

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA MULTIPARAMÉTRICA NA AVALIAÇÃO DO ACIDENTE VASCULAR ENCEFÁLICO ISQUÊMICO AGUDO: IMPLICAÇÕES DIAGNÓSTICAS E PROGNÓSTICAS

MULTIPARAMETRIC MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN THE EVALUATION OF ACUTE ISCHEMIC STROKE: DIAGNOSTIC AND PROGNOSTIC IMPLICATIONS

RESONANCIA MAGNÉTICA MULTIPARAMÉTRICA EN LA EVALUACIÓN DEL ACCIDENTE CEREBROVASCULAR ISQUÉMICO AGUDO: IMPLICACIONES DIAGNÓSTICAS Y PRONÓSTICAS

Diogo Henrique Juliano Pinto de Moura¹

Paula Ruani Farias Barata²

Silvana Baldoimo Bezerra³

Dayanna Cristiny Souza de Castro⁴

Rafaella Doffini Coimbra⁵

Thayssa Ferreira dos Santos⁶

RESUMO: O Acidente Vascular Encefálico isquêmico agudo constitui uma das principais causas de morbimortalidade no mundo, demandando diagnóstico rápido e preciso para definição de condutas terapêuticas eficazes. Nesse contexto, os métodos de imagem desempenham papel fundamental na identificação da lesão isquêmica e na determinação da elegibilidade para terapias de reperfusão. Este estudo consistiu em uma revisão integrativa da literatura, realizada no período de 2021 a 2026, com o objetivo de analisar as evidências científicas acerca da utilização da ressonância magnética multiparamétrica na avaliação do AVE isquêmico agudo. A busca foi conduzida em bases de dados nacionais e internacionais, com descritores previamente definidos e aplicação de critérios de inclusão e exclusão. Os resultados evidenciaram que a integração de sequências estruturais, funcionais e quantitativas amplia a acurácia diagnóstica, contribui para estimativa da janela terapêutica e favorece a predição de desfechos clínicos. Embora a tomografia computadorizada permaneça como exame de escolha na emergência, a ressonância magnética multiparamétrica destaca-se como ferramenta complementar estratégica.

Palavras-chave: Acidente Vascular Encefálico. Prognóstico. Ressonância Magnética.

¹Graduando em Medicina pela Faculdade Serra Dourada - SERRA DOURADA, Lorena SP.

²Mestranda em Neurociência e Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém PA.

³Graduanda em Medicina pelo Centro Universitário Estácio - ESTÁCIO, Iguatu CE.

⁴Pós-Graduada em Fisioterapia Cardiorrespiratória pelo Centro Universitário de João Pessoa - UNIPE, João Pessoa PB.

⁵Graduanda em Medicina Centro Universitário Itaperuna - AFYA, Itaperuna RJ.

⁶Doutoranda em Neurociência e Biologia Celular pela Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém PA.

ABSTRACT: Acute ischemic stroke is one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide, requiring rapid and accurate diagnosis to guide effective therapeutic interventions. In this context, imaging methods play a central role in identifying ischemic injury and determining eligibility for reperfusion therapies. This study consisted of an integrative literature review conducted between 2021 and 2026, aiming to analyze scientific evidence regarding the use of multiparametric magnetic resonance imaging in the evaluation of acute ischemic stroke. The search was performed in national and international databases using predefined descriptors and applying established inclusion and exclusion criteria. The findings demonstrated that the integration of structural, functional, and quantitative sequences increases diagnostic accuracy, improves estimation of the therapeutic time window, and enhances prediction of clinical outcomes. Although computed tomography remains the first-line imaging modality in emergency settings, multiparametric magnetic resonance imaging stands out as a strategic complementary tool with significant prognostic value.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging. Prognosis. Stroke.

RESUMEN: El accidente cerebrovascular isquémico agudo constituye una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en el mundo, requiriendo un diagnóstico rápido y preciso para orientar intervenciones terapéuticas eficaces. En este contexto, los métodos de imagen desempeñan un papel fundamental en la identificación de la lesión isquémica y en la determinación de la elegibilidad para terapias de perfusión. Este estudio consistió en una revisión integradora de la literatura, realizada entre 2021 y 2026, con el objetivo de analizar la evidencia científica sobre el uso de la resonancia magnética multiparamétrica en la evaluación del accidente cerebrovascular isquémico agudo. La búsqueda se llevó a cabo en bases de datos nacionales e internacionales, utilizando descriptores previamente definidos y criterios de inclusión y exclusión establecidos. Los resultados demostraron que la integración de secuencias estructurales, funcionales y cuantitativas aumenta la precisión diagnóstica, mejora la estimación de la ventana terapéutica y fortalece la predicción de resultados clínicos. Aunque la tomografía computarizada sigue siendo el método de elección en situaciones de emergencia, la resonancia magnética multiparamétrica se destaca como herramienta complementaria estratégica con alto valor pronóstico.

Palabras clave: Accidente Cerebrovascular. Pronóstico. Resonancia Magnética.

INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Encefálico Isquêmico (AVEi) constitui uma das principais causas de morbimortalidade no mundo, configurando-se como emergência neurológica tempo-dependente que exige diagnóstico rápido e preciso para definição de estratégias terapêuticas, como trombólise intravenosa e trombectomia mecânica. A identificação precoce da área de penumbra isquêmica e do núcleo do infarto é determinante para ampliar a janela terapêutica e reduzir sequelas funcionais permanentes. Nesse contexto, a ressonância magnética (RM) tem assumido papel central na avaliação do AVEi agudo, superando limitações inerentes à tomografia computadorizada, sobretudo quanto à sensibilidade para alterações precoces do parênquima cerebral (Tedyanto; Tini; Pramana, 2022; Rapillo *et al.*, 2024).

