção aórtica, um flap de dissecção da aorta pode se propagar para a AMS, ou uma dissecção focal pode ocorrer diretamente dentro da própria AMS (WASNIK et al., 2011). A dissecção e outras etiologias, como displasia fibromuscular e vasculite, combinadas, representam menos de 5% dos casos (WASNIK et al., 2020).

Êmbolos oclusivos ou trombos aparecem como uma não opacificação abrupta de um vaso

arterial, o que é chamado de “sinal de corte do vaso” (Figura 1) (WASNIK et al., 2011; GARZELLI et al., 2020).

A trombose ou embolia da AMS em um paciente com suspeita clínica de IMA é um achado altamente específico (especificidade de até 100) (KIRKPATRICK; KROEKER; GREENBERG, 2003; YIKILMAZ et al., 2011; ASCHOFF et al., 2009; TAOUREL et al., 2011). Em casos de trombose aguda sobre crônica, placas ateroscleróticas calcificadas e não calcificadas frequentemente estão presentes na AMS, bem como na aorta abdominal e em outras artérias principais, e podem ser extensas (WASNIK et al., 2011; GARZELLI et al., 2020). Um erro de avaliação na IMA arterial pode ocorrer ao avaliar as reconstruções MIP. Embora as reconstruções MIP permitam uma rápida análise da arcade mesentérica, também podem subestimar a carga da doença, já que qualquer contraste ao redor de um trombo será projetado e pode mascarar a patologia. A correlação com imagens angiográficas axiais e multiplanares é sempre necessária para uma avaliação precisa da vasculatura.

Figura 2. Armadilhas interpretativas



Fonte: Harper D, Chandler B (2016)

O trombo em imagens de projeção de máxima intensidade (MIP). A MIP sagital (A) e a reformatação multiplanar (MPR) (B) da aorta mostram como um grande êmbolo (setas) na artéria mesentérica superior é muito mais conspícuo na MPR. Como uma MIP projeta o pixel mais brilhante no volume de tecido reconstruído, se houver qualquer contraste em qualquer lado do

trombo, ele será projetado para frente na MIP e mascarará o coágulo. As imagens MIP são excelentes para uma avaliação rápida da arcade mesentérica, mas podem subestimar a carga do coágulo.

Não Oclusiva

Em contraste com o IAM secundário à oclusão de grandes vasos, o NOMI foi inicialmente mal compreendido. Há quase 80 anos, os primeiros relatos de NOMI descreveram gangrena intestinal secundária ao baixo débito cardíaco, mas sem evidência de oclusão arterial ou venosa (ENDE, 1958; WILCOX et al., 1995).

Até hoje, apenas estudos de séries de casos e coortes retrospectivos relatam esses eventos graves e em uma população selecionada. Uma exceção relata dados epidemiológicos em uma população geral (ACOSTA et al., 2006). Este estudo populacional sueco foi realizado entre 1970 e 1982 e sugeriu uma incidência populacional de NOMI fatal de 2/100.000 pessoas-ano. De 23.446 autópsias sistemáticas, 62 casos fatais de NOMI foram identificados. Após a investigação dos registros de dados clínicos, esses pacientes eram mais propensos a sofrer de insuficiência cardíaca fatal, fibrilação atrial e cirurgia recente. É importante notar que o exame necroscópico frequentemente mostrou infarto concomitante de outros órgãos viscerais, como fígado, baço e rins, sugerindo um estado de hipoperfusão global de órgãos. Por meio de séries de casos cirúrgicos monocêntricos retrospectivos não recentes, o NOMI varia entre 4% e 60% das causas de IAM, dependendo da combinação de casos (SITGES-SERRA et al., 1988; ENDEAN et al., 2001).

Várias outras coortes menores também relataram hemodiálise como um cenário associado a um risco de NOMI (ZEIER et al., 1995). Em um estudo retrospectivo de 57 casos ocorridos nas primeiras 12h após a última sessão de hemodiálise, todos os casos foram precedidos por um episódio de hipotensão durante a hemodiálise, e as investigações encontraram áreas isquêmicas difusas (≥ 3), em 20% dos casos (QUIROGA et al., 2013). Vasculite também foi relatada como uma causa ocasional de NOMI, especialmente poliarterite nodosa (HATEMI; HATEMI; ÇELIK, 2017).

Na UTI, embora descrito por décadas, o interesse em NOMI está crescendo; como mostrado por um aumento nos relatórios nos últimos anos (BJÖRCK et al., 2017; OLDENBURG et al., 2004; BJÖRCK; WANHAINEN, 2010; LEONE et al., 2015). Até o momento, o maior estudo multicêntrico retrospectivo reuniu 780 diagnósticos de IAM em pacientes de UTI, relatando uma mortalidade na UTI de 58% (LEONE et al., 2015). É importante notar que a origem oclusiva ou não oclusiva do IAM não foi investigada.

Quando o IAM ocorre na UTI, o NOMI parece prevalente: 91% dos casos em um estudo de 101 pacientes com IAM, com taxas semelhantes em outras coortes (GUILLAUME et al., 2017; BOURCIER et al., 2016). Essa prevalência aumentada na UTI pode ser explicada pelo fato de que muitas condições que levam à admissão na UTI podem estar associadas ao início de um

NOMI.

De acordo com um relatório recente de um centro de parada cardíaca, o NOMI pode afetar 2,5% a 6% dos pacientes após a parada cardíaca, sendo a mortalidade de 96% (PAUL et al., 2020). Fatores que refletem a gravidade da síndrome de isquemia-reperfusão, como maior lactato na admissão, baixo fluxo > 17 min e maior pontuação inotrópica, foram associados ao diagnóstico de NOMI. Além disso, o NOMI representa uma causa de piora secundária no choque séptico. Investigando a causa da morte no choque séptico de acordo com o tempo desde a admissão na UTI, Daviaud et al (DAVIAUD et al., 2015) identificaram o NOMI respectivamente como a segunda e a terceira causas de morte precoce (≤ 3 d) e tardia (> 3 d).

O conceito mecânico fisiopatológico do IAM depende de um desequilíbrio entre o suprimento e a demanda de oxigênio dos tecidos intestinais. As lesões isquêmicas começam a aparecer primeiro na mucosa intestinal e, posteriormente, podem progredir para necrose transmural irreversível (REILLY et al., 2001; REINTAM BLASER et al., 2021). As complicações incluem perfuração intestinal, peritonite, bacteremia devido à ruptura da barreira intestinal, inflamação que leva a mais disfunção de órgãos não mesentéricos e choque. Uma contribuição essencial para o campo foi o trabalho histórico de Chiu et al (CHIU et al., 1970) demonstrando como o fluxo mesentérico diminuído gera lesões mucosas. Em um modelo animal, o fluxo sanguíneo da artéria mesentérica superior foi modulado, biópsias seriadas do intestino delgado foram realizadas e lesões mucosas intestinais isquêmicas foram detalhadas.

Os autores observaram duas observações de alta importância. Primeiro, as lesões mucosas apareceram muito cedo após o início da experiência. Segundo, a rapidez e a gravidade das lesões mucosas foram correlacionadas com a importância da diminuição do fluxo sanguíneo. Esta experiência destaca o quão urgente é fazer o diagnóstico de IAM e prosseguir com o tratamento, uma vez que as complicações vitais e funcionais evoluem rapidamente. Um paralelo pode ser traçado com o infarto agudo do miocárdio e o acidente vascular cerebral. Portanto, centros de acidente vascular cerebral intestinal que permitem o tratamento multimodal precoce foram sugeridos, e os primeiros relatos mostraram aumento da sobrevivência (CORCOS et al., 2013).

Embora os experimentos realizados por Chiu et al (CHIU et al., 1970) apoiem fortemente a hipótese de um desequilíbrio de oferta e demanda como um passo primário em direção à NOMI, outros processos complexos podem estar envolvidos, levando, em última análise, à progressão em direção à necrose intestinal. Esses processos incluem a promoção de falência multiorgânica remota por meio de vias inflamatórias complexas após um primeiro insulto na forma de hipoperfusão transitória das principais artérias mesentéricas (OLDENBURG et al., 2004; REILLY et al., 2021; KLOTZ et al., 2001). Outros mecanismos incluem perfusão tecidual prejudicada responsável pela falha da barreira intestinal e translocação de endotoxina, disfunção endotelial e lesão de isquemia-reperfusão com aumento da produção local de citocinas, que pode variar de acordo com a causa primária da hipóxia intestinal (OLDENBURG et al.,

2004; GRIMALDI et al., 2013; PITON; CAPELLIER, 2016).

No choque séptico, a perfusão tecidual pode ser alterada no nível da microcirculação; apesar dos parâmetros hemodinâmicos globais aparentemente otimizados e essas anormalidades microcirculatórias estão diretamente ligadas à falência de órgãos (AIT-OUFELLA et al., 2015). Notavelmente, Dubin et al (DUBIN et al., 2008) demonstraram persistência de distúrbios alterados da microcirculação intestinal em animais falecidos após correção da hipotensão arterial em um modelo de choque séptico (DUBIN et al., 2008) . Além disso, na sepse, outros mecanismos podem participar da disóxia tecidual: distúrbios celulares e metabólicos SINGER et al., 2016; ABRAHAM; SINGER, 2007). Lobo et al (LOBO et al., 2003) mostraram possível “hipóxia citopática” sem comprometimento do fornecimento de oxigênio no desenvolvimento de lesão da mucosa intestinal durante choque endotóxico (LOBO et al., 2003). Portanto, uma hipoperfusão primária transitória das artérias mesentéricas principais pode não ser uma etapa obrigatória no NOMI relacionado à sepse. Além disso, intervenções terapêuticas deletérias podem aumentar a incidência de NOMI ao piorar a disóxia tecidual em pacientes de UTI.

Estudos experimentais e observacionais sugerem que o uso de vasopressores como norepinefrina e epinefrina pode resultar em perfusão da mucosa prejudicada (MEIER-HELLMANN et al., 1997; KRCHYTIUK et al., 2020). Outros agentes farmacológicos como vasopressina e digoxina (OLDENBURG et al., 2004), bem como hipovolemia aguda profunda, também podem piorar lesões isquêmicas. Por fim, o papel da nutrição enteral em pacientes criticamente enfermos é controverso e depende de vários fatores, como a dose de nutrição enteral, a fase metabólica e a gravidade dos pacientes. No recente ensaio clínico randomizado “NUTRIREA 2” (REIGNIER et al., 2018), a nutrição enteral foi comparada à nutrição parenteral com uma meta normocalórica (ou seja, 20-25 kcal/kg por dia) durante os primeiros dias de admissão (ou seja, fase catabólica) em pacientes ventilados mecanicamente com choque. A mortalidade não diferiu entre os dois grupos, mas uma taxa significativamente maior de isquemia intestinal foi relatada no grupo enteral [19 (2%) pacientes vs 5 (< 1%) pacientes]. No entanto, um estudo auxiliar focado em biomarcadores de citrulina e proteína de ligação a ácidos graxos intestinais (I-FABP) mostrou possíveis efeitos protetores da nutrição enteral na massa de enterócitos, despertando interesse para investigação adicional (PITON et al., 2019). Em particular, alguns levantaram a hipótese de que uma dose menor de nutrição enteral nesses pacientes pode produzir um efeito protetor (SINGER et al., 2019).

Comparado com o IAM oclusivo, a mortalidade relatada pelo NOMI é maior, variando entre 70% e 100% dependendo da série (GUILLAUME, A. et al., 2017; PAUL, M. et al., 2020). Embora as complicações do NOMI sejam semelhantes às do IAM oclusivo (incluindo necrose, perfuração com peritonite, bacteremia secundária a translocações digestivas, síndrome compartimental aguda, choque vasoplégico, falência de múltiplos órgãos levando à morte), seu prognóstico é de fato diferente (BJÖRCK, M. et al., 2017). Em pacientes sobreviventes, as

complicações tardias do IAM incluem classicamente a síndrome do intestino curto, desnutrição e necessidade de nutrição parental total (HUISMAN-DE WAAL, G. et al., 2007; GUPTA, P. K. et al., 2011). É importante notar que os resultados tardios em pacientes com NOMI (por exemplo, mortalidade a longo prazo, qualidade de vida) são atualmente desconhecidos e devem ser investigados.

Várias razões podem explicar esse prognóstico ruim no NOMI em comparação ao IAM oclusivo. Para começar, no primeiro, os pacientes estão em um estado crítico, devido a uma agressão grave anterior, e o NOMI representa um “segundo golpe” adicionado ao motivo da admissão na UTI. Em segundo lugar, as opções de tratamento não permitem uma reversão rápida do insulto causal (ao contrário de uma revascularização de um vaso ocluído), levando ao tratamento tardio e, portanto, a piores resultados. Em terceiro lugar, o tratamento cirúrgico é complexo devido à falta de delimitação clara entre tecido viável e necrótico: as lesões são frequentemente difusas ou irregulares e ressecções extensas são então realizadas, quando consideradas relevantes, o que geralmente não é o caso após a avaliação laparoscópica. Por fim, o diagnóstico é complexo e requer abordagens multimodais, levando a atrasos, em comparação com as causas de IAM obstrutivo (OLDENBURG, W. A. et al., 2004; VAN DEN HEIJKANT, T. C. et al., 2013).

Diante de um distúrbio de evolução rápida, o processo diagnóstico deve fornecer respostas para duas questões importantes. Primeiro, diagnosticar o IAM precocemente é essencial para evitar a progressão para necrose transmural e as complicações associadas (OLDENBURG, W. A. et al., 2004). Segundo, informações confiáveis sobre a presença ou ausência de necrose intestinal e, idealmente, sobre a localização intestinal envolvida, são necessárias para orientar a decisão sobre o tratamento cirúrgico, de acordo com a localização e indicação da cirurgia e a condição do paciente.

Até hoje, essas questões vitais permanecem sem resposta no cenário de NOMI e são frequentemente diagnosticadas tarde demais. No momento do diagnóstico em estudos de NOMI, os parâmetros biológicos de gravidade são geralmente marcadamente altos, e a necrose é frequentemente observada em comparação com coortes recentes de IAM oclusivo (GUILLAUME, A. et al., 2017; PAUL, M. et al., 2020; BOURCIER, S. et al., 2016; NUZZO, A. et al., 2017). Essa gravidade, possivelmente associada ao atraso no diagnóstico, poderia explicar parcialmente as discrepâncias entre as taxas de mortalidade observadas.

O NOMI sempre foi apresentado como um diagnóstico desafiador devido, em particular, aos sinais clínicos considerados inespecíficos (VAN DEN HEIJKANT, T. C. et al., 2013; HOWARD, T. J. et al., 1996). O diagnóstico é geralmente suspeitado diante de uma nova ou piora da insuficiência circulatória em contextos evocativos (por exemplo, cirurgia cardíaca ou após ressuscitação cardíaca) e é discutido como um diagnóstico diferencial de infecções secundárias (OLDENBURG, W. A. et al., 2004). Sinais digestivos, semelhantes aos de uma

apresentação de IAM oclusivo, podem então evocar o NOMI. Esses sinais incluem possivelmente dor abdominal “brutal”, diarreia, hemorragia digestiva alta ou baixa e vômitos. No entanto, uma diferença notável é que o início do IAM oclusivo é frequentemente brutal, permitindo identificar o momento exato do início; em contraste, no ambiente de UTI, os pacientes podem ser sedados e curarizados, o exame abdominal pode não render muito, mesmo que outros sinais digestivos inespecíficos possam sugerir NOMI (volume residual gástrico anormal sob nutrição enteral, íleo, aumento do perímetro abdominal, aumento da pressão intra-abdominal).

Biomarcadores representam ferramentas aditivas para esse diagnóstico difícil. Biomarcadores de rotina, entre aqueles que refletem isquemia tecidual, lactato plasmático, lactato desidrogenase (LDH) e aspartato aminotransferase (AST), podem reforçar a suspeita de NOMI (VAN DEN HEIJKANT, T. C. et al., 2013; MONTAGNANA, M. et al., 2018).

A procalcitonina também demonstrou estar associada à mortalidade em pacientes com IAM (MERLE, C. et al., 2004). Um valor limite de 2,47 ng/mL foi sugerido em um estudo retrospectivo monocêntrico de 128 pacientes com IAM (COSSE, C. et al., 2015). No entanto, em um subgrupo NOMI, a procalcitonina pode ser menos precisa, dada a alta prevalência de insuficiência renal aguda e infecções (LEONE, M. et al., 2015).

O lactato sérico, um marcador de longa data de isquemia tecidual, geralmente está associado à mortalidade no cenário de IAM (LEONE, M. et al., 2015). Apesar da falta de especificidade, o lactato pode ser útil para prever necrose quando associado a outros parâmetros. Um estudo prospectivo de 67 pacientes selecionados com IAM identificou três parâmetros associados à necrose: presença de falência de órgãos, níveis séricos de lactato > 2 mmol/L e dilatação intestinal na tomografia computadorizada (TC) (NUZZO et al., 2017). Quando todos os três parâmetros estavam presentes, a necrose que exigia ressecção cirúrgica era altamente provável. No entanto, havia apenas um paciente com NOMI nesta coorte e, no cenário de NOMI, um aumento nos níveis plasmáticos de lactato é consistente com inúmeras etiologias possíveis.

Dímeros D também foram relatados como altamente sensíveis para diagnóstico de IAM com valor preditivo negativo plausível (ACOSTA; NILSSON; BJÖRCK, 2004; CHIU et al., 2009). No entanto, nenhum estudo focou em uma população NOMI selecionada na qual é provável encontrar múltiplas causas concorrentes para um aumento nos níveis de dímero D, resultando em baixa especificidade, e sua dosagem não é recomendada (BJÖRCK et al., 2017). Da mesma forma, essa conclusão pode ser tirada com níveis de LDH e contagem de leucócitos (BOURCIER et al., 2016; THUIJLS et al., 2011; MATSUMOTO et al., 2014).

No entanto, o exame clínico e os testes laboratoriais de rotina têm pouco valor para fazer um diagnóstico precoce confiável e para diferenciar a suspeita de NOMI confirmado (CLAIR, 2016; BOURCIER et al., 2016; BOURCIER; COMBES, 2019).

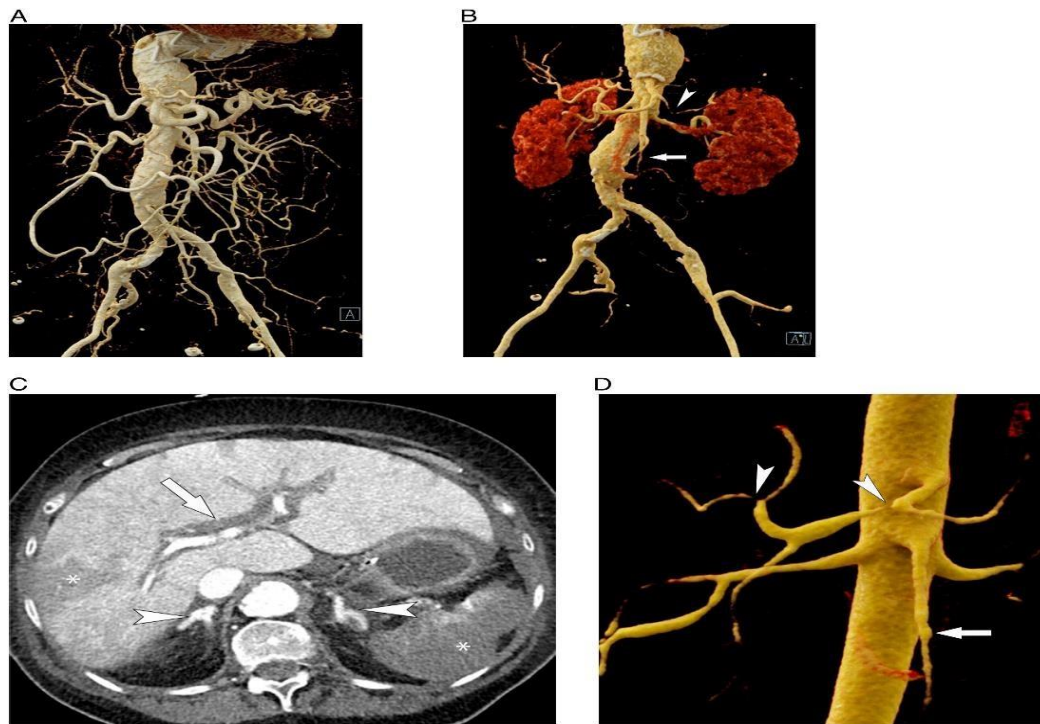
Compreendendo 20–30% dos casos, a isquemia mesentérica não oclusiva (NOMI) ocorre como resultado da hipoperfusão mesentérica causada pela diminuição do débito cardíaco, sem

evidência de oclusão vascular (OLDENBURG et al., 2004; CLAIR; BEACH, 2016; PÉREZ-GARCÍA et al., 2018). Uma redução de 50% no fluxo sanguíneo da artéria mesentérica superior (AMS) inicialmente resulta em vasodilatação compensatória, mas se a hipoperfusão persistir, a estimulação simpática resulta em vasoconstrição mesentérica, causando aumento da resistência arterial e uma diminuição adicional na perfusão. Essa mudança pode ocorrer tão cedo quanto 10 minutos após a hipoperfusão (TROMPETER et al., 2002). Essa resposta é frequentemente uma reação a um evento desencadeador sistêmico, como cirurgia maior recente, hipotensão, sepse, vários tipos de choque e interações medicamentosas (BAGNACCI et al., 2021).

A vasoconstrição pode ser revertida se o fluxo sanguíneo for rapidamente restaurado, mas após 30 minutos de hipoperfusão, a resposta pode se tornar irreversível, mesmo com a restauração de 100% do fluxo. A NOMI está associada a um mau prognóstico e alta mortalidade, pois geralmente afeta os idosos, aqueles que estão gravemente enfermos e aqueles que têm comorbidades significativas (OLDENBURG et al., 2004; PÉREZ-GARCÍA et al., 2018). Os achados clínicos são não específicos e sintomas típicos de IMA, como dor abdominal, podem estar ausentes ou presentes apenas em doenças avançadas (WOODHAMS et al., 2010). Os pacientes frequentemente estão alterados ou sedados e incapazes de caracterizar seus sintomas, tornando o reconhecimento e diagnóstico precoces ainda mais desafiadores (OLDENBURG et al., 2004).

Na NOMI, são vistos achados típicos de vasoconstrição arterial, como estreitamento focal das origens dos ramos da AMS, "desbaste" da arcade mesentérica e vasoespasmo resultando em uma aparência "bead" ou "corda de salsicha" na vasculatura mesentérica (Figura 3) (PÉREZ-GARCÍA et al., 2018). O calibre da AMS também pode estar significativamente reduzido em pacientes com NOMI em comparação com exames de TC anteriores ou controles saudáveis, e um diâmetro da AMS inferior a 4 mm apoia o diagnóstico (MAZZEI et al., 2016). Como a NOMI frequentemente ocorre em estados de baixo fluxo, tanto a vasculatura venosa portomesentérica quanto a sistêmica podem parecer diminutas ou colapsadas, mas a ressuscitação antes da TC significa que isso nem sempre é o caso (WASNIK et al., 2011). A distribuição da doença é frequentemente extensa, mas áreas de necrose costumam ser não contínuas e aparecem primeiro nos territórios de watershed (MAZZEI et al., 2016).

Figura 3. Isquemia mesentérica não oclusiva (NOMI)



Fonte: Harper D, Chandler B (2016)

A imagem acima representa reconstruções volumétricas de uma angiografia por TC (CTA) antes (A) e depois (B) de o paciente desenvolver uroseps e receber vasopressores. O paciente desenvolveu isquemia não oclusiva e demonstra um profundo vasoespasm e desbaste da arcade vascular mesentérica. A artéria mesentérica superior de médio a distal (seta) está quase invisível como resultado, e a artéria esplênica (seta) está severamente espasmada. C) Uma imagem transversa no mesmo paciente mostra achados típicos de glândulas adrenais hiper-enhanceadas (setas), edema periportal (seta) e hipoperfusão do fígado e do baço (*). D) A CTA volumétrica em um paciente diferente destaca outros achados angiográficos importantes que podem ser observados na NOMI, incluindo estreitamento das origens dos ramos mesentéricos (setas) e a aparência em "contas de um colar" da artéria mesentérica superior espasmada (seta).

Diferenciar NOMI de IAM arterial ou venoso é importante, pois esses são pacientes de alto risco cirúrgico e a terapia de reperfusão geralmente é tentada primeiro (BAGNACCI, G. et al., 2021).

A pesquisa é encorajada para identificar ou validar novos biomarcadores e ferramentas de imagem e aumentar o conhecimento sobre a compreensão fisiopatológica da gênese do NOMI, especialmente em pacientes gravemente enfermos (REINTAM BLASER, A. et al, 2020). A precisão específica desses novos biomarcadores deve ser avaliada mais detalhadamente no futuro. No entanto, estudos bem projetados são incrivelmente difíceis devido a vários problemas. É importante ressaltar que a baixa incidência de NOMI requer uma seleção apropriada da população do estudo com consideração da probabilidade pré-teste. Além disso, os pacientes nos quais o NOMI foi descartado são difíceis de definir, dado o baixo valor preditivo negativo da

imagem de TC. As dificuldades metodológicas se originam da falta de conhecimento da fisiopatologia e da importante variabilidade do curso temporal do NOMI devido às diferenças na intensidade e duração da agressão na origem do NOMI. Além disso, um grupo de trabalho da Sociedade Europeia de Medicina Intensiva declarou a necessidade de uma definição consensual de NOMI para melhorar o conhecimento atual, estudar epidemiologia e sugerir intervenções (REINTAM BLASER, A. et al, 2020).

NOMI está associado a um prognóstico ruim devido à falta de ferramentas de diagnóstico precisas. Embora tomados individualmente, existem vários biomarcadores e modalidades de imagens, sua combinação e o estudo de sua variação ao longo do tempo, o que requer poder computacional absoluto que pode ser fornecido por ferramentas de inteligência artificial, está fadado a aumentar o desempenho diagnóstico em NOMI e melhorar o gerenciamento terapêutico.

Venosa

A isquemia mesentérica venosa (IMV) é a menos comum das três principais etiologias e compreende de 5 a 20% dos casos. Até 60% dos pacientes têm um histórico anterior de trombose venosa periférica ou embolia pulmonar. Embora a trombose possa ocorrer de forma idiopática ou secundária a patologias intra-abdominais, como pancreatite aguda ou cirurgia recente, muitos pacientes apresentam condições sistêmicas que resultam em um estado hipercoagulável.

O trombo venoso mesentérico (TVM) aparece como não opacificação ou um defeito de preenchimento intraluminal nas veias mesentéricas (Figura 4). O trombo não oclusivo normalmente se apresenta como um defeito de preenchimento com um contorno de opacificação por contraste, uma aparência que se mostrou mais de 90% específica para TVM. A presença de um trombo na veia mesentérica superior (VMS) é altamente específica em pacientes com suspeita clínica de IMA, variando de 94 a 100%. A veia afetada costuma estar aumentada e pode haver ingurgitamento dos tributários venosos a montante devido ao aumento da pressão venosa. A distribuição é frequentemente inicialmente segmentar e lentamente progressiva, afetando primeiro as veias menores a montante antes de se propagar para a VMS propriamente dita.

Figura 4. Trombose venosa mesentérica.



Fonte: Harper D, Chandler B (2016)

A reconstrução coronal de uma TC com contraste intravenoso na fase venosa mostra trombose extensa de toda a arcade venosa mesentérica superior (setas) e múltiplas alças de intestino delgado espessado que estão com pouca opacificação (setas) dentro de um grande

volume de ascite (*).

1.3 Perspectivas em biomarcadores

Pesquisas estão em andamento para identificar biomarcadores candidatos de IAM. Um dos mais promissores é o I-FABP. Estudos preliminares sugerem um interesse potencial no I-FABP, uma pequena proteína citosólica específica do intestino delgado liberada no contexto de isquemia intestinal (KANDA et al., 1996). Estudos experimentais demonstraram aumento precoce do I-FABP após o início da isquemia intestinal (SCHELLEKENS et al., 2014). Thuijls et al (2011) estudaram a precisão do I-FABP plasmático e urinário em 46 pacientes com suspeita de IAM, dos quais 22 casos de IAM foram finalmente confirmado.

Várias pistas foram perseguidas para atingir esse objetivo, então uma segunda hipótese é o desenvolvimento de novos biomarcadores, bem como novas ferramentas multimodais. Na última década, o advento da inteligência artificial (IA) permitiu a facilitação de diagnósticos complexos baseados em imagens.

1.4 Visão geral da IA na área da saúde

IA é um termo vago que reflete o uso de computadores para executar tarefas que são consideradas como exigindo habilidades únicas, geralmente de maneiras difíceis de identificar e que evoluem com o tempo. Por exemplo, embora algoritmos básicos de jogo, como aqueles inicialmente desenvolvidos para xadrez, tenham sido considerados como tal há 50 anos, eles agora fazem parte de todos os computadores pessoais, e sabemos como dividi-los em etapas discretas e sentimos que os entendemos (MESKÓ; GÖRÖG, 2020).

Mais tarde, a IA abrangeu o campo do reconhecimento de imagem (KRIZHEVSKY; SUTSKEVER; HINTON, 2012). Embora nós, humanos, executemos essa tarefa, muitas vezes não conseguimos articular exatamente como isso é feito. É o estudo de algoritmos que aprendem com a experiência sem serem explicitamente programados para sua tarefa. O ML incorpora uma ampla gama de métodos estatísticos que vão desde regressão linear até máquinas de vetores de suporte, árvores de decisão ou redes neurais que fazem uso de novos pontos de dados para atualizar a função que eles aproximam (MITCHELL, 2003).