A ressonância magnética multiparamétrica (RMmp) integra diferentes sequências estruturais, funcionais e hemodinâmicas como difusão (DWI), coeficiente aparente de difusão (ADC), perfusão (PWI), susceptibilidade magnética (SWI), arterial spin labeling (ASL) e mapeamentos quantitativos permitindo caracterização abrangente do tecido cerebral isquêmico. Estudos demonstram que a abordagem multiparamétrica possibilita estimar o tempo de início do evento isquêmico com maior acurácia, especialmente em casos de “wake-up stroke”, nos quais o horário exato do início dos sintomas é desconhecido (McGarry; Kauppinen, 2021; Bulut *et al.*, 2022). A avaliação combinada de DWI e FLAIR, bem como de parâmetros quantitativos, tem sido descrita como ferramenta robusta para inferência temporal da lesão e tomada de decisão clínica.

Além do diagnóstico precoce, a RMmp apresenta valor prognóstico significativo. A incorporação de marcadores quantitativos de saúde cerebral e extensão da lesão isquêmica melhora a predição de desfechos funcionais quando comparada à avaliação isolada por tomografia (Chen; Ni; Yin, 2025; Lindgren *et al.*, 2025). A análise quantitativa por imagem tem demonstrado desempenho superior à simples avaliação de fenômenos como o “no-reflow” na predição de recuperação funcional em modelos translacionais de AVC (Debatisse *et al.*, 2025). Esses achados reforçam o potencial da RMmp como instrumento não apenas diagnóstico, mas também estratificador de risco.

A avaliação da perfusão cerebral por RM desempenha papel essencial na identificação da discrepância entre áreas de hipoperfusão e restrição à difusão, conceito fundamental para delimitação da penumbra isquêmica. Técnicas como ASL e fingerprinting por RM permitem avaliação simultânea de parâmetros hemodinâmicos e estruturais, ampliando a compreensão da fisiopatologia do evento isquêmico (Fan *et al.*, 2022; Liyakat *et al.*, 2025). Paralelamente, métodos de mapeamento simultâneo de T₂ e ADC vêm sendo desenvolvidos para monitorar a evolução do AVEi desde a fase aguda até a crônica, contribuindo para avaliação longitudinal da lesão (Ye *et al.*, 2025).

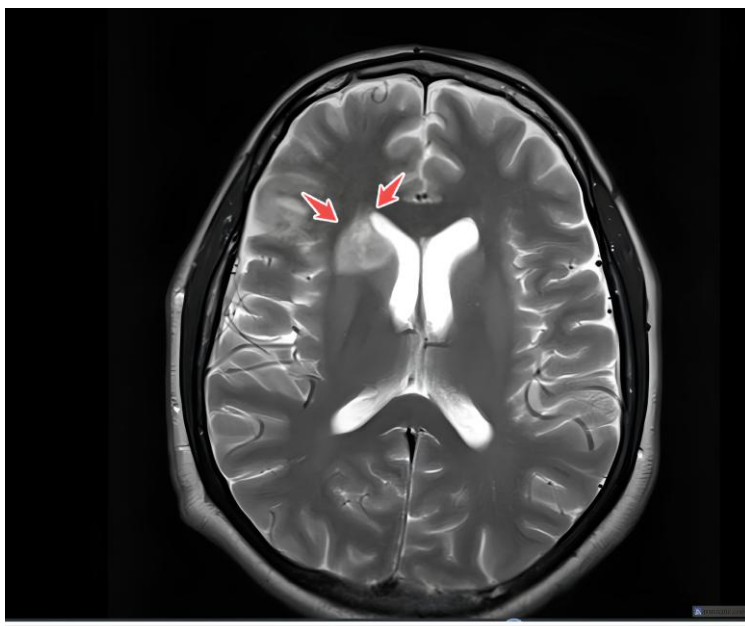
A sequência SWI destaca-se na detecção de micro-hemorragias e no chamado “prominent vessel sign”, marcador associado à gravidade da hipoperfusão e ao prognóstico clínico (Reda; Ashour; Abdelbary, 2025). Meta-análises apontam desempenho relevante da SWI na identificação de microbleeds quando comparada a sequências ponderadas em T₂, com implicações diretas na decisão terapêutica e no risco de transformação hemorrágica (Tan *et al.*,

2025). Ademais, modelos preditivos baseados em radiômica e aprendizado de máquina, alimentados por dados multiparamétricos, vêm demonstrando elevada acurácia na previsão de transformação hemorrágica e desfechos após tromboectomia mecânica (Meng *et al.*, 2022; Pei *et al.*, 2025; Yu *et al.*, 2023).

A transição do paradigma centrado na tomografia para protocolos prioritariamente baseados em RM tem sido considerada viável em centros estruturados, com impacto positivo na precisão diagnóstica e nos desfechos em longo prazo (Rapillo *et al.*, 2024; Zhou *et al.*, 2022). A aplicação da RMmp também contribui para classificação etiológica dos mecanismos do AVC, incluindo aterosclerose intracraniana sintomática, permitindo correlação entre subtipo fisiopatológico e prognóstico funcional (Zheng *et al.*, 2025). Além disso, técnicas avançadas de imagem metabólica auxiliam no diagnóstico diferencial entre infarto cerebral isquêmico e condições metabólicas, como na distinção de encefalopatias mitocondriais (Yang *et al.*, 2025).

A utilização da RM sintética e de abordagens quantitativas amplia ainda mais o espectro diagnóstico, oferecendo parâmetros objetivos que reduzem variabilidade interobservador e aprimoram a acurácia na estratificação clínica (Huang *et al.*, 2024; Gui *et al.*, 2025). Dessa forma, a integração de múltiplos biomarcadores de imagem consolida a RMmp como ferramenta estratégica na medicina de precisão aplicada ao AVEi.