Conforme introduzido, este campo é subdividido em métodos supervisionados, que aprendem a partir de amostras rotuladas, e métodos não supervisionados que tentam encontrar padrões nos próprios dados (MITCHELL, 2003; HINTON; SEJNOWSKI, 1999). As principais aplicações dos modelos supervisionados são a classificação, em outras palavras, escolher a qual classe predefinida uma observação pertence, e a regressão, na qual um valor é derivado de observações fornecidas. Em imagens médicas, essas duas aplicações geralmente equivalem a diagnóstico (classificação) e prognóstico (regressão). Agrupamento, no qual as observações são agrupadas em classes que não são predefinidas, e redução de dimensionalidade usada para estruturação ou visualização de dados são as aplicações mais comuns do aprendizado não supervisionado. Finalmente, no aprendizado por reforço, um modelo interage com seu ambiente,

executa ações e aprende de forma tentativa e erro. As principais aplicações do aprendizado por reforço estão em ferramentas de suporte à decisão e agentes autônomos (SUTTON; BARTO, 1998).

Durante o desenvolvimento de um sistema de ML, os parâmetros de um modelo, denominados pesos, são gradualmente ajustados para se ajustarem a um conjunto de dados de treinamento (HINTON, 2018). Em uma segunda etapa, o modelo é validado em um conjunto de dados separado. Uma avaliação no conjunto de dados inicial resultaria em resultados excessivamente otimistas, apelidados de efeito *overfitting*. Esse fenômeno comum ocorre quando o modelo de ML se adapta muito ao conjunto de dados de treinamento e, em seguida, falha em generalizar em outros conjuntos de dados.

A maneira mais simples de derivar um modelo de um conjunto de observações é o limiar de variáveis. Ao combinar múltiplas características, a regressão linear e logística são as técnicas mais frequentemente usadas na área da saúde, mas exigem a suposição de normalidade (SCHMIDT; FINAN, 2018). Métodos capazes de usar funções discriminantes não lineares, como máquinas de vetores de suporte, bem como métodos que dependem de múltiplas fronteiras lineares, como árvores de decisões, foram elaborados. Embora simples de implementar, esses modelos são limitados em sua capacidade de processar dados brutos, como imagens ou dados de curso de tempo, pois eles lutam para modelar as relações de grandes quantidades de variáveis em múltiplas dimensões (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015). Em vez disso, a elaboração de tais modelos geralmente precisa depender de considerável experiência de domínio para extrair características relevantes dos dados brutos, no entanto, características selecionadas arbitrariamente e as suposições fisiológicas subjacentes podem falhar em capturar a resposta de um indivíduo específico. Isso é especialmente verdadeiro para a análise de imagens médicas, nas quais cada voxel representa uma variável individual influenciada pela localização, tipo de tecido e estruturas circundantes, bem como dados sensíveis ao tempo, como aqueles registrados em registros eletrônicos de saúde padronizados (EHRs).

Algoritmos específicos de ML que são construídos de forma multicamadas, denominados algoritmos de aprendizado profundo (*Deep Learning*) contornam essa limitação codificando automaticamente vários níveis de representações internas de recursos relevantes. Isso é obtido pela composição de unidades não lineares simples que transformam sequencialmente a representação, começando pelos dados brutos, em uma representação um pouco mais abstrata em um nível mais profundo. Visualmente, ao analisar imagens, as duas primeiras camadas geralmente representam bordas e arranjos particulares de bordas. Camadas mais profundas subsequentes então montam os motivos codificados nas camadas anteriores em combinações maiores que representam partes de padrões apresentados nos dados brutos. A principal vantagem desse processo é que os recursos são aprendidos por um algoritmo de aprendizado de propósito geral sem nenhuma intervenção humana direta. Isso permite o rápido desenvolvimento de

modelos capazes de descobrir recursos complexos em dados multidimensionais. Na última década, o DL levou a grandes melhorias no desempenho nos campos de visão computacional (KRIZHEVSKY; SUTSKEVER; HINTON, 2012; FARABET et al., 2012) e processamento de linguagem natural (HOWARD; RUDER, 2018; PETERS et al., 2018).

As principais arquiteturas de modelos usadas nesses domínios são redes neurais convolucionais, redes neurais recorrentes (*Recurrent Neural Networks*, RNNs), autocodificadores e transformadores. Mesmo que os métodos DL tenham sido capazes de produzir resultados espetaculares, é importante perceber que esses métodos ainda estão em seus primeiros dias, e seu desempenho nem sempre excede o de técnicas convencionais usando recursos selecionados manualmente (LIU et al., 2019). DL funciona bem com grandes conjuntos de dados, mas frequentemente requer infraestrutura computacional específica para o processo de treinamento, enquanto os métodos ML convencionais têm vantagens para conjuntos de dados menores e podem ser criados com processadores clássicos.

As vantagens trazidas pelas análises de dados alimentadas por DL foram rapidamente assumidas no domínio médico com as primeiras traduções para radiologia (RAJPURKAR et al., 2017), oftalmologia (DE FAUW et al., 2018) e patologia. Embora a implementação de tais algoritmos em um ambiente clínico continue desafiadora (MESKÓ; GÖRÖG, 2020), essa progressão culminou na aprovação do primeiro reembolso de seguro para cuidados médicos aumentados por IA (FEDERAL REGISTER, 2021) para a detecção baseada em TC de oclusão de grandes vasos em acidente vascular cerebral. As UTIs modernas geram vastos fluxos de dados armazenados em EHRs e a pesquisa in-silico atual produziu ferramentas DL bem-sucedidas para melhorar a previsão de mortalidade (SARIA et al., 2010; THORSEN-MEYER et al., 2020) e orientar decisões clínicas (KOMOROWSKI et al., 2018).

Nos últimos anos, vários métodos de ML surgiram para diagnosticar sepse em tempo real ou para prever sua ocorrência. Os modelos mais proeminentes basearam-se em RNNs (KAM; KIM, 2017; LAURITSEN et al., 2020) modelos de risco personalizados (HENRY et al., 2015) ou uma combinação de vários modelos, conhecidos como conjuntos. Embora estudos de validação clínica ainda estejam frequentemente ausentes, esses métodos automatizados oferecem novas possibilidades para a detecção precoce de sepse com base em variáveis objetivas extraídas de dados de EHR (SARIA; HENRY, 2020; FLEUREN et al., 2020).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Identificar na literatura informações úteis para um sistema de suporte ao diagnóstico de isquemia mesentérica aguda (IMA), utilizando inteligência artificial (IA) e machine learning (ML), integrado a dispositivos de imagem portátil, visando melhorar a precisão e rapidez do diagnóstico em ambientes de saúde com recursos limitados, como o Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar uma análise detalhada das principais dificuldades e limitações no diagnóstico precoce da isquemia mesentérica no contexto do SUS.
 - ✓ Identificar os principais desafios clínicos e operacionais enfrentados no diagnóstico de IMA.
 - ✓ Mapear as lacunas tecnológicas e estruturais que impactam a eficácia do diagnóstico.
2. Apresentar informações que auxiliem no desenvolvimento para treinar modelos de *deep learning* para a análise automatizada de imagens médicas e dados clínicos relacionados da isquemia mesentérica.
 - ✓ Indicar modos de coletar um conjunto de dados de imagens médicas e registros clínicos de pacientes com suspeita de IMA.
 - ✓ Analisar a partir de estudos prévios dados que ajudem a identificar algoritmos de IA para a identificação precoce de sinais indicativos de IMA.
3. Discutir como integrar algoritmos de IA em um protótipo de dispositivo de imagem portátil para aplicação em ambientes de saúde com infraestrutura limitada.
 - ✓ Auxiliar pela literatura a desenvolver uma interface de usuário intuitiva e acessível para uso clínico.
 - ✓ Refletir sobre os modos de testar a compatibilidade e a eficiência dos algoritmos quando operando em conjunto com dispositivos de imagem portátil.
 - ✓ Avaliar métodos como conduzir estudos de validação em hospitais e clínicas do SUS para testar o desempenho do protótipo.

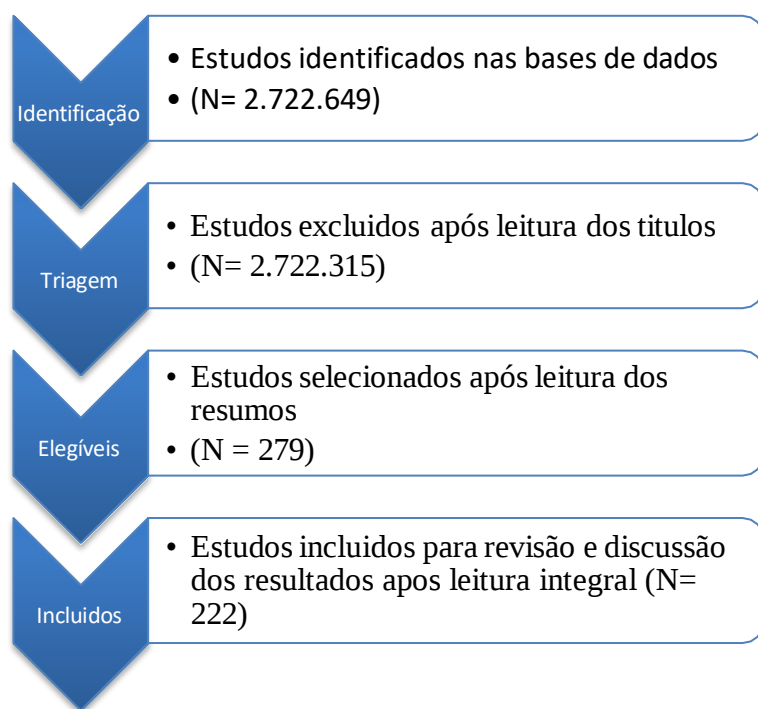
3. ESTRATÉGIA DE PESQUISA

O presente estudo consistiu no levantamento da produção científica disponível, explorando utilização da Isquemia Mesentérica com tecnologias emergentes. As metodologias seguiram as seguintes etapas: seleção das bases de busca da produção científica; definição das palavras-chave de busca; seleção dos parâmetros de busca utilizados em cada base; seleção das produções científicas identificadas nas bases de busca e identificação das publicações. O estudo é uma revisão sistemática e a busca de artigos foi realizada entre os meses de maio a novembro de 2024.

Os artigos utilizados foram publicados a partir do ano 2020, as bases de dados utilizados para pesquisa do tema foram: *Springer*; *Science direct*; *Frontiersin Media*; *Wiley Online Library* e *PubMed*, entre outras de grande relevância. A busca dos artigos foi realizada nos idiomas inglês e português. Para a identificação dos artigos, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: “Emerging Technologies”, “Mesenteric Ischemia”, “biotechnology and medicinal”, “Artificial intelligence”, “Early diagnosis”, “Unified Health System (SUS)” e “Machine learning”

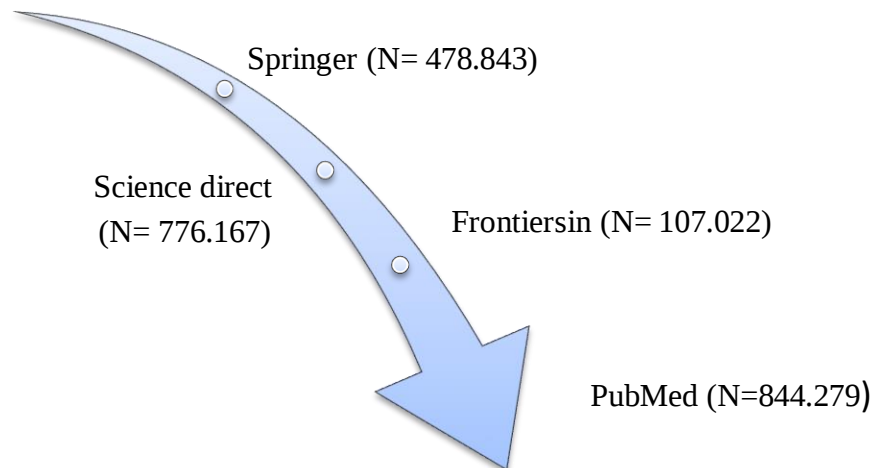
Inicialmente, foram encontrados 116.564 artigos, ao aplicar os critérios de inclusão restaram apenas 222 artigos para leitura integral, sendo 189 para revisão de literatura e 33 discussão dos resultados. Os artigos que foram removidos, não continham informações suficientes para atingir o objetivo proposto por essa revisão, restando apenas os 198 estudos para compor a base de dados.

Figura 5 - Diagrama de fluxo do estudo



Fonte: Elaboração própria

Identificação



Para exclusão dos artigos, foi realizada a leitura dos títulos e resumos dos estudos identificados na busca, àqueles que atenderam aos critérios de inclusão foram lidos e analisados, sendo novamente excluídos os que não contemplavam os critérios de inclusão, após a leitura de todo artigo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolver e validar um sistema de suporte ao diagnóstico de isquemia mesentérica aguda em ambientes de saúde com recursos limitados, como o Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil, o projeto pode ser estruturado em três grandes fases:

1. Pesquisa e Definição dos Requisitos do Sistema

- **Análise dos Cenários Clínicos:** Realizar uma análise dos cenários específicos onde o diagnóstico da Isquemia Mesentérica é crítico, identificando as limitações de infraestrutura e os processos de triagem existentes no SUS.
- **Coleta de Dados Clínicos e de Imagem:** Trabalhar com equipes médicas para compilar um conjunto de dados clínicos e imagens de casos de Isquemia Mesentérica e condições semelhantes. Esse conjunto de dados deve abranger variáveis clínicas relevantes (idade, sexo, histórico médico, sintomas) e dados de imagens (exames de ultrassom, angiotomografia etc.).
- **Parceria com Profissionais de Saúde:** Colaborar com especialistas em saúde para definir os parâmetros essenciais para o diagnóstico da Isquemia Mesentérica. Isso ajudará a validar os critérios que o sistema precisará detectar automaticamente.

2. Desenvolvimento do Modelo de IA/ML Integrado a Dispositivos Portáteis de Imagem

- **Desenvolvimento do Algoritmo:** Criar e treinar algoritmos de machine learning baseados

nos dados coletados para identificar sinais clínicos e de imagem indicativos de IMA. Modelos como redes neurais convolucionais (CNNs) podem ser usados para análise de imagens, enquanto modelos de aprendizado supervisionado podem ser aplicados à análise de dados clínicos.

- **Integração com Dispositivos Portáteis:** Adaptar o sistema para dispositivos de imagem portátil, como ultrassons portáteis, que são mais acessíveis e práticos em ambientes com infraestrutura limitada. Isso inclui criar interfaces de fácil utilização que permitam aos profissionais de saúde obterem rapidamente uma análise preliminar.
- **Validação do Sistema:** Realizar testes rigorosos para garantir que o modelo alcance uma precisão e rapidez adequadas no diagnóstico diferencial. A validação deve incluir testes em ambientes controlados e, posteriormente, em cenários clínicos reais.