Figura 1 – Imagem de ressonância magnética na avaliação de Acidente Vascular Encefálico Isquêmico



Fonte: MRI brain showed ischemic stroke. MRI: Magnetic Resonance Imaging. (2025)

A Figura 1 exemplifica o padrão clássico de restrição à difusão observado na fase hiperaguda do AVEi, caracterizado por hiperintensidade em DWI e hipossinal correspondente no mapa ADC, refletindo edema citotóxico e falência energética celular. A correlação entre esses achados e parâmetros de perfusão permite delimitar o mismatch difusão-perfusão, essencial para definição terapêutica individualizada.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo analisar as implicações diagnósticas e prognósticas da ressonância magnética multiparamétrica na avaliação do acidente vascular encefálico isquêmico agudo, destacando sua contribuição para estimativa temporal do evento, estratificação de risco, predição de desfechos funcionais e apoio à tomada de decisão terapêutica baseada em biomarcadores quantitativos de imagem.

MÉTODOS

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, desenvolvida com o objetivo de sintetizar e analisar criticamente as evidências científicas acerca da aplicação da ressonância magnética multiparamétrica na avaliação do Acidente Vascular Encefálico Isquêmico agudo, enfatizando suas implicações diagnósticas e prognósticas. A escolha da revisão integrativa justifica-se por permitir a inclusão de estudos com diferentes delineamentos metodológicos, favorecendo a compreensão abrangente de fenômenos complexos relacionados à imagem cerebral avançada, biomarcadores quantitativos e modelos preditivos no contexto do AVEi.

A busca bibliográfica foi realizada contemplando publicações indexadas no período de 2021 a 2026, a fim de assegurar atualização científica diante dos avanços recentes nas técnicas de imagem por ressonância magnética, especialmente no que se refere às sequências multiparamétricas, à radiômica e à aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina. As bases de dados selecionadas foram PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science e Embase, considerando sua relevância e ampla indexação na área das ciências da saúde.

A estratégia de busca foi estruturada mediante a combinação de descritores controlados e termos livres, nos idiomas português e inglês, utilizando operadores booleanos AND e OR. Foram empregados os seguintes descritores: “Acidente Vascular Encefálico Isquêmico” e “Ischemic Stroke”; “Ressonância Magnética Multiparamétrica” e “Multiparametric Magnetic Resonance Imaging”; “Imagem por Difusão” e “Diffusion-Weighted Imaging”; “Perfusão

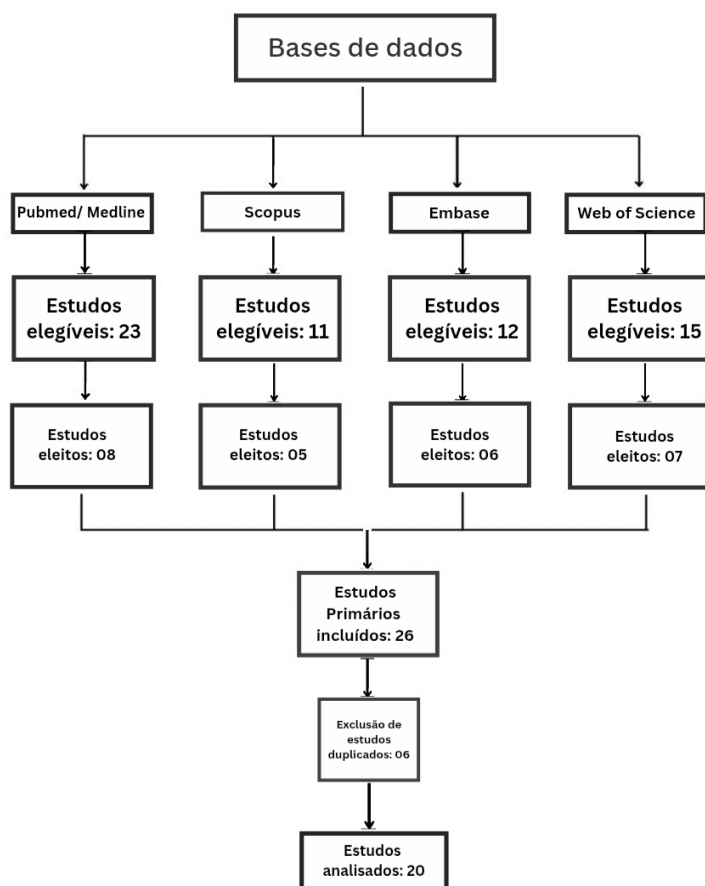
Cerebral” e “Perfusion Imaging”; “Radiômica” e “Radiomics”; “Prognóstico” e “Prognosis”; além de “Diagnóstico por Imagem” e “Diagnostic Imaging”. A combinação final dos termos buscou integrar o evento clínico ao método diagnóstico e às suas repercussões prognósticas.

Foram estabelecidos como critérios de inclusão estudos publicados entre 2021 e 2026, disponíveis na íntegra, nos idiomas português, inglês ou espanhol, que abordassem especificamente a utilização da ressonância magnética multiparamétrica na avaliação do AVEi agudo, com enfoque em aspectos diagnósticos, preditivos ou terapêuticos. Foram excluídos artigos duplicados nas bases consultadas, revisões narrativas, editoriais, cartas ao editor, resumos de congressos sem texto completo disponível, estudos direcionados exclusivamente ao acidente vascular encefálico hemorrágico e pesquisas experimentais sem correlação clínica com pacientes humanos.