3. Implementação e Avaliação em Ambiente Clínico

- **Estudo Piloto no SUS:** Implementar o sistema de forma experimental em unidades do SUS para verificar sua aplicabilidade e impacto no diagnóstico. Esse piloto permitirá avaliar o tempo de resposta, a precisão dos diagnósticos e a receptividade dos profissionais de saúde ao uso do sistema.
- **Coleta de Feedback e Ajustes:** Recolher feedback dos médicos e demais profissionais de saúde para refinar o sistema, garantindo que seja intuitivo e acessível no uso diário.
- **Avaliação de Resultados e Eficiência:** Analisar o impacto do sistema na melhoria da precisão diagnóstica e redução de tempos de espera, comparando com os métodos tradicionais usados no SUS. Esse impacto pode ser medido em termos de vidas salvas, custo-benefício e aumento na capacidade de diagnóstico.

Esse desenvolvimento representa um avanço estratégico, alinhado com a realidade de hospitais e clínicas em João Pessoa - PB, onde a combinação de IA e ML pode transformar o diagnóstico precoce da Isquemia Mesentérica. A proposta visa contribuir para a redução de mortalidade, otimização de recursos e, sobretudo, o fortalecimento da capacidade de resposta do SUS em situações críticas de saúde.

1. Realizar uma análise detalhada das principais dificuldades e limitações no diagnóstico precoce da isquemia mesentérica aguda no contexto do SUS.

Para realizar uma análise detalhada das principais dificuldades e limitações no diagnóstico precoce da isquemia mesentérica aguda (IMA) no contexto do Sistema Único de Saúde (SUS), é necessário considerar vários fatores que afetam tanto os processos clínicos quanto a infraestrutura disponível. Abaixo estão os principais desafios:

1. Deficiência de Infraestrutura e Equipamentos Avançados

- **Limitação de Dispositivos de Imagem Avançada:** A isquemia mesentérica aguda é

diagnosticada com maior precisão por exames de imagem avançados, como tomografia computadorizada (TC) com contraste em um estado mais avançado na doença pelo espessamento das alças intestinais, porém o diagnóstico de ouro é através de uma angioressonância com contraste. Contudo, muitos hospitais e clínicas no SUS têm acesso restrito a esses equipamentos, especialmente em regiões remotas e menos favorecidas. Isso limita a detecção e o diagnóstico precoce.

- **Disponibilidade de Dispositivos Portáteis de Ultrassom:** Ultrassons portáteis poderiam fornecer suporte inicial ao diagnóstico quando a doença está avançada, mas ainda são pouco acessíveis no SUS. Além disso, a falta de dispositivos de alta qualidade e atualização desses equipamentos afeta diretamente a capacidade de diagnóstico mais ágil, diminuindo óbitos por IMA.

2. Escassez de Profissionais Capacitados

- **Carência de Especialistas:** A interpretação precisa de exames de imagem, como a angiotomografia, requer radiologistas especializados, que nem sempre estão disponíveis em unidades do SUS, especialmente fora dos grandes centros urbanos.
- **Treinamento em Diagnóstico de IMA:** Profissionais de saúde não especializados podem ter dificuldades para reconhecer os sinais sutis e não específicos da isquemia mesentérica, especialmente no início da condição, o que contribui para o diagnóstico tardio. Isso reforça a necessidade de treinamentos voltados para o diagnóstico diferencial da IMA.

3. Complexidade dos Sintomas e Falta de Protocolos Padronizados

- **Sintomas Variáveis e Não Específicos:** A IMA apresenta sintomas que se sobrepõem com outras condições abdominais, como dores vagas e distensão abdominal, o que dificulta sua identificação rápida. A ausência de sintomas claros e específicos pode retardar a decisão por exames mais avançados.
- **Ausência de Protocolos de Triagem para IMA:** O SUS possui protocolos padronizados para várias condições de emergência, mas a isquemia mesentérica aguda não recebe a mesma atenção em termos de triagem padronizada. A implementação de um protocolo específico poderia acelerar a decisão clínica em casos suspeitos de IMA.

4. Baixa Integração Tecnológica e Ausência de Ferramentas de Suporte ao Diagnóstico

- **Falta de Ferramentas de IA/ML:** A escassez de sistemas baseados em inteligência artificial e machine learning que possam auxiliar os profissionais na análise de dados clínicos e imagens é uma limitação significativa. Ferramentas que auxiliem no reconhecimento de padrões associados à IMA poderiam aumentar a rapidez e a precisão diagnóstica, mas sua implementação no SUS ainda é limitada.
- **Integração Insuficiente de Sistemas de Dados Clínicos:** A falta de integração entre os

sistemas de dados clínicos, como prontuários eletrônicos e históricos médicos, dificulta o acesso rápido às informações do paciente. Essa fragmentação dos dados retarda o diagnóstico, pois os médicos podem não dispor de informações relevantes sobre o histórico do paciente.

5. Demora no Tempo de Resposta e Alto Fluxo de Pacientes

- **Tempo de Espera Elevado:** A sobrecarga de atendimentos em emergências no SUS resulta em longos tempos de espera, o que prejudica a detecção precoce de condições emergenciais como a IMA. Casos que exigem exames mais detalhados, como tomografias, podem enfrentar atrasos significativos, aumentando o risco de complicações.
- **Priorização de Outros Casos de Emergência:** A falta de um protocolo específico para a IMA, combinada com a sobrecarga dos profissionais, faz com que outras condições de emergência sejam priorizadas. Isso ocorre especialmente em cenários em que a isquemia mesentérica é subdiagnosticada ou erroneamente considerada uma condição de menor risco.

Essas limitações refletem a necessidade de desenvolver e implementar soluções de suporte ao diagnóstico de IMA adaptadas à realidade do SUS. Tecnologias emergentes como a IA e o machine learning, integradas a dispositivos de imagem portátil, têm potencial para abordar algumas dessas barreiras, melhorando a rapidez e a precisão dos diagnósticos, mesmo em ambientes com infraestrutura limitada.

4.1 Etapas do Desenvolvimento e Treinamento de Modelos de *Deep Learning* para Isquemia Mesentérica

1. Coleta e Preparação dos Dados

- **Aquisição de Imagens e Dados Clínicos:** Coletar imagens médicas de tomografias computadorizadas (TC) e outros exames relevantes de pacientes com suspeita de isquemia mesentérica, junto com seus dados clínicos (ex. sintomas, histórico médico e condições pré-existentes).
- **Padronização e Anonimização:** Garantir que todos os dados de imagem estejam em formato padrão (como DICOM) e anonimizados, respeitando as diretrizes éticas e de privacidade. Assegurar que as imagens sejam de alta qualidade e consistentes em resolução e contraste.
- **Pré-processamento e Segmentação:** Aplicar técnicas de pré-processamento, como normalização de intensidade e remoção de ruídos, além de utilizar algoritmos de segmentação (ex. U-Net) para destacar as áreas de interesse, como as artérias mesentéricas e tecidos adjacentes, que são críticos na detecção de isquemia.

4.2 Desenvolvimento dos Modelos de Deep Learning

Escolha de Arquiteturas de Rede Neural Convolucional (CNN): Implementar redes convolucionais para a análise de imagens, dado seu sucesso em reconhecimento de padrões em dados visuais. Modelos como ResNet, DenseNet e EfficientNet são comumente eficazes na detecção de anomalias em imagens médicas.

Tabela 1 - Arquiteturas de Rede Neural Convolucional (CNN)

Arquitetura	Diferencial Técnico	Benefícios em Imagens Médicas	Exemplo de Aplicação
ResNet	Introdução de blocos residuais para aprendizado eficiente em rede profundas	- Facilita o treinamento de redes muito profundas, crucial para capturar padrões complexos. - Mitiga o problema de <i>vanishing gradients</i> .	Detecção de microcalcificações em mamografias.
DenseNet	Conexões densas entre camadas para reuso de características e eficiência no fluxo de informações.	- Reduz o número de parâmetros, ideal para conjuntos de dados médicos limitados. - Aumenta a precisão em padrões sutis.	Identificação de tumores cerebrais em ressonâncias magnéticas.
EfficientNet	Abordagem de <i>compound scaling</i> para otimizar simultaneamente profundidade, largura e resolução da rede.	- Alta precisão com menor custo computacional. - Excelente desempenho em dispositivos com restrições de hardware.	Classificação de patologias pulmonares em radiografias torácicas.

Fonte: Elaboração própria

- ✓ **Diferencial Técnico:** Resume o principal avanço introduzido por cada arquitetura.
- ✓ **Benefícios em Imagens Médicas:** Aponta os ganhos específicos de cada arquitetura para

tarefas médicas, como melhoria na detecção de anomalias ou eficiência computacional.

- ✓ **Exemplo de Aplicação:** Apresenta exemplos práticos, ajudando a contextualizar o uso de cada arquitetura.
- **Modelos Multimodais:** Combinar CNNs para imagens com redes completamente conectadas para processar dados clínicos (ex. idade, condições de saúde). Esta abordagem permite integrar informações heterogêneas e contextualizar o diagnóstico com base no perfil clínico do paciente.
- **Redes de Segmentação para Áreas Afetadas:** Para detectar áreas específicas de possível isquemia, usar arquiteturas de segmentação como U-Net, que podem destacar regiões anômalas na imagem e auxiliar na visualização das áreas afetadas.

Treinamento e Validação dos Modelos

- **Divisão e Balanceamento dos Dados:** Dividir o conjunto de dados em subconjuntos de treinamento, validação e teste. Manter o balanceamento entre casos positivos e negativos de isquemia mesentérica, para que o modelo aprenda a diferenciar entre diagnósticos.
- **Ajuste de Hiperparâmetros:** Realizar tuning de hiperparâmetros para otimizar o desempenho do modelo, ajustando a taxa de aprendizado, profundidade da rede, número de camadas e regularização para evitar o sobreajuste.
- **Validação Cruzada e Testes:** Utilizar validação cruzada para medir a robustez e generalização do modelo. Implementar métricas como AUC-ROC, precisão, recall e F1-score, que são importantes para avaliar a eficácia em casos de classificação médica.

Implementação de Técnicas de Explainable AI (XAI)

- **Métodos de Interpretação Visual (ex. Grad-CAM):** Para tornar as previsões mais compreensíveis, usar técnicas de visualização como Grad-CAM, que destacam áreas da imagem que influenciaram a decisão do modelo. Essas técnicas auxiliam médicos a entender o raciocínio do modelo e a confiar nas suas previsões.
- **Feedback Clínico para Refinamento:** Incorporar feedback de especialistas médicos para refinar o modelo e alinhar as previsões aos critérios clínicos reais. Ajustes baseados na experiência clínica ajudam a melhorar a aplicabilidade e a precisão em contextos práticos.

O desenvolvimento e o treinamento de modelos de deep learning voltados ao diagnóstico de isquemia mesentérica têm potencial para transformar o atendimento médico, especialmente em ambientes de recursos limitados. A combinação de imagens médicas e dados clínicos em um modelo multimodal e explicável oferece um sistema robusto de suporte à decisão, que auxilia na identificação precoce de casos de isquemia mesentérica e proporciona maior precisão e rapidez

no diagnóstico clínico.

Integrar os algoritmos de IA em um protótipo de dispositivo de imagem portátil para aplicação em ambientes de saúde com infraestrutura limitada.

A integração dos algoritmos de IA em um protótipo de dispositivo de imagem portátil para diagnóstico de isquemia mesentérica em ambientes de saúde com infraestrutura limitada envolve várias etapas estratégicas. O objetivo é criar uma ferramenta prática e acessível que permita diagnósticos mais rápidos e precisos, especialmente em locais onde o acesso a tecnologias avançadas é limitado, como em unidades do SUS. Essa abordagem combina inovação em hardware com o poder analítico de modelos de IA oferecendo suporte crucial para a equipe médica em situações de urgência.

4.3 Etapas para integração dos algoritmos de IA em um protótipo portátil

1. Definição dos Requisitos Funcionais e Técnicos do Protótipo

- **Especificações do Dispositivo:** O protótipo deve ser portátil, leve, de fácil manuseio e ter autonomia de bateria suficiente para ser usado em condições de campo. Um design robusto e à prova de quedas seria ideal para ambientes hospitalares movimentados.
- **Conectividade e Armazenamento:** Incorporar capacidade de conectividade, como Wi-Fi ou Bluetooth, para facilitar a transferência de dados para redes hospitalares ou para armazenamento em nuvem quando necessário. Esse recurso também pode permitir o upload de dados para futuras análises em massa e atualização de modelos de IA.
- **Interface de Usuário:** A interface precisa ser intuitiva e permitir que médicos ou técnicos com pouca experiência em tecnologia possam operar o dispositivo de forma eficaz. Deve incluir instruções visuais e simplificadas para capturar imagens e interpretar os resultados de forma rápida.

2. Integração dos Algoritmos de IA no Dispositivo

- **Arquitetura do Algoritmo:** Os algoritmos de deep learning treinados (CNNs para classificação e segmentação) precisam ser adaptados para execução em hardware portátil com menor capacidade de processamento em comparação com servidores tradicionais.
- **Otimização dos Modelos para Dispositivos Portáteis:** Usar técnicas como quantização de modelo e compressão de rede para reduzir o tamanho e a complexidade dos modelos, possibilitando a execução em dispositivos com recursos computacionais limitados sem perda significativa de precisão. Frameworks como TensorFlow Lite e PyTorch Mobile são comumente utilizados para essa finalidade.

- **Implementação de IA de Borda (Edge AI):** Processar dados diretamente no dispositivo (computação de borda) garante que as imagens sejam analisadas em tempo real, sem necessidade de conexão constante com a internet, o que é essencial para ambientes com conectividade limitada.

3. Desenvolvimento de Funcionalidades de Diagnóstico Automatizado

- **Pré-processamento de Imagem no Dispositivo:** Adicionar um módulo de pré-processamento para ajustar automaticamente brilho, contraste e resolução das imagens. Isso melhora a qualidade das imagens antes da análise pelo algoritmo, aumentando a confiabilidade dos resultados.
- **Deteção e Segmentação Automatizada:** Integrar funcionalidades que permitam ao dispositivo capturar e analisar imagens rapidamente, destacando áreas de possível isquemia e indicando ao usuário regiões de interesse para avaliação. Para uma interface mais explicativa, pode ser exibido um mapa de calor sobre a área suspeita, facilitando a interpretação.
- **Sistema de Alerta:** Implementar alertas visuais e sonoros para notificar os profissionais de saúde quando há alta probabilidade de isquemia, ajudando na triagem rápida e possibilitando a transferência do paciente para unidades com suporte avançado.

4. Testes e Validação do Protótipo no Contexto do SUS

- **Testes em Ambiente Real:** Realizar testes do dispositivo em hospitais e postos de saúde de diferentes regiões, observando o desempenho em condições reais de atendimento e verificando a precisão dos diagnósticos em tempo real.
- **Feedback de Profissionais de Saúde:** Coletar feedback de médicos, enfermeiros e técnicos de radiologia para ajustar a usabilidade do dispositivo e refinar a interface, garantindo que o protótipo seja intuitivo e eficiente.
- **Validação Clínica e Regulatória:** Realizar estudos de validação para comprovar a eficácia e segurança do dispositivo, visando aprovação regulatória (ex. ANVISA no Brasil) para uso clínico. Essa etapa também permite garantir que o dispositivo cumpre os padrões médicos e técnicos estabelecidos.