O processo de seleção dos estudos ocorreu em etapas sequenciais. Inicialmente, realizou-se a identificação dos artigos nas bases de dados, seguida da remoção de duplicidades. Posteriormente, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para triagem preliminar, excluindo-se aqueles que não atendiam ao escopo da pesquisa. Na etapa seguinte, os artigos potencialmente elegíveis foram analisados na íntegra, com aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão. Por fim, os estudos selecionados compuseram a amostra final da revisão integrativa e foram submetidos à extração sistematizada de dados, incluindo autoria, ano de publicação, delineamento metodológico, técnicas de ressonância magnética utilizadas, principais variáveis analisadas, desfechos diagnósticos e prognósticos e limitações apontadas.

A análise dos dados foi conduzida por meio de síntese descritiva e organização temática dos achados, possibilitando a categorização das evidências em núcleos analíticos relacionados às contribuições diagnósticas da ressonância magnética multiparamétrica, aos biomarcadores quantitativos associados à predição de desfechos funcionais e às aplicações de radiômica e inteligência artificial na estratificação prognóstica do paciente com AVEi agudo.

Figura 2 – Fluxograma do processo de seleção dos estudos incluídos



Fonte: Autoria própria (2026)

RESULTADOS

A análise dos estudos incluídos nesta revisão integrativa demonstrou que a ressonância magnética multiparamétrica (RMmp) se consolidou como ferramenta de elevada acurácia diagnóstica e expressivo valor prognóstico na avaliação do Acidente Vascular Encefálico Isquêmico agudo. De maneira convergente, as evidências apontaram que a integração de sequências estruturais, funcionais e quantitativas amplia significativamente a capacidade de identificação precoce do tecido isquêmico viável, permite estimar com maior precisão o tempo de instalação do evento e aprimora a predição de desfechos clínicos em curto e longo prazo.

Os achados evidenciaram que a RMmp, quando utilizada como ferramenta de triagem, possibilita estimativa mais acurada da duração do evento isquêmico, sobretudo em pacientes com início incerto dos sintomas, como nos casos de “wake-up stroke”. A correlação entre

sequências como difusão e FLAIR, associada a parâmetros quantitativos, mostrou-se determinante para inferência temporal do infarto e ampliação segura da janela terapêutica (Bulut *et al.*, 2022; McGarry; Kauppinen, 2021). Ademais, a incorporação da ressonância magnética à avaliação inicial, seja em substituição ou complementação à tomografia computadorizada, demonstrou impacto positivo na precisão diagnóstica e na estimativa de desfechos funcionais, reforçando a tendência de transição para protocolos centrados em RM em centros especializados (Chen; Ni; Yin, 2025; Rapillo *et al.*, 2024).

No âmbito da estratificação clínica, a abordagem multiparamétrica evidenciou superioridade na graduação da gravidade do infarto cerebral agudo e na delimitação mais precisa da extensão da lesão. A análise combinada de parâmetros estruturais e funcionais permitiu caracterização mais detalhada do comprometimento tecidual e melhor correlação com escalas clínicas de gravidade (Gui *et al.*, 2025; Zhou *et al.*, 2022). Paralelamente, estudos que empregaram métricas quantitativas demonstraram desempenho superior na predição de recuperação funcional quando comparados à avaliação isolada de fenômenos hemodinâmicos convencionais, como o no-reflow (Debatisse *et al.*, 2025). Marcadores globais de saúde cerebral, identificados por meio de RM quantitativa, também foram associados a melhor estimativa de incapacidade residual e prognóstico funcional pós-evento (Lindgren *et al.*, 2025).

A avaliação da perfusão cerebral por técnicas avançadas, incluindo arterial spin labeling e fingerprinting por ressonância magnética, permitiu análise simultânea de parâmetros hemodinâmicos e estruturais, contribuindo para compreensão mais integrada da fisiopatologia isquêmica e da viabilidade tecidual (Fan *et al.*, 2022; Liyakat *et al.*, 2025). A identificação do mismatch entre difusão e perfusão mostrou-se essencial para delimitação da penumbra isquêmica potencialmente reversível, orientando decisões terapêuticas individualizadas. Técnicas de mapeamento simultâneo de T2 e ADC, por sua vez, demonstraram utilidade na monitorização evolutiva da lesão, permitindo acompanhamento quantitativo desde a fase hiperaguda até estágios crônicos do infarto (Ye *et al.*, 2025).

No campo da inteligência artificial aplicada à imagem médica, modelos baseados em radiômica e aprendizado de máquina apresentaram elevada capacidade preditiva para transformação hemorrágica e para desfechos funcionais após trombectomia mecânica. A extração de características quantitativas de múltiplas sequências possibilitou a construção de modelos prognósticos individualizados, com maior sensibilidade e especificidade quando

comparados a parâmetros clínicos isolados (Meng *et al.*, 2022; Pei *et al.*, 2025; Yu *et al.*, 2023). A utilização de RM sintética demonstrou potencial na padronização de parâmetros quantitativos, reduzindo variabilidade interobservador e contribuindo para maior consistência diagnóstica e prognóstica (Huang *et al.*, 2024).

Adicionalmente, a análise multiparamétrica evidenciou relevância no diagnóstico diferencial e na caracterização etiológica do evento isquêmico. Estudos demonstraram que parâmetros metabólicos obtidos por RM multiparamétrica permitem diferenciar infarto cerebral isquêmico de distúrbios metabólicos, como encefalopatias mitocondriais, reduzindo a probabilidade de diagnósticos equivocados (Yang *et al.*, 2025). A caracterização de subtipos etiológicos relacionados à aterosclerose intracraniana sintomática também foi aprimorada pela integração de múltiplos parâmetros de imagem, possibilitando correlação mais precisa entre mecanismo fisiopatológico e prognóstico funcional (Zheng *et al.*, 2025).

No que se refere às sequências estruturais convencionais, a ponderação em T₁ demonstrou utilidade complementar na caracterização anatômica da lesão isquêmica, especialmente na avaliação da integridade cortical e subcortical, bem como na identificação de alterações relacionadas à necrose, transformação subaguda e reorganização tecidual tardia. Embora menos sensível na fase hiperaguda quando comparada à difusão, a sequência T₁ contribui para análise morfológica global e planejamento terapêutico, sobretudo quando integrada à abordagem multiparamétrica.

9

A sequência ponderada em T₂ mostrou-se particularmente relevante na identificação de edema vasogênico e na delimitação da extensão da lesão em fases evolutivas subsequentes. Sua elevada sensibilidade às alterações relacionadas ao aumento do conteúdo hídrico tecidual permite visualização clara do edema associado ao infarto, além de auxiliar na detecção de complicações, como transformação hemorrágica e efeito expansivo.

A sequência FLAIR destacou-se como ferramenta essencial na identificação de lesões corticais e subcorticais, sobretudo pela supressão do sinal do líquido cefalorraquidiano, o que proporciona melhor contraste das lesões adjacentes aos ventrículos e ao córtex cerebral. A discrepância entre difusão positiva e FLAIR negativa foi descrita como marcador indireto de infarto hiperagudo, auxiliando na definição da elegibilidade para trombólise em pacientes com tempo de início desconhecido (Bulut *et al.*, 2022; McGarry; Kauppinen, 2021).

As sequências de susceptibilidade magnética também apresentaram relevância diagnóstica e prognóstica significativa. A identificação do “prominent vessel sign” e de micro-hemorragias por meio da SWI esteve associada à gravidade clínica inicial e ao risco aumentado de transformação hemorrágica, reforçando seu papel na estratificação de risco e na tomada de decisão terapêutica (Reda; Ashour; Abdelbary, 2025; Tan *et al.*, 2025).

Quadro 1 – Síntese dos principais achados sobre Ressonância Magnética Multiparamétrica no Acidente Vascular Encefálico Isquêmico Agudo

Principal Implicação Prognóstica	Técnica(s) de RM Utilizada(s)	Principal Achado Diagnóstico	Principal Implicação Prognóstica
Bulut <i>et al.</i> , 2022	RM multiparamétrica (DWI, FLAIR, perfusão)	Maior acurácia na estimativa da duração do evento isquêmico por meio da correlação entre sequências estruturais e funcionais	Ampliação da segurança na definição da elegibilidade para terapias de reperfusão
McGarry; Kauppinen, 2021	RM quantitativa multiparamétrica	Identificação de biomarcadores quantitativos capazes de inferir o tempo de instalação do infarto	Otimização da tomada de decisão dentro da janela terapêutica
Chen; Ni; Yin, 2025	RM associada à tomografia computadorizada	Incremento significativo na sensibilidade diagnóstica quando comparada ao uso isolado da TC	Melhora na capacidade preditiva de desfechos funcionais em curto e médio prazo
Rapillo <i>et al.</i> , 2024	Protocolo prioritário de RM	Maior precisão na confirmação diagnóstica e caracterização da extensão do infarto	Associação com melhores desfechos clínicos em longo prazo
Gui <i>et al.</i> , 2025	RM multimodal	Estratificação mais detalhada da gravidade do infarto cerebral com base em parâmetros multiparamétricos	Refinamento da classificação clínica e predição evolutiva individualizada
Debatisse <i>et al.</i> , 2025	Imagem quantitativa	Superior desempenho de métricas quantitativas na avaliação da lesão isquêmica	Maior acurácia na previsão de recuperação funcional pós-evento
Lindgren <i>et al.</i> , 2025	Marcadores globais de RM	Identificação de marcadores estruturais associados à integridade global do encéfalo	Aprimoramento da estimativa de prognóstico funcional e incapacidade residual
Fan <i>et al.</i> , 2022	Fingerprinting+ ASL	Avaliação simultânea de alterações estruturais e	Melhor compreensão da viabilidade tecidual e suporte à

		hemodinâmicas com maior sensibilidade	decisão terapêutica
Liyakat <i>et al.</i> , 2025	Perfusão por RM	Delimitação precisa da área de hipoperfusão e identificação da discrepância difusão-perfusão	Identificação da penumbra isquêmica potencialmente reversível
Ye <i>et al.</i> , 2025	Mapeamento simultâneo T ₂ e ADC	Monitorização quantitativa da evolução do edema citotóxico e vasogênico	Acompanhamento longitudinal da progressão e recuperação tecidual
Meng <i>et al.</i> , 2022	Radiômica + Machine Learning	Extração de características radiômicas preditivas de transformação hemorrágica	Estratificação precoce do risco de complicações hemorrágicas
Pei <i>et al.</i> , 2025	RM multimodal + Deep Learning	Integração de múltiplos parâmetros de imagem para modelagem preditiva pós-trombectomia	Previsão individualizada de desfechos funcionais e resposta terapêutica
Yu <i>et al.</i> , 2023	Radiômica multimodal	Construção de modelo preditivo baseado em múltiplas sequências de RM	Aumento da precisão na estimativa de prognóstico neurológico
Huang <i>et al.</i> , 2024	RM sintética	Geração padronizada de parâmetros quantitativos com maior reprodutibilidade	Redução da variabilidade interobservador e maior consistência prognóstica
Reda; Ashour; Abdelbary, 2025	SWI	Identificação do “prominent vessel sign” como marcador de hipoperfusão significativa	Associação com maior gravidade clínica e pior evolução funcional
Tan <i>et al.</i> , 2025	SWI comparada à T ₂	Maior sensibilidade para detecção de micro-hemorragias cerebrais	Avaliação mais precisa do risco de transformação hemorrágica pós-reperusão
Yang <i>et al.</i> , 2025	RM metabólica multiparamétrica	Diferenciação precoce entre infarto isquêmico e distúrbios metabólicos, como MELAS	Redução de erros diagnósticos e direcionamento terapêutico adequado
Zheng <i>et al.</i> , 2025	RM multiparamétrica	Caracterização dos subtipos etiológicos associados à aterosclerose intracraniana sintomática	Correlação entre mecanismo fisiopatológico e prognóstico funcional
Zhou <i>et al.</i> , 2022	RM multimodal em protocolo emergencial	Implementação eficaz da RM no fluxo emergencial hiperagudo	Maior agilidade diagnóstica e potencial impacto positivo nos desfechos clínicos