A integração de IA em um dispositivo portátil de imagem para diagnóstico de isquemia mesentérica representa um avanço significativo para ambientes de saúde com infraestrutura limitada. Ao combinar algoritmos otimizados de deep learning com uma interface intuitiva e um design simples, esse protótipo tem o potencial de oferecer diagnósticos rápidos e precisos, aumentando as chances de intervenção precoce e salvando vidas em locais com menos recursos.

5. Elaborar um plano estratégico para a implementação e escalabilidade do sistema no SUS, focado na otimização de recursos e na redução de custos.

A elaboração de um plano estratégico para a implementação e escalabilidade de um sistema de diagnóstico baseado em IA no SUS requer uma abordagem que equilibre inovação tecnológica, viabilidade econômica e aplicabilidade em larga escala. Esse plano visa garantir que o sistema possa ser implantado de maneira sustentável, maximizando o impacto nos resultados de saúde e otimizando os recursos existentes.

4.4 Plano Estratégico para Implementação e Escalabilidade do Sistema de Diagnóstico de Isquemia Mesentérica no SUS

1. Análise de Viabilidade e Priorização das Regiões de Implantação

- **Mapeamento de Necessidades e Capacidades Regionais:** Identificar as regiões com maior demanda por diagnósticos de isquemia mesentérica e menor infraestrutura médica. Locais com alta prevalência de casos e ausência de recursos avançados de imagem seriam prioritários para maximizar o impacto inicial.
- **Fase Piloto em Regiões Selecionadas:** Começar com um projeto piloto em algumas unidades de saúde, abrangendo diferentes tipos de hospitais e clínicas do SUS para testar o sistema em variados contextos e ajustar as necessidades operacionais e tecnológicas antes da expansão.

2. Estruturação de Parcerias e Alocação de Recursos

- **Parcerias com Instituições de Ensino e Pesquisa:** Trabalhar em colaboração com universidades e centros de pesquisa para capacitar equipes médicas locais e criar centros de referência em diagnóstico por IA.
- **Busca de Financiamento e Subsídios Governamentais:** Solicitar apoio financeiro de programas de saúde pública e inovação tecnológica para adquirir os dispositivos iniciais e investir no desenvolvimento e aprimoramento do sistema. Parcerias com empresas privadas interessadas em contribuir para a saúde pública podem ser avaliadas, respeitando diretrizes éticas e legais.
- **Treinamento e Capacitação de Profissionais de Saúde:** Desenvolver programas de capacitação para médicos, técnicos de enfermagem e profissionais de imagem sobre o uso do dispositivo, interpretação de resultados e resolução de problemas técnicos.

3. Escalabilidade e Integração com o Sistema de Informações em Saúde

- **Interoperabilidade com Sistemas do SUS:** Integrar o sistema com os bancos de dados de saúde do SUS, como o e-SUS e a plataforma Conecte SUS, para garantir que os registros dos pacientes e os resultados dos exames sejam automaticamente armazenados, facilitando o acompanhamento e a continuidade do atendimento.
- **Estratégia de Nuvem para Escala Nacional:** Utilizar uma infraestrutura de nuvem para armazenamento e processamento de dados em grande escala, permitindo que informações e análises de imagem sejam acessíveis de qualquer unidade de saúde participante, mesmo em áreas remotas. Isso permite a escalabilidade da solução sem necessidade de grandes investimentos em infraestrutura física para cada unidade.
- **Modelo de Atualização e Monitoramento Contínuos:** Estabelecer um cronograma de atualização dos algoritmos de IA e dos dispositivos para garantir a qualidade e a precisão do diagnóstico ao longo do tempo, incorporando novos dados e avanços tecnológicos.

4. Otimização de Custos e Sustentabilidade do Sistema

- **Redução de Custos Operacionais:** Investir em protótipo de baixo custo e em manutenção preventiva para minimizar o custo por exame e aumentar a vida útil dos dispositivos.
- **Economias de Escala:** À medida que a implementação se expande, utilizar economias de escala para reduzir os custos unitários de produção e distribuição dos dispositivos, promovendo negociações para compras em volume e acordos de manutenção em larga escala.
- **Avaliação de Custo-Efetividade:** Monitorar o impacto econômico do sistema, medindo a redução de custos a longo prazo associada ao diagnóstico precoce e ao tratamento adequado, que diminuem a necessidade de internações prolongadas e procedimentos emergenciais caros.

5. Monitoramento e Avaliação Contínuos

- **Indicadores de Qualidade e Desempenho:** Estabelecer indicadores de qualidade, como a taxa de precisão diagnóstica, tempo de resposta e taxa de mortalidade antes e depois da implementação. Realizar auditorias regulares para avaliar o desempenho do sistema.
- **Feedback dos Usuários e Melhoria Contínua:** Coletar feedback regular dos profissionais de saúde e pacientes para identificar melhorias e ajustar o sistema às necessidades e desafios encontrados durante a operação.
- **Relatórios de Impacto:** Publicar relatórios periódicos de impacto, mostrando os

resultados obtidos e os benefícios econômicos e clínicos gerados pelo sistema. Esses relatórios ajudam a manter o apoio do governo e da sociedade para a continuidade e expansão do projeto.

Esse plano estratégico permite a implementação sustentável e escalável de um sistema de diagnóstico de isquemia mesentérica com IA no SUS, otimizando recursos e gerando benefícios tanto para os pacientes quanto para o sistema de saúde. Ao aliar tecnologia de ponta com práticas de otimização de custos e parceria, o sistema pode ter um impacto positivo duradouro, reduzindo a mortalidade e proporcionando um atendimento de saúde mais eficiente em todo o Brasil.

4.5 Características e Elementos do Protótipo

1. Dimensões e Escalabilidade

- **Tamanho Compacto:** Pequeno e leve o suficiente para caber nas mãos e ser carregado em uma mochila ou bolsa de emergência.
- **Formato Portátil:** Aproximadamente o tamanho de um tablet, com bordas reforçadas para evitar danos por quedas.

2. Interface do Usuário (IU)

- **Tela Sensível ao Toque:** Tela intuitiva que exibe opções em português, ícones grandes e botões de fácil acesso. Possui ilustrações simplificadas que guiam o usuário nas operações.
- **Sintomas Predefinidos:** Tela inicial permite selecionar sintomas como dor abdominal intensa, náuseas, vômitos, diarreia, febre e calafrios.

3. Alertas e Feedback para o Usuário

- **Mapas de Calor e Alertas Visuais:** Imagens do abdome com mapas de calor sobre áreas de possível isquemia, destacando regiões suspeitas de maneira visual. As áreas de risco são coloridas para uma interpretação rápida.
- **Sinalização Sonora e Visual:** Alertas visuais com LEDs de cores diferentes para indicar gravidade e sons para alertar em caso de alta probabilidade de isquemia.

4. Hardware e Estrutura do Dispositivo

- **Estrutura Robusta e Resistente:** Carcaça em plástico ABS com bordas emborrachadas, resistente a quedas, para uso seguro em ambiente hospitalar.
- **Bateria de Longa Duração:** Bateria recarregável de longa duração, ideal para jornadas intensas sem acesso fácil a carregadores.
- **Conectividade:** Conectividade Wi-Fi e Bluetooth, com fácil integração a redes

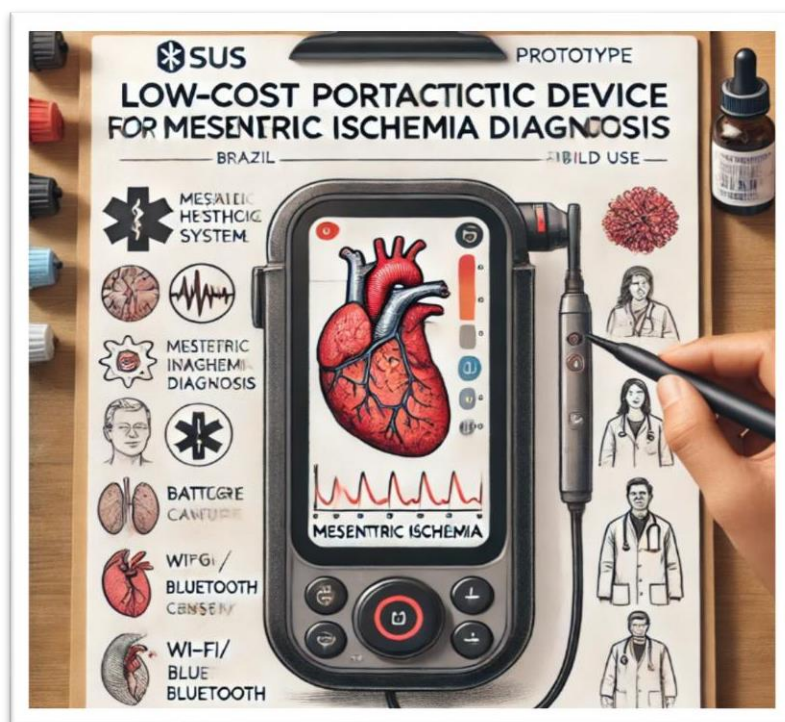
hospitalares e armazenamento em nuvem para análise posterior ou atualizações de IA.

5. Funcionalidades de Diagnóstico Automatizado

- **Pré-processamento de Imagens:** Função automática que ajusta o brilho e contraste da imagem capturada.
- **Edge AI (IA de Borda):** Processamento local das imagens e dos dados, permitindo diagnóstico rápido e sem depender de conexão com a internet.
- **Interface de Diagnóstico:** Informações claras sobre probabilidade de isquemia mesentérica, com botões de fácil acesso para registrar e visualizar dados, ajustar configurações de imagem e enviar dados para o sistema de saúde.

Com esses elementos, o dispositivo atenderia aos requisitos de usabilidade e baixo custo, adequando-se aos cenários de recursos limitados do SUS.

Figura 5: Modelo de protótipo para diagnóstico de Isquemia Mesentérica



Fonte: Elaboração própria

3. Interoperabilidade e Conectividade:

- **Conexão com o Conecte SUS:** O dispositivo deve poder armazenar e transferir dados diretamente para o sistema Conecte SUS, onde os dados clínicos e imagens dos pacientes podem ser acessados e acompanhados por médicos de outras unidades de saúde, se necessário.
- **Conectividade Básica:** Equipado com conexão Wi-Fi e, opcionalmente, Bluetooth ou 4G

para transferir dados e acessar atualizações de software em tempo real, permitindo que o dispositivo funcione independentemente da internet em locais isolados.

- **Modo Offline e Sincronização Posterior:** Em áreas sem conectividade, o dispositivo pode operar offline, salvando as imagens e dados localmente e permitindo a sincronização quando o acesso à internet estiver disponível.

Software e Interface de Usuário

- **Interface Intuitiva:** A interface deve ser amigável e apresentar uma sequência passo a passo para orientar o operador, que pode ter pouca experiência em diagnósticos especializados.
- **Sistema de Navegação Simples:** A interface pode usar ícones e legendas para facilitar a navegação, além de instruções automáticas de imagem e áudio que guiem o usuário em tempo real.
- **Relatórios Simplificados:** Em vez de laudos completos, o dispositivo poderia emitir um relatório breve com conclusões preliminares e recomendação de encaminhamento, possibilitando que médicos com conhecimento básico em ultrassonografia usem o dispositivo com segurança e agilidade.

4. Treinamento e Capacitação dos Profissionais:

- **Capacitação de Profissionais Locais:** Desenvolver um programa de treinamento para médicos e enfermeiros locais sobre o uso do dispositivo, incluindo capacitação sobre interpretação básica dos sinais de isquemia detectados.
- **Manual de Uso e Suporte Remoto:** Fornecer um manual simplificado com recursos de vídeo e uma linha de suporte remoto para assistência técnica e esclarecimento de dúvidas, reduzindo a necessidade de especialistas em cada local.

Fluxo Operacional para Uso do Protótipo:

1. **Triagem Inicial:** O dispositivo é usado em pacientes com sintomas sugestivos de isquemia mesentérica (ex. dor abdominal, histórico de doenças vasculares). A análise inicial de imagem é feita em poucos minutos.
2. **Processamento e Análise de IA:** O dispositivo processa a imagem por meio de IA, indicando a presença ou ausência de sinais de isquemia com um índice de probabilidade.
3. **Recomendação de Encaminhamento:** Se os resultados sugerirem alto risco de isquemia, o dispositivo recomenda automaticamente o encaminhamento para uma unidade com infraestrutura avançada.
4. **Sincronização de Dados com Conecte SUS:** Os dados são salvos e, se disponível,

transferidos para o Conecte SUS para um registro abrangente e acompanhamento.

5. RESULTADOS ESPERADOS

- **Agilidade e Eficiência no Diagnóstico:** Diagnósticos mais rápidos e precisos ajudam a reduzir a mortalidade por isquemia mesentérica, permitindo intervenções precoces.
- **Custo-efetividade:** O protótipo de baixo custo pode atender amplamente as necessidades do SUS, permitindo o diagnóstico em áreas de recursos escassos e economizando recursos com hospitalizações evitáveis e tratamentos tardios.
- **Escalabilidade e Sustentabilidade:** Com conectividade e uma interface amigável, o dispositivo pode ser replicado e usado em diversas regiões, criando um impacto nacional e sustentável.

Este protótipo de dispositivo portátil, acessível e equipado com IA é uma ferramenta prática para o SUS, facilitando diagnósticos mais rápidos e precisos e ampliando o acesso ao atendimento de qualidade em locais remotos e de infraestrutura limitada.

Este modelo de protótipo visa melhorar o diagnóstico de isquemia mesentérica no SUS, oferecendo um sistema integrado e acessível que combina imagem portátil, análise avançada e suporte à decisão clínica. Com a implementação eficaz e o suporte contínuo, o sistema tem o potencial de transformar a detecção e tratamento da isquemia mesentérica, resultando em melhores resultados para os pacientes e otimização dos recursos de saúde.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os 218 artigos selecionados para este trabalho apenas 18 foram usados para discussão dos resultados, os trabalhos foram retirados do Science direct (N= 11) e PubMed (N= 7). A Tabela 1 mostra os artigos usados para esta revisão sistemática conforme as palavras-chave.

Tabela 1 - Artigos utilizados para discussão dos resultados

Título do artigo	Nome da revista	Fator de impacto
Na Update on Acute Mesenteric Ischemia	Canadian Association of Radiologists Journal	5.372
Successful endovascular treatment of	Journal of Vascular	4.939

chronic mesenteric ischemia in a patient with variant celiacomesenteric trunk anatomy	Surgery Cases, Innovations and Techniques, 2024	
When Is Laparotomy for Mesenteric Ischemia After Aortic Dissection Futile?	The Annals of Thoracic Surgery Available online 23 August 2024	3.485
Comparative outcomes of open mesenteric bypass after a failed endovascular or open mesenteric revascularization for chronic mesenteric ischemia	Journal of Vascular Surgery August 2024	3.97
An unusual case of chronic mesenteric ischemia: Case report	Radiology Case Reports September 2023	3.994
High risk and low prevalence diseases: Mesenteric ischemia	The American Journal of Emergency Medicine March 2023	4.153
Inferior mesenteric artery revascularization can supplement salvage of mesenteric ischemia	Journal of Vascular Surgery Cases, Innovations and Techniques September 2023	5.40
Mortality Following Intervention for Acute Arterial Mesenteric Ischemia Remains Unchanged In Spite of Escalating Use of Endovascular Revascularization	Journal of Vascular Surgery June 2024	1.84
Small bowel transmural necrosis secondary to acute mesenteric ischemia and strangulated obstruction: CT findings of 49 patients	Heliyon July 2023	3.109
Multidisciplinary Treatment Protocol Improves Time to Vascular Involvement in Patients With Acute Mesenteric Ischemia	Journal of Vascular Surgery June 2024	1.356

Exploring Outcomes Related to Residential Determinants in Acute Mesenteric Ischemia Patients	Journal of Surgical Research September 2023	5.643
Management of patients with chronic mesenteric ischemia across three consecutive eras	Journal of Vascular Surgery November 2023	13.423
Hand-Sewn Versus Stapled Small Bowel Anastomoses in Patients With Secondary Mesenteric Ischemia	<u>Journal of Surgical Research</u> January 2023	6.514
Mortality and Delays of Management of Acute Mesenteric Ischemia: The Need of a Dedicated Program	Annals of Vascular Surgery April 2023	9.740
Mortality and treatment time of acute mesenteric ischemia: The need for a dedicated pathway	Annals of Vascular Surgery October 2023	7.851
New Advances in Gastrointestinal Motility Research	Springer	2.293
Automated Algorithm for GI Spike Burst Detection and Demonstration of Efficacy in Ischemic Small Intestine	Springer	2.990
The Turning Point for Morphomechanical Remodeling During Complete Intestinal Obstruction in Rats Occurs After 12–24 h	Springer	4.429

Dentre os 18 estudos utilizados para discussão dos resultados sobre Isquemia Mesentérica, foi (N = 5) Implementação e Avaliação em Ambiente Clínico, (N = 4), Integração de Machine Learning e os algoritmos de IA no Sistema Único de Saúde (N = 3), Redução de Custos Operacionais (N = 3) Análise detalhada das principais dificuldades e limitações no diagnóstico precoce da isquemia mesentérica aguda no contexto do SUS e (N = 3) Avaliação de Custo-Efetividade.

Tabela 2 – Diagnóstico e avaliação da IM com foco nos pontos positivos e negativos, dificuldades e aprendizados, implementação de modelos de IA multivariados

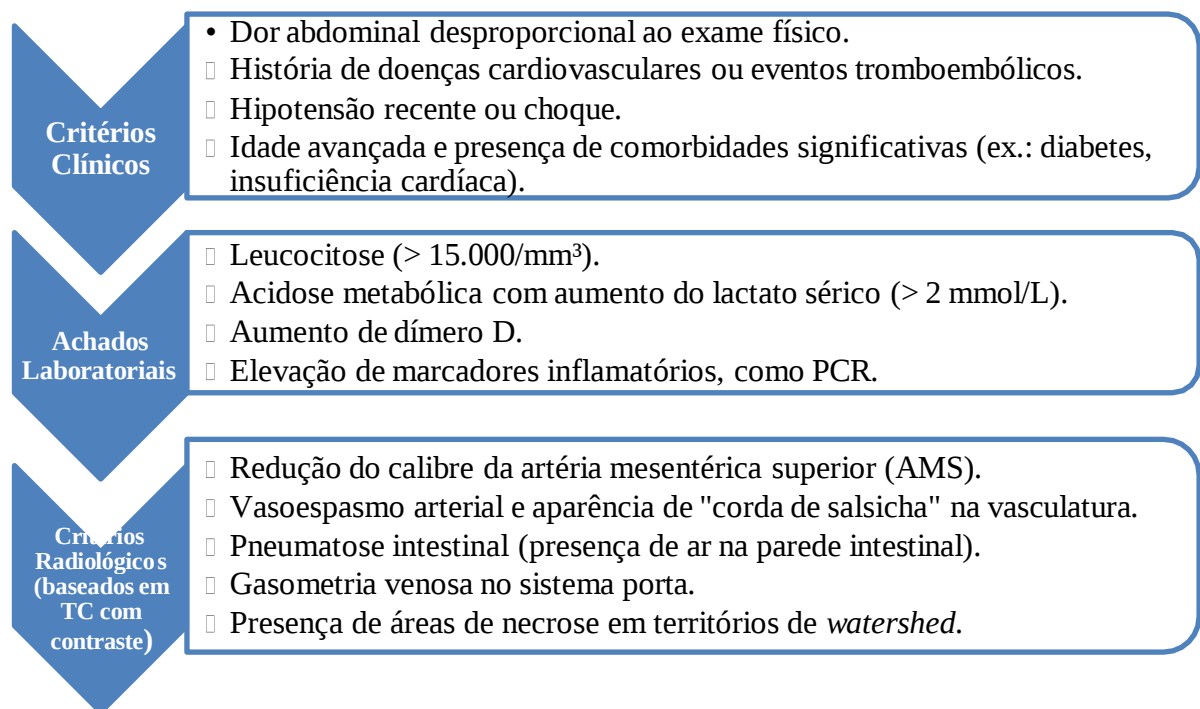
Ponto positivo	1. Diversidade de Abordagens nos Estudos: Isso permite uma visão holística das soluções e desafios relacionados à gestão dessa condição. 2. Uso de Modelos de IA para Diagnóstico e Previsão: A inclusão de modelos de IA, especialmente aqueles que envolvem análise de dados complexos e predição de desfechos clínicos, como algoritmos de machine learning, pode ser extremamente benéfica para a detecção precoce da isquemia mesentérica. A sugestão de incluir modelos multivariados, como regressões, PCA (Análise de Componentes Principais) e análise de modos normais, é uma forma de refinar essas previsões. 3. Avaliação de Custo-Efetividade: a implementação de IA pode gerar ganhos econômicos ao reduzir custos operacionais e melhorar a alocação de recursos no tratamento da isquemia mesentérica.
Ponto negativo	1. Desafios na Implementação Clínica: A escassez de infraestrutura adequada, falta de treinamento especializado para profissionais de saúde e questões relacionadas à integração com sistemas de saúde existentes podem ser obstáculos importantes. 2. Limitações na Precisão Diagnóstica: A precisão dos modelos de IA pode ser comprometida pela qualidade e pela quantidade de dados disponíveis, especialmente em ambientes clínicos com

	limitações tecnológicas. A variabilidade nas condições dos pacientes, como comorbidades e a diversidade de manifestações clínicas, pode dificultar o desenvolvimento de modelos robustos e generalizáveis. 3. Falta de Dados Completos: Em muitos estudos, a ausência de dados completos ou a dificuldade em acessar grandes volumes de dados clínicos pode prejudicar o desempenho de modelos de IA. Além disso, a confidencialidade dos dados e a complexidade da obtenção de autorizações éticas para o uso desses dados podem ser desafios.
Maior dificuldade	A maior dificuldade provavelmente reside na implementação prática de soluções de IA em ambientes clínicos, devido à limitação de recursos, resistência à mudança e desafios em integrar essas tecnologias a sistemas já existentes.
Maior aprendizado	É importância da colaboração multidisciplinar para o sucesso da implementação da IA na medicina.
Planos futuros	1. Desenvolvimento de Modelos Avançados: Desenvolver modelos de IA mais robustos e precisos, que integrem múltiplas fontes de dados (como exames de imagem, dados laboratoriais e informações clínicas) para prever com maior acurácia os desfechos dos pacientes com isquemia mesentérica. 2. Testes Clínicos: Realizar testes clínicos em larga escala, utilizando modelos de IA baseados em técnicas de aprendizado de máquina e multivariadas para validar sua aplicabilidade e precisão em ambientes clínicos reais.

	3. Expansão para o SUS: Planejar um projeto piloto para integrar esses modelos no SUS, visando otimizar o diagnóstico e o tratamento precoce da isquemia mesentérica e reduzir os custos com complicações e tratamentos tardios.
Quando desenvolver e testar?	A implementação e testes clínicos podem ser feitos em fases, com a primeira fase de desenvolvimento e testes iniciais dentro de 1-2 anos, enquanto as fases subsequentes de implementação em larga escala no SUS podem levar de 2 a 3 anos, dependendo do sucesso das fases iniciais e da disponibilidade de recursos.

Fonte: Elaboração própria

5. Organograma do diagnóstico de IMA



- Uso de medicamentos vasoconstritores ou vasodilatadores.
- Cirurgias recentes (ex.: cardiovascular, abdominal).
- Estados de baixo fluxo (hipoperfusão por choque séptico ou cardiogênico).

Fonte: Elaboração própria

7. CONCLUSÕES

A presente dissertação abordou a urgente necessidade de melhorias no diagnóstico da isquemia mesentérica aguda (IMA), uma condição com altas taxas de mortalidade, especialmente no contexto do Sistema Único de Saúde (SUS) no Brasil.

A pesquisa demonstrou que a integração de tecnologias de inteligência artificial (IA) e machine learning (ML) pode proporcionar uma solução inovadora e eficaz para os desafios enfrentados na detecção precoce da IMA.

Os objetivos gerais e específicos delineados ao longo do trabalho foram cumpridos, evidenciando a viabilidade de um sistema de suporte ao diagnóstico que combina dispositivos de imagem portátil com algoritmos avançados. As análises detalhadas das dificuldades existentes no diagnóstico revelaram lacunas críticas que o sistema proposto pode abordar, otimizando tanto os recursos disponíveis quanto o tempo de resposta em emergências.

Além disso, a pesquisa aponta para um impacto econômico positivo, sugerindo que a implementação de tais tecnologias não apenas melhorariam a qualidade do atendimento, mas também poderia contribuir para a sustentabilidade financeira do SUS.

Em suma, a adoção de soluções baseadas em IA e ML tem o potencial de transformar o cenário da saúde no Brasil, tornando o diagnóstico de condições críticas como a IMA mais acessível e eficaz. A continuidade deste trabalho é essencial, não apenas para refinar a tecnologia proposta, mas também para expandir sua aplicação em outras áreas da medicina, garantindo que mais vidas sejam salvas por meio de inovações tecnológicas que estejam alinhadas com as necessidades do sistema de saúde público.

Em relação ao modelo de protótipo, visa melhorar o diagnóstico de isquemia mesentérica no SUS, oferecendo um sistema integrado e acessível que combina imagem portátil, análise avançada e suporte à decisão clínica. Com a implementação eficaz e o suporte contínuo, o sistema tem o potencial de transformar a detecção e tratamento da isquemia mesentérica, resultando em melhores resultados para os pacientes e otimização dos recursos de saúde.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guillaume A, Pili-Floury S, Chocron S, Delabrousse E, De Parseval B, Koch S, Samain E, Capellier G, Piton G. **Acute Mesenteric Ischemia Among Postcardiac Surgery Patients Presenting with Multiple Organ Failure.** *Shock*. 2017
- Paul M, Bougouin W, Legriel S, Charpentier J, Jaubert P, Savary G, Bourcier S, Pène F, Dumas F, Grimaldi D, Cariou A. **Frequency, risk factors, and outcomes of non-occlusive mesenteric ischaemia after cardiac arrest.** *Resuscitation*. 2020;157:211–218.
- Ende N. **Infarction of the Bowel in Cardiac Failure.** *N Engl J Med* . 1958;258:879–881.
- Wilcox MG, Howard TJ, Plaskon LA, Unthank JL, Madura JA. **Current theories of pathogenesis and treatment of nonocclusive mesenteric ischemia.** *Dig Dis Sci*. 1995;40:709–716
- Wyers MC. **Acute mesenteric ischemia: diagnostic approach and surgical treatment.** *Semin Vasc Surg*. 2010;23(1):9–20.
- Acosta S. **Epidemiology of mesenteric vascular disease: clinical implications.** *Semin Vasc Surg*. 2010;23(1):4–8.
- Vojvodic M, Young A, Tyrrell A, Wang V. **The Toronto notes 2014: comprehensive medical reference and review for the medical council of Canada qualifying exam part 1 and the United States medical licensing exam step 2: Toronto notes for medical students, Incorporated.** 2014.
- White CJ. **Chronic mesenteric ischemia: diagnosis and management.** *Prog Cardiovasc Dis*. 2011;54(1):36–40.
- Sitges-Serra A, Mas X, Roqueta F, Figueras J, Sanz F. **Mesenteric infarction: an analysis of 83 patients with prognostic studies in 44 cases undergoing a massive small-bowel resection.** *Br J Surg*. 1988;75:544–548
- Endean ED, Barnes SL, Kwolek CJ, Minion DJ, Schwarcz TH, Mentzer RM Jr. **Surgical management of thrombotic acute intestinal ischemia.** *Ann Surg*. 2001;233:801–808.
- Oldenburg WA, Lau LL, Rodenberg TJ, Edmonds HJ, Burger CD. **Acute Mesenteric Ischemia.** *Arch Intern Med*. 2004;164(10):1054-1062.
- Clair DG, Beach JM. **Mesenteric ischemia.** *N Engl J Med*. 2016;374(10):959-968
- Cudnik MT, Darbha S, Jones J, Macedo J, Stockton SW, Hiestand BC. **The diagnosis of acute mesenteric ischemia: a systematic review and meta-analysis.** *Acad Emerg Med*. 2013;20(11):1087-1100.
- McKinsey JF, Gewertz BL. **Acute mesenteric ischemia.** *Surg Clin*. 1997;77(2):307-318.
- Zeier M, Wiesel M, Rambašek M, Ritz E. **Non-occlusive mesenteric infarction in dialysis**

patients: the importance of prevention and early intervention. *Nephrol Dial Transplant.* 1995;10:771–773.

Quiroga B, Verde E, Abad S, Vega A, Goicoechea M, Reque J, López-Gómez JM, Luño J. **Detection of patients at high risk for non-occlusive mesenteric ischemia in hemodialysis.** *J Surg Res.* 2013;180:51–55. doi: 10.1016/j.jss.2012.10.008

Hatemi I, Hatemi G, Çelik AF. **Systemic vasculitis and the gut.** *Curr Opin Rheumatol.* 2017;29:33–38.

Björck M, Koelemay M, Acosta S, Bastos Goncalves F, Kölbel T, Kolkman JJ, Lees T, Lefevre JH, Menyhei G, Oderich G Esvs Guidelines Committee. Kolh P, de Borst GJ, Chakfe N, Debus S, Hinchliffe R, Kakkos S, Koncar I, Sanddal Lindholt J, Vega de Ceniga M, Vermassen F, Verzini F, Document Reviewers, Geelkerken B, Gloviczki P, Huber T, Naylor R. Editor's Choice - **Management of the Diseases of Mesenteric Arteries and Veins: Clinical Practice Guidelines of the European Society of Vascular Surgery (ESVS)** *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2017;53:460–510.