Fonte: Autoria própria (2026)

De forma geral, os resultados evidenciam que a ressonância magnética multiparamétrica supera a abordagem isolada por métodos convencionais ao integrar informações estruturais, hemodinâmicas, metabólicas e quantitativas. Tal integração promove maior precisão diagnóstica, melhor definição da janela terapêutica e aprimorada capacidade de predição de desfechos funcionais, consolidando-se como ferramenta estratégica na prática clínica contemporânea do AVEi agudo.

DISCUSSÃO

A presente revisão integrativa evidenciou que a ressonância magnética multiparamétrica (RMmp) tem se consolidado como instrumento central na abordagem diagnóstica e prognóstica do Acidente Vascular Encefálico Isquêmico (AVEi) agudo, superando limitações historicamente associadas aos métodos convencionais. A análise dos estudos publicados entre 2021 e 2026 demonstra que a integração de sequências estruturais, funcionais, hemodinâmicas e quantitativas amplia substancialmente a precisão diagnóstica e fortalece a estratificação de risco, repercutindo diretamente na tomada de decisão terapêutica.

No contexto da definição temporal do evento isquêmico, aspecto crucial para elegibilidade terapêutica, Bulut *et al.* (2022) destacam que a correlação entre difusão e FLAIR permite estimar com maior confiabilidade a janela terapêutica em pacientes com início incerto dos sintomas. De forma complementar, McGarry e Kauppinen (2021) enfatizam que biomarcadores quantitativos derivados da RM possibilitam inferência temporal mais refinada, reduzindo a dependência exclusiva do dado clínico. Esses achados reforçam o papel da RMmp como ferramenta estratégica na ampliação segura do acesso às terapias de perfusão.

A comparação entre a RM e a tomografia computadorizada (TC) também foi amplamente discutida nos estudos analisados. Chen, Ni e Yin (2025) ressaltam que a incorporação da RM à avaliação inicial aumenta significativamente a sensibilidade diagnóstica, sobretudo na identificação precoce de lesões isquêmicas hiperagudas. Rapillo *et al.* (2024), por sua vez, argumentam que protocolos de RM priorizados no fluxo emergencial não apenas melhoram a confirmação diagnóstica, mas também se associam a melhores desfechos funcionais em longo prazo. Esses resultados sugerem que, embora a TC mantenha papel relevante pela disponibilidade e rapidez, a RMmp oferece vantagens substanciais quando operacionalmente viável.

No que se refere à estratificação da gravidade e delimitação da extensão da lesão, Gui *et al.* (2025) defendem que a abordagem multiparamétrica permite classificação mais precisa do infarto cerebral agudo, ao integrar informações estruturais e perfusionais. Em consonância, Zhou *et al.* (2022) demonstram que a implementação de protocolos multimodais em contexto emergencial otimiza a agilidade diagnóstica sem comprometer a acurácia, evidenciando a viabilidade clínica da RMmp mesmo em cenários hiperagudos. Esses achados reforçam que a caracterização detalhada do território isquêmico não se restringe à identificação da lesão, mas envolve compreensão ampliada da fisiopatologia subjacente.

A análise quantitativa emergiu como eixo fundamental na evolução da neuroimagem. Debatisse *et al.* (2025) salientam que métricas quantitativas superam a avaliação isolada de fenômenos hemodinâmicos tradicionais, como o no-reflow, na predição de recuperação funcional. Paralelamente, Lindgren *et al.* (2025) demonstram que marcadores globais de saúde cerebral identificados por RM apresentam correlação significativa com prognóstico funcional e grau de incapacidade residual. Tais evidências indicam transição progressiva de uma análise predominantemente qualitativa para modelos baseados em biomarcadores mensuráveis e reprodutíveis.

A avaliação perfusional por técnicas avançadas também apresentou contribuição substancial. Fan *et al.* (2022) destacam que o uso combinado de fingerprinting e arterial spin labeling possibilita análise simultânea de parâmetros estruturais e hemodinâmicos, promovendo visão integrada da viabilidade tecidual. De modo semelhante, Liyakat *et al.* (2025) reforçam que a identificação precisa da discrepância difusão-perfusão favorece a delimitação da penumbra isquêmica potencialmente reversível. Ye *et al.* (2025) acrescentam que o mapeamento simultâneo de T₂ e ADC permite monitorização evolutiva do edema citotóxico e vasogênico, ampliando a compreensão da dinâmica temporal da lesão.