Leone M, Bechis C, Baumstarck K, Ouattara A, Collange O, Augustin P, Annane D, Arbelot C, Asehnoune K, Baldési O, Bourcier S, Delapierre L, Demory D, Hengy B, Ichai C, Kipnis E, Brasdefer E, Lasocki S, Legrand M, Mimoz O, Rimmelé T, Aliane J, Bertrand PM, Bruder N, Klasen F, Friou E, Lévy B, Martinez O, Peytel E, Piton A, Richter E, Toufik K, Vogler MC, Wallet F, Boufi M, Allaouchiche B, Constantin JM, Martin C, Jaber S, Lefrant JY. **Outcome of acute mesenteric ischemia in the intensive care unit: a retrospective, multicenter study of 780 cases.** *Intensive Care Med.* 2015;41:667–676.

Chiu CJ, McArdle AH, Brown R, Scott HJ, Gurd FN. **Intestinal mucosal lesion in low-flow states. I. A morphological, hemodynamic, and metabolic reappraisal.** *Arch Surg.* 1970;101:478–483.

Klotz S, Vestring T, Rötter J, Schmidt C, Scheld HH, Schmid C. **Diagnosis and treatment of nonocclusive mesenteric ischemia after open heart surgery.** *Ann Thorac Surg.* 2001;72:1583–1586.

Grimaldi D, Guivarch E, Neveux N, Fichet J, Pène F, Marx JS, Chiche JD, Cynober L, Mira JP, Cariou A. **Markers of intestinal injury are associated with endotoxemia in successfully resuscitated patients.** *Resuscitation.* 2013;84:60–65.

Piton G, Capellier G. **Biomarkers of gut barrier failure in the ICU.** *Curr Opin Crit Care.* 2016;22:152–160.

Daviaud F, Grimaldi D, Dechartres A, Charpentier J, Geri G, Marin N, Chiche JD, Cariou A, Mira JP, Pène F. **Timing and causes of death in septic shock.** *Ann Intensive Care.* 2015;5:16.

Oldenburg WA, Lau LL, Rodenberg TJ, Edmonds HJ, Burger CD. **Acute mesenteric ischemia: a clinical review.** *Arch Intern Med.* 2004

Guillaume A, Pili-Floury S, Chocron S, Delabrousse E, De Parseval B, Koch S, Samain E, Capellier G, Piton G. **Acute Mesenteric Ischemia Among Postcardiac Surgery Patients Presenting with Multiple Organ Failure.** *Shock*. 2017;47:296–302.

Paul M, Bougouin W, Legriel S, Charpentier J, Jaubert P, Savary G, Bourcier S, Pène F, Dumas F, Grimaldi D, Cariou A. **Frequency, risk factors, and outcomes of non-occlusive mesenteric ischaemia after cardiac arrest.** *Resuscitation*. 2020;157:211–218

Bourcier S, Oudjit A, Goudard G, Charpentier J, Leblanc S, Coriat R, Gouya H, Dousset B, Mira JP, Pène F. **Diagnosis of non-occlusive acute mesenteric ischemia in the intensive care unit.** *Ann Intensive Care*. 2016;6:112.

Corcos O, Castier Y, Sibert A, Gaujoux S, Ronot M, Joly F, Paugam C, Bretagnol F, Abdel-Rehim M, Francis F, Bondjemah V, Ferron M, Zappa M, Amiot A, Stefanescu C, Leseche G, Marmuse JP, Belghiti J, Ruszniewski P, Vilgrain V, Panis Y, Mantz J, Bouhnik Y. **Effects of a multimodal management strategy for acute mesenteric ischemia on survival and intestinal failure.** *Clin Gastroenterol Hepatol* 2013; 11: 158-65.

Ait-Oufella H, Bourcier S, Lehoux S, Guidet B. **Microcirculatory disorders during septic shock.** *Curr Opin Crit Care*. 2015;21:271–275.

Dubin A, Edul VS, Pozo MO, Murias G, Canullán CM, Martins EF, Ferrara G, Canales HS, Laporte M, Estenssoro E, Ince C. **Persistent villi hypoperfusion explains intramucosal acidosis in sheep endotoxemia.** *Crit Care Med*. 2008

Reintam Blaser A, Preiser JC, Fruhwald S, Wilmer A, Wernerman J, Benstoem C, Casaer MP, Starkopf J, van Zanten A, Rooyackers O, Jakob SM, Loudet CI, Bear DE, Elke G, Kott M, Lautenschläger I, Schäper J, Gunst J, Stoppe C, Nobile L, Fuhrmann V, Berger MM, Oudemans-van Straaten HM, Arabi YM, Deane AM Working Group on Gastrointestinal Function within the Section of Metabolism, Endocrinology and Nutrition (MEN Section) of ESICM. **Gastrointestinal dysfunction in the critically ill: a systematic scoping review and research agenda proposed by the Section of Metabolism, Endocrinology and Nutrition of the European Society of Intensive Care Medicine.** *Crit Care*. 2020;24:224.

Merle C, Lepouse C, De Garine A, Frayssinet N, Leymarie F, Leon A, Jolly D. **Surgery for mesenteric infarction: prognostic factors associated with early death within 72 hours.** *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2004;18:734–741

Kanda T, Fujii H, Tani T, Murakami H, Suda T, Sakai Y, Ono T, Hatakeyama K. **Intestinal fatty acid-binding protein is a useful diagnostic marker for mesenteric infarction in humans.** *Gastroenterology*. 1996;110:339–343.

Reilly PM, Wilkins KB, Fuh KC, Haglund U, Bulkley GB. **The mesenteric hemodynamic response to circulatory shock: an overview.** *Shock*. 2001;15:329–343.

Reintam Blaser A, Acosta S, Arabi YM. **A clinical approach to acute mesenteric ischemia.** *Curr Opin Crit Care*. 2021;27:183–192.

van den Heijkant TC, Aerts BA, Teijink JA, Buurman WA, Luyer MD. **Challenges in diagnosing mesenteric ischemia.** *World J Gastroenterol.* 2013;19:1338–1341.

Howard TJ, Plaskon LA, Wiebke EA, Wilcox MG, Madura JA. **Nonocclusive mesenteric ischemia remains a diagnostic dilemma.** *Am J Surg.* 1996;171:405–408.

Howard TJ, Plaskon LA, Wiebke EA, Wilcox MG, Madura JA. **Nonocclusive mesenteric ischemia remains a diagnostic dilemma.** *Am J Surg.* 1996;171:405–408.

Thuijls G, van Wijck K, Grootjans J, Derikx JP, van Bijnen AA, Heineman E, Dejong CH, Buurman WA, Poeze M. **Early diagnosis of intestinal ischemia using urinary and plasma fatty acid binding proteins.** *Ann Surg.* 2011;253:303–308.

Meskó B, Görög M. **A short guide for medical professionals in the era of artificial intelligence.** *NPJ Digit Med.* 2020;3:126.

Merle C, Lepouse C, De Garine A, Frayssinet N, Leymarie F, Leon A, Jolly D. **Surgery for mesenteric infarction: prognostic factors associated with early death within 72 hours.** *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2004;18:734–741. doi: 10.1053/j.jvca.2004.08.011.

Cosse C, Sabbagh C, Browet F, Mauvais F, Rebibo L, Zogheib E, Chatelain D, Kamel S, Regimbeau JM. **Serum value of procalcitonin as a marker of intestinal damages: type, extension, and prognosis.** *Surg Endosc.* 2015;29:3132–3139. doi: 10.1007/s00464-014-4038-0

Leone M, Lefrant JY, Martin C, Constantin JM. **Acute mesenteric ischemia, procalcitonin, and intensive care unit.** *Intensive Care Med.* 2015;41:1378.

Meskó B, Görög M. **A short guide for medical professionals in the era of artificial intelligence.** *NPJ Digit Med.* 2020;3:126.

Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton GE. **ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks.** *Adv Neural Inf Process Syst.* 2012;25:1097–1105.

Mitchell TM. **Machine Learning.** McGraw-Hill, 2003.

Hinton G, Sejnowski TJ. **Unsupervised Learning: Foundations of Neural Computation.** MIT Press, 1999.

Andrew G, Barto RSS. **Reinforcement Learning: An Introduction.** A Bradford Book, 1998.

Hinton G. **Deep Learning-A Technology With the Potential to Transform Health Care.** *JAMA.* 2018;320:1101–1102.

Schmidt AF, Finan C. **Linear regression and the normality assumption.** *J Clin Epidemiol.* 2018;98:146–151.

LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. **Deep learning.** *Nature.* 2015;521:436–444.

Farabet C, Couprie C, Najman L, Lecun Y. **Learning hierarchical features for scene labeling.** *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell.* 2013;35:1915–1929.

Howard J, Ruder S. **Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification.** 2018 Preprint.

Peters ME, Neumann M, Iyyer M, Gardner M, Clark C, Lee K, Zettlemoyer L. **Deep contextualized word representations**. 2018

Liu X, Faes L, Kale AU, Wagner SK, Fu DJ, Bruynseels A, Mahendiran T, Moraes G, Shamdas M, Kern C, Ledsam JR, Schmid MK, Balaskas K, Topol EJ, Bachmann LM, Keane PA, Denniston AK. **A comparison of deep learning performance against health-care professionals in detecting diseases from medical imaging: a systematic review and meta-analysis**. *Lancet Digit Health*. 2019;1:e271–e297.

Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, Yang B, Mehta H, Duan T, Ding D, Bagul A, Langlotz C, Shpanskaya K, Lungren MP, Ng AY. **CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning**. 2017 Preprint.

De Fauw J, Ledsam JR, Romera-Paredes B, Nikolov S, Tomasev N, Blackwell S, Askham H, Glorot X, O'Donoghue B, Visentin D, van den Driessche G, Lakshminarayanan B, Meyer C, Mackinder F, Bouton S, Ayoub K, Chopra R, King D, Karthikesalingam A, Hughes CO, Raine R, Hughes J, Sim DA, Egan C, Tufail A, Montgomery H, Hassabis D, Rees G, Back T, Khaw PT, Suleyman M, Cornebise J, Keane PA, Ronneberger O. **Clinically applicable deep learning for diagnosis and referral in retinal disease**. *Nat Med*. 2018;24:1342–1350.

Federal Register. Medicare Program; Hospital Inpatient Prospective Payment Systems for Acute Care Hospitals and the Long-Term Care Hospital Prospective Payment System and Final Policy Changes and Fiscal Year 2021 Rates; **Quality Reporting and Medicare and Medicaid Promoting Interoperability Programs Requirements for Eligible Hospitals and Critical Access Hospitals**. [cited 10 January 2021].

Thorsen-Meyer HC, Nielsen AB, Nielsen AP, Kaas-Hansen BS, Toft P, Schierbeck J, Strøm T, Chmura PJ, Heimann M, Dybdahl L, Spangsege L, Hulsen P, Belling K, Brunak S, Perner A. **Dynamic and explainable machine learning prediction of mortality in patients in the intensive care unit: a retrospective study of high-frequency data in electronic patient records**. *Lancet Digit Health*. 2020

Komorowski M, Celi LA, Badawi O, Gordon AC, Faisal AA. **The Artificial Intelligence Clinician learns optimal treatment strategies for sepsis in intensive care**. *Nat Med*. 2018;24:1716–1720.

Kam HJ, Kim HY. **Learning representations for the early detection of sepsis with deep neural networks**. *Comput Biol Med*. 2017;89:248–255.

Lauritsen SM, Kalør ME, Kongsgaard EL, Lauritsen KM, Jørgensen MJ, Lange J, Thiesson B. **Early detection of sepsis utilizing deep learning on electronic health record event sequences**. *Artif Intell Med*. 2020;104:101820.

Henry KE, Hager DN, Pronovost PJ, Saria S. **A targeted real-time early warning score (TREWScore) for septic shock**. *Sci Transl Med*. 2015;7:299ra122.

Saria S, Henry KE. **Too Many Definitions of Sepsis: Can Machine Learning Leverage the Electronic Health Record to Increase Accuracy and Bring Consensus?** *Crit Care Med.* 2020;48:137–141.

Fleuren LM, Klausch TLT, Zwager CL, Schoonmade LJ, Guo T, Roggeveen LF, Swart EL, Girbes ARJ, Thorat P, Ercole A, Hoogendoorn M, Elbers PWG. **Machine learning for the prediction of sepsis: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy.** *Intensive Care Med.* 2020;46:383–400.

Saria S, Rajani AK, Gould J, Koller D, Penn AA. **Integration of early physiological responses predicts later illness severity in preterm infants.** *Sci Transl Med.* 2010

Björck M, Wanhainen A. **Nonocclusive mesenteric hypoperfusion syndromes: recognition and treatment.** *Semin Vasc Surg.* 2010

Wasnik A, Kaza RK, Al-Hawary MM, Liu PS, Platt JF. **Multidetector CT imaging in mesenteric ischemia-pearls and pitfalls.** *Emerg Radiol.* 2011;18(2):145-156.

Pecoraro F, Rancic Z, Lachat M, et al. **Chronic mesenteric ischemia: critical review and guidelines for management.** *Ann Vasc Surg.* 2013;27(1):113-122.

Huber TS, Björck M, Chandra A, et al. **Chronic mesenteric ischemia: clinical practice guidelines from the Society for Vascular Surgery.** *J Vasc Surg.* 2021;73(1):87S-115S.

Horton KM, Fishman EK. **CT angiography of the mesenteric circulation.** *Radiol Clin.* 2010;48(2):331-345.

Harper D, Chandler B. **Splanchnic circulation.** *BJA Education.* 2016;16(2):66-71.

Gore RM, Yaghamai V, Thakrar KH, et al. **Imaging in intestinal ischemic disorders.** *Radiol Clin.* 2008;46(5):845-875.

Wiesner W, Khurana B, Ji H, Ros PR. **CT of Acute bowel ischemia.** *Radiology.* 2003;226(3):635-650.

Mitsudo S, Brandt LJ. **Pathology of intestinal ischemia.** *Surg Clin.* 1992;72(1):43-63

Kirkpatrick IDC, Kroeker MA, Greenberg HM. **Biphasic CT with mesenteric CT angiography in the evaluation of acute mesenteric ischemia: initial experience.** *Radiology.* 2003;229(1):91-98.

Garzelli L, Nuzzo A, Copin P, et al. **Contrast-enhanced CT for the diagnosis of acute mesenteric ischemia.** *Am J Roentgenol.* 2020;215(1):29-38.

Ginsburg M, Obara P, Lambert DL, et al. **ACR appropriateness criteria imaging of mesenteric ischemia.** *J Am Coll Radiol.* 2018;15(11):S332-S340.

Yikilmaz A, Karahan OI, Senol S, Tuna IS, Akyildiz HY. **Value of multislice computed tomography in the diagnosis of acute mesenteric ischemia.** *Eur J Radiol.* 2011;80(2):297-302.