O avanço das técnicas de radiômica e aprendizado de máquina representa um dos desdobramentos mais promissores identificados nesta revisão. Meng *et al.* (2022) evidenciam que modelos radiômicos apresentam elevada capacidade preditiva para transformação hemorrágica, enquanto Pei *et al.* (2025) demonstram que algoritmos baseados em deep learning integrando múltiplos parâmetros de RM são capazes de prever desfechos funcionais pós-trombectomia com maior acurácia individualizada. Yu *et al.* (2023) reforçam essa perspectiva ao afirmar que a radiômica multimodal amplia a precisão prognóstica em comparação aos modelos

clínicos isolados. Esses achados indicam tendência crescente à personalização terapêutica orientada por dados.

Outro aspecto relevante refere-se à padronização e reprodutibilidade das medidas quantitativas. Huang *et al.* (2024) argumentam que a RM sintética contribui para uniformização dos parâmetros teciduais, reduzindo variabilidade interobservador e aumentando a consistência diagnóstica. Tal padronização é particularmente relevante em contextos multicêntricos e em estudos comparativos, nos quais a heterogeneidade metodológica pode comprometer a validade externa dos achados.

A RMmp também demonstrou utilidade na diferenciação diagnóstica e na caracterização etiológica. Yang *et al.* (2025) evidenciam que parâmetros metabólicos multiparamétricos permitem distinguir infarto isquêmico de distúrbios metabólicos, como encefalopatias mitocondriais, reduzindo risco de erro diagnóstico. Zheng *et al.* (2025), por sua vez, destacam que a caracterização de subtipos etiológicos associados à aterosclerose intracraniana sintomática possibilita correlação mais precisa entre mecanismo fisiopatológico e prognóstico funcional, contribuindo para direcionamento terapêutico mais específico.

As sequências de susceptibilidade magnética também apresentaram relevância prognóstica. Reda, Ashour e Abdelbary (2025) enfatizam que o “prominent vessel sign” em SWI associa-se a maior gravidade clínica, enquanto Tan *et al.* (2025) demonstram que a detecção de micro-hemorragias aumenta a capacidade de estratificação do risco de transformação hemorrágica pós-reperusão. Esses elementos reforçam que a RMmp não apenas identifica a lesão isquêmica, mas também antecipa potenciais complicações.

Em síntese, a discussão dos estudos incluídos evidencia que a RMmp representa evolução paradigmática na abordagem do AVEi agudo. A integração de múltiplas sequências e biomarcadores quantitativos amplia a precisão diagnóstica, refina a definição da janela terapêutica e fortalece a capacidade preditiva de desfechos funcionais. Embora desafios logísticos e de disponibilidade persistam, os achados convergem para o reconhecimento da RMmp como ferramenta estratégica na prática clínica contemporânea, especialmente em cenários que demandam decisões rápidas, individualizadas e baseadas em evidências robustas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão integrativa permitiu evidenciar que a ressonância magnética multiparamétrica representa um avanço significativo na avaliação do Acidente Vascular Encefálico Isquêmico agudo, ao integrar informações estruturais, funcionais, hemodinâmicas e quantitativas em um único exame. Os achados analisados demonstram que essa abordagem amplia a acurácia diagnóstica, melhora a delimitação da área isquêmica e fortalece a estratificação prognóstica, contribuindo para decisões terapêuticas mais precisas e individualizadas. A incorporação de biomarcadores quantitativos e modelos baseados em radiômica e aprendizado de máquina reforça o potencial da técnica na consolidação de uma medicina orientada por dados.

Entretanto, é fundamental reconhecer que, no cenário de emergência, a tomografia computadorizada permanece como exame de primeira escolha. Sua ampla disponibilidade, rapidez de execução e elevada sensibilidade para exclusão de hemorragia intracraniana justificam sua preferência nos protocolos iniciais de atendimento ao paciente com suspeita de AVEi. A agilidade na aquisição das imagens e na tomada de decisão é determinante para o início oportuno das terapias de reperfusão, especialmente em serviços com alta demanda assistencial e recursos limitados.

15

Ainda assim, os resultados desta revisão indicam que a ressonância magnética, quando disponível e operacionalmente viável, oferece vantagens diagnósticas e prognósticas superiores. A capacidade de identificar tecido isquêmico viável, delimitar a penumbra, estimar o tempo de instalação do evento e prever desfechos funcionais confere à RM multiparamétrica papel estratégico complementar à tomografia. Em contextos selecionados, particularmente em pacientes com início incerto dos sintomas ou em centros com estrutura adequada, a RM pode contribuir para ampliar a elegibilidade terapêutica com maior segurança.

Observa-se, portanto, que a integração racional entre tomografia computadorizada e ressonância magnética constitui abordagem promissora, na qual a TC atua como ferramenta inicial de triagem emergencial e a RM multiparamétrica como exame de aprofundamento diagnóstico e refinamento prognóstico. Essa complementaridade favorece uma condução clínica mais precisa, alinhada às evidências contemporâneas e às demandas de individualização terapêutica no manejo do AVEi agudo.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos multicêntricos prospectivos que comparem, de forma padronizada, protocolos baseados exclusivamente em tomografia computadorizada versus estratégias integradas com ressonância magnética multiparamétrica, avaliando impacto em desfechos funcionais, tempo porta-agulha, custo-efetividade e segurança terapêutica. Investigações que incorporem inteligência artificial e análise quantitativa padronizada poderão contribuir para estabelecer fluxos diagnósticos mais eficientes e adaptáveis à realidade dos diferentes sistemas de saúde, consolidando evidências para a implementação ampliada da RM no contexto emergencial.