Srisajjakul S, Prapaisilp P, Bangchokdee S. **Comprehensive review of acute small bowel ischemia: CT imaging findings, pearls, and pitfalls.** *Emerg Radiol.* 2022. Epub ahead of print

2022 February 5.

Ofer A, Abadi S, Nitecki S, et al. **Multidetector CT angiography in the evaluation of acute mesenteric ischemia.** *Eur Radiol.* 2009;19(1):24-30.

Chuong AM, Corno L, Beaussier H, et al. **Assessment of bowel wall enhancement for the diagnosis of intestinal ischemia in patients with small bowel obstruction: value of adding unenhanced CT to contrast-enhanced CT.** *Radiology.* 2016;280(1):98-107.

Menke J. **Diagnostic accuracy of multidetector CT in acute mesenteric ischemia: systematic review and meta-analysis.** *Radiology.* 2010;256(1):93-101.

Schieda N, Fasih N, Shabana W. **Triphasic CT in the diagnosis of acute mesenteric ischaemia.** *Eur Radiol.* 2013;23(7):1891-1900.

Obmann MM, Punjabi G, Obmann VC, et al. **Dual-energy CT of acute bowel ischemia.** *Abdominal Radiology.* 2021. Epub ahead of print.

Murray N, Darras KE, Walstra FE, Mohammed MF, McLaughlin PD, Nicolaou S. **Dual-energy CT in evaluation of the acute abdomen.** *Radiographics.* 2019;39(1):264-286.

Potretzke TA, Brace CL, Lubner MG, Sampson LA, Willey BJ, Lee FT. **Early small-bowel ischemia: dual-energy CT improves conspicuity compared with conventional CT in a swine model.** *Radiology.* 2015;275(1):119-126.

Raman SP, Fishman EK. **Computed tomography angiography of the small bowel and mesentery.** *Radiol Clin.* 2016;54(1):87-100.

Zalcman M, Sy M, Donckier V, Closset J, Gansbeke DV. **Helical CT signs in the diagnosis of intestinal ischemia in small-bowel obstruction.** *Am J Roentgenol.* 2000;175(6):1601-1607.

Pérez-García C, de Miguel Campos E, Fernández Gonzalo A, et al. **Non-occlusive mesenteric ischaemia: CT findings, clinical outcomes and assessment of the diameter of the superior mesenteric artery.** *Br J Radiol.* 2018;91(1081):1-10.

Aschoff AJ, Stuber G, Becker BW, et al. **Evaluation of acute mesenteric ischemia: accuracy of biphasic mesenteric multi-detector CT angiography.** *Abdom Imag.* 2009;34(3):345-357.

Taourel PG, Deneuville M, Pradel JA, Régent D, Bruel JM. **Acute mesenteric ischemia: diagnosis with contrast-enhanced CT.** *Radiology.* 1996;199(3):632-636.

Barmase M, Kang M, Wig J, Kochhar R, Gupta R, Khandelwal N. **Role of multidetector CT angiography in the evaluation of suspected mesenteric ischemia.** *Eur J Radiol.* 2011;80(3):e582-e587.

Trompeter M, Brazda T, Remy CT, Vestring T, Reimer P. **Non-occlusive mesenteric ischemia: etiology, diagnosis, and interventional therapy.** *Eur Radiol.* 2002;12(5):1179-1187.

Al-Diery H, Phillips A, Evennett N, Pandanaboyana S, Gilham M, Windsor JA. **The pathogenesis of nonocclusive mesenteric ischemia: implications for research and clinical practice.** *J Intensive Care Med.* 2019;34(10):771-781.

Bagnacci G, Guerrini S, Gentili F, et al. **Non-occlusive mesenteric ischemia (NOMI) and**

prognostic signs at CT: reperfusion or not reperfusion that is the question!. *Abdominal Radiology*. 2021. Epub ahead of print 2021 November 9.

Wilcox MG, Howard TJ, Plaskon LA, Unthank JL, Madura JA. **Current theories of pathogenesis and treatment of nonocclusive mesenteric ischemia**. *Dig Dis Sci*. 1995;40(4):709-716.

Woodhams R, Nishimaki H, Fujii K, Kakita S, Hayakawa K. **Usefulness of multidetector-row CT (MDCT) for the diagnosis of non-occlusive mesenteric ischemia (NOMI): Assessment of morphology and diameter of the superior mesenteric artery (SMA) on multi-planar reconstructed (MPR) images**. *Eur J Radiol*. 2010;76(1):96-102.

Siegelman SS, Sprayregen S, Boley SJ. **Angiographic diagnosis of mesenteric arterial vasoconstriction**. *Radiology*. 1974;112(3):533-542.

Mazzei MA, Guerrini S, Cioffi Squitieri N, et al. **Reperfusion in non-occlusive mesenteric ischaemia (NOMI): effectiveness of CT in an emergency setting**. *The British journal of radiology*. 2016;89(1061):20150956.

Wiesner W, Mortelé KJ, Glickman JN, Ji H, Ros PR. **Pneumatosis intestinalis and portomesenteric venous gas in intestinal ischemia**. *Am J Roentgenol*. 2001;177(6):1319-1323.

Kernagis LY, Levine MS, Jacobs JE. **Pneumatosis intestinalis in patients with ischemia: Correlation of CT findings with viability of the bowel**. *Am J Roentgenol*. 2003;180(3):733-736.

Duron VP, Rutigliano S, Machan JT, et al. **Computed tomographic diagnosis of pneumatosis intestinalis**. *Arch Surg*. 2011;146(5):506-510.

Ho LM, Paulson EK, Thompson WM. **Pneumatosis intestinalis in the adult: Benign to life-threatening causes**. *Am J Roentgenol*. 2007;188(6):1604-1613.

Sebastià C, Quiroga S, Espin E, Boyé R, Alvarez-Castells A, Armengol M. **Portomesenteric vein gas: pathologic mechanisms, CT findings, and Prognosis**. *Radiographics : A Review Publication of the Radiological Society of North America, Inc*. 2000;20(5):1213-1216.

Furukawa A, Kanasaki S, Kono N, et al. **CT diagnosis of acute mesenteric ischemia from various causes**. *Am J Roentgenol*. 2009;192(2):408-416.

Morasch MD, Ebaugh JL, Chiou AC, Matsumura JS, Pearce WH, Yao JST. **Mesenteric venous thrombosis: A changing clinical entity**. *J Vasc Surg*. 2001;34(4):680-684.

Macari M, Chandarana H, Balthazar E, Babb J. **Intestinal ischemia versus intramural hemorrhage: CT evaluation**. *Am J Roentgenol*. 2003;180(1):177-184.

Barrett T, Upponi S, Benaglia T, Tasker AD. **Multidetector CT findings in patients with mesenteric ischaemia following cardiopulmonary bypass surgery**. *The British journal of radiology*. 2013;86(1030):20130277. Epub 2013 Aug 21.

Nuzzo A, Maggiori L, Ronot M, et al. **Predictive factors of intestinal necrosis in acute mesenteric ischemia: Prospective study from an intestinal stroke center**. *Am J Gastroenterol*.

2017;112(4):597-605.

Jang KM, Min K, Kim MJ, et al. **Diagnostic performance of CT in the detection of intestinal ischemia associated with small-bowel obstruction using maximal attenuation of region of interest.** *Am J Roentgenol.* 2010;194(4):957-963.

Sheedy SP, Earnest F, Fletcher JG, Fidler JL, Hoskin TL. **CT of small-bowel ischemia associated with obstruction in emergency department patients: Diagnostic performance evaluation.** *Radiology.* 2006;241(3):729-736.

Geffroy Y, Boulay-Coletta I, Jullès M-C, Nakache S, Taourel P, Zins M. **Increased unenhanced bowel-wall attenuation at multidetector CT is highly specific of ischemia complicating small-bowel obstruction.** *Radiology.* 2014;270(1):159-167.

Hayakawa K, Tanikake M, Yoshida S, Yamamoto A, Yamamoto E, Morimoto T. **CT findings of small bowel strangulation: the importance of contrast enhancement.** *Emerg Radiol.* 2013;20(1):3-9.

Moschetta M, Telegrafo M, Rella L, et al. **Multi-detector CT features of acute intestinal ischemia and their prognostic correlations.** *World J Radiol.* 2014;6(5):130-138.

Cerqueira NF, Hussni CA, Yoshida WB. **Pathophysiology of mesenteric ischemia/reperfusion: A review.** *Acta Cir Bras.* 2005;20:336-343.

Horton KM, Fishman EK. **Multidetector CT angiography in the diagnosis of mesenteric ischemia.** *Radiol Clin.* 2007;45(2):275-288.

Versyck G, de Gheldere C, Vanclooster P. **Non-occlusive mesenteric ischemia: Two case reports and a short review of the literature.** *Acta Chir Belg.* 2018;118(6):392-397.

Fitzpatrick LA, Rivers-Bowerman MD, Thipphavong S, Clarke SE, Rowe JA, Costa AF. **Pearls, pitfalls, and conditions that mimic mesenteric ischemia at CT.** *Radiographics.* 2020;40(2):545-561.

Zins M, Millet I, Taourel P. **Adhesive small bowel obstruction: predictive radiology to improve patient management.** *Radiology.* 2020;296(3):480-492.

Balthazar EJ, Birnbaum BA, Megibow AJ, Gordon RB, Whelan CA, Hulnick DH. **Closed-loop and strangulating intestinal obstruction: CT signs.** *Radiology.* 1992;185(3):769-775.

Ha HK, Kim JS, Lee MS, et al. **Differentiation of simple and strangulated small-bowel obstructions: usefulness of known CT criteria.** *Radiology.* 1997;204(2):507-512.

Nakashima K, Ishimaru H, Fujimoto T, Mizowaki T, Mitarai K, Nakashima K, et al. **Diagnostic performance of CT findings for bowel ischemia and necrosis in closed-loop small-bowel obstruction.** *Abdom Imag.* 2015;40(5):1097-1103.

Millet I, Taourel P, Ruyer A, Molinari N. **Value of CT findings to predict surgical ischemia in small bowel obstruction: A systematic review and meta-analysis.** *Eur Radiol.* 2015;25(6):1823-1835.

Piton G, Le Gouge A, Brulé N, Cipriani B, Lacherade JC, Nseir S, Mira JP, Mercier E, Sirodot M, Rigaud JP, Malaquin S, Soum E, Djibre M, Gaudry S, Thévenin D, Reignier J. **Impact of the route of nutrition on gut mucosa in ventilated adults with shock: an ancillary of the NUTRIREA-2 trial.** *Intensive Care Med.* 2019;45:948–956.

Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, Hiesmayr M, Mayer K, Montejo JC, Pichard C, Preiser JC, van Zanten ARH, Oczkowski S, Szczeklik W, Bischoff SC. **ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit.** *Clin Nutr.* 2019;38:48–79.

Guillaume A, Pili-Floury S, Chocron S, Delabrousse E, De Parseval B, Koch S, Samain E, Capellier G, Piton G. **Acute Mesenteric Ischemia Among Postcardiac Surgery Patients Presenting with Multiple Organ Failure.** *Shock.* 2017;47:296–302.

Paul M, Bougouin W, Legriel S, Charpentier J, Jaubert P, Savary G, Bourcier S, Pène F, Dumas F, Grimaldi D, Cariou A. **Frequency, risk factors, and outcomes of non-occlusive mesenteric ischaemia after cardiac arrest.** *Resuscitation.* 2020;157:211–218.

Singer M, Deutschman CS, Seymour CW, Shankar-Hari M, Annane D, Bauer M, Bellomo R, Bernard GR, Chiche JD, Coopersmith CM, Hotchkiss RS, Levy MM, Marshall JC, Martin GS, Opal SM, Rubenfeld GD, van der Poll T, Vincent JL, Angus DC. **The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3)** *JAMA.* 2016;315:801–810.

Abraham E, Singer M. **Mechanisms of sepsis-induced organ dysfunction.** *Crit Care Med.* 2007;35:2408–2416.

Acosta S, Ogren M, Sternby NH, Bergqvist D, Björck M. **Fatal nonocclusive mesenteric ischaemia: population-based incidence and risk factors.** *J Intern Med.* 2006;259:305–313.

Meier-Hellmann A, Reinhart K, Bredle DL, Specht M, Spies CD, Hannemann L. Epinephrine impairs splanchnic perfusion in septic shock. *Crit Care Med.* 1997;25:399–404.

Krychtiuk KA, Richter B, Lenz M, Hohensinner PJ, Huber K, Hengstenberg C, Wojta J, Heinz G, Speidl WS. **Epinephrine treatment but not time to ROSC is associated with intestinal injury in patients with cardiac arrest.** *Resuscitation.* 2020;155:32–38.

Reignier J, Boisramé-Helms J, Brisard L, Lascarrou JB, Ait Hssain A, Anguel N, Argaud L, Asehnoune K, Asfar P, Bellec F, Botoc V, Bretagnol A, Bui HN, Canet E, Da Silva D, Darmon M, Das V, Devaquet J, Djibre M, Ganster F, Garrouste-Orgeas M, Gaudry S, Gontier O, Guérin C, Guidet B, Guitton C, Herbrecht JE, Lacherade JC, Letocart P, Martino F, Maxime V, Mercier E, Mira JP, Nseir S, Piton G, Quenot JP, Richecoeur J, Rigaud JP, Robert R, Rolin N, Schwebel C, Sirodot M, Tinturier F, Thévenin D, Giraudeau B, Le Gouge A NUTRIREA-2 Trial Investigators; **Clinical Research in Intensive Care and Sepsis (CRICS) group. Enteral versus parenteral early nutrition in ventilated adults with shock: a randomised, controlled, multicentre, open-label, parallel-group study (NUTRIREA-2)** *Lancet.* 2018;391:133–143.

Björck M, Koelemay M, Acosta S, Bastos Goncalves F, Kölbel T, Kolkman JJ, Lees T, Lefevre JH, Menyhei G, Oderich G Esvs Guidelines Committee. Kolh P, de Borst GJ, Chakfe N, Debus S, Hinchliffe R, Kakkos S, Koncar I, Sanddal Lindholt J, Vega de Ceniga M, Vermassen F, Verzini F, Document Reviewers, Geelkerken B, Gloviczki P, Huber T, Naylor R. **Editor's Choice - Management of the Diseases of Mesenteric Arteries and Veins: Clinical Practice Guidelines of the European Society of Vascular Surgery (ESVS)** *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2017;53:460–510.

Bourcier S, Oudjit A, Goudard G, Charpentier J, Leblanc S, Coriat R, Gouya H, Dousset B, Mira JP, Pène F. **Diagnosis of non-occlusive acute mesenteric ischemia in the intensive care unit.** *Ann Intensive Care.* 2016;6:112.

Acosta S, Nilsson TK, Björck M. **D-dimer testing in patients with suspected acute thromboembolic occlusion of the superior mesenteric artery.** *Br J Surg.* 2004;91:991–994.

Chiu YH, Huang MK, How CK, Hsu TF, Chen JD, Chern CH, Yen DH, Huang CI. **D-dimer in patients with suspected acute mesenteric ischemia.** *Am J Emerg Med.* 2009;27:975–97