REFERÊNCIAS

1. BULUT, H.; ALTUN, Y.; ARIK, A.; OKTAY, C.; ÇORAPLI, M.; BULUT, M. Use of multiparametric magnetic resonance imaging as a screening tool for the determination of acute ischemic stroke duration. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, v. 26, n. 3, p. 846-852, 2022.
2. CHEN, K.; NI, J.; YIN, B. Prognostic value of adding magnetic resonance imaging to computed tomography in acute ischemic stroke. *Journal of Clinical Ultrasound*, v. 53, p. 1260-1264, 2025.
3. DEBATISSE, J.; CHALET, L.; EKER, O.; CHO, T.; BECKER, G.; WATEAU, O.; WIART, M.; COSTES, N.; MÉRIDA, I.; LÉON, C.; LANGLOIS, J.; LANCELOT, S.; LUX, F.; BOUTELIER, T.; NIGHOGHOSSIAN, N.; MECHTOUFF, L.; CANET-SOULAS, E. Quantitative imaging outperforms no-reflow in predicting functional outcomes in a translational stroke model. *Neurotherapeutics*, v. 22, 2025.
4. FAN, H.; SU, P.; LIN, D.; GOLDBERG, E.; WALKER, A.; LEIGH, R.; HILLIS, A.; LU, H. Simultaneous hemodynamic and structural imaging of ischemic stroke with magnetic resonance fingerprinting arterial spin labeling. *Stroke*, v. 53, p. 2016-2025, 2022.
5. GUI, H.; ZHANG, J.; LIAN, J.; YANG, N.; LI, H. The value of multimodal MRI in the clinical grading of acute cerebral infarction. *Frontiers in Neuroscience*, v. 19, 2025.
6. HUANG, R.; ZHANG, L.; DENG, L.; FANG, J. Diagnostic and prediction value of synthetic magnetic resonance imaging in acute ischemic stroke patients. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 2024.
7. LIYAKAT, N.; BASER, S.; SINGH, U.; BHATNAGAR, K.; LIYAKAT, A.; GAURI, L. Assessment of brain perfusion with magnetic resonance imaging and its application in acute ischemic stroke. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2025.
8. LINDGREN, E.; ANGELERI, L.; BRETZNER, M.; BONKHOFF, A.; JERN, C.; LINDGREN, A.; MAGUIRE, J.; REGENHARDT, R.; ROST, N.; SCHIRMER, M.

- Magnetic resonance imaging markers of brain health improve assessment of functional outcome after acute ischemic stroke: a quantitative comparison study. medRxiv, 2025.
9. MCGARRY, B.; KAUPPINEN, R. Timing the ischemic stroke by multiparametric quantitative magnetic resonance imaging. *Stroke*, 2021.
 10. MENG, Y.; WANG, H.; WU, C.; LIU, X.; QU, L.; SHI, Y. Prediction model of hemorrhage transformation in patient with acute ischemic stroke based on multiparametric MRI radiomics and machine learning. *Brain Sciences*, v. 12, 2022.
 11. PEI, L.; HAN, X.; NI, C.; KE, J. Prediction of prognosis in acute ischemic stroke after mechanical thrombectomy based on multimodal MRI radiomics and deep learning. *Frontiers in Neurology*, v. 16, 2025.
 12. RAPILLO, C.; DUNET, V.; PISTOCCHI, S.; SALERNO, A.; DARIOLI, V.; BARTOLINI, B.; HAJDU, S.; MICHEL, P.; STRAMBO, D. Moving from CT to MRI paradigm in acute ischemic stroke: feasibility, effects on stroke diagnosis and long-term outcomes. *Stroke*, v. 55, p. 1329-1338, 2024.
 13. REDA, M.; ASHOUR, M.; ABDELBAR, M. Prominent vessel sign as a diagnostic and prognostic marker on magnetic resonance susceptibility-weighted imaging in acute ischemic stroke patients. *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, v. 56, 2025.
 14. TAN, R.; SPRING, K.; KILLINGSWORTH, M.; BHASKAR, S. Comparative diagnostic and prognostic performance of SWI and T2-weighted MRI in cerebral microbleed detection following acute ischemic stroke: a meta-analysis and SPOT-CMB study. *Medicina*, v. 61, 2025.
 15. TEDYANTO, E.; TININ, K.; PRAMANA, N. Magnetic resonance imaging in acute ischemic stroke. *Cureus*, v. 14, 2022.
 16. YE, M.; YANG, Q.; WANG, X.; ZENG, J.; ZHONG, J.; WANG, W.; BAO, J.; ZHANG, Y.; CHENG, J.; CHEN, Z.; CAI, C.; CAI, S. Simultaneous T2 and ADC mapping of acute-to-chronic ischemic stroke with multiple overlapping-echo detachment imaging. *NMR in Biomedicine*, v. 38, 2025.
 17. YU, H.; WANG, Z.; SUN, Y.; BO, W.; DUAN, K.; SONG, C.; HU, Y.; ZHOU, J.; MU, Z.; WU, N. Prognosis of ischemic stroke predicted by machine learning based on multi-modal MRI radiomics. *Frontiers in Psychiatry*, v. 13, 2023.
 18. YANG, X.; XU, Y.; ZHANG, S.; ZHANG, H.; SUO, X.; TAN, Q.; YUE, Q. Multiparametric MRI detection of cerebral metabolism: a tool for early differentiation between MELAS and ischemic cerebral infarction. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, v. 15, p. 9466-9478, 2025.
 19. ZHENG, W.; WEI, H.; BAI, F.; QU, Y.; FAN, Z.; LI, Y.; WANG, B.; WANG, Y.; WANG, L.; WANG, X. Stroke mechanism subtypes and prognosis in patients with

- symptomatic intracranial atherosclerosis based on multiparametric MRI. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, v. 62, p. 917-927, 2025.
20. ZHOU, J.; LI, G.; MENG, Y.; FU, D.; LU, M.; TANG, Z. Application of multimodal magnetic resonance imaging in green channel of acute and hyperacute ischemic stroke. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2022.