

Avaliação metabólica de tumores cerebrais por espectroscopia de ressonância magnética de prótons (^1H -MRS): Análise comparativa entre sistemas de 1,5 T e 3T

Metabolic evaluation of brain tumors by proton magnetic resonance spectroscopy (^1H -MRS): Comparative analysis between 1.5T and 3T Systems

Evaluación metabólica de tumores cerebrales mediante espectroscopia de resonancia magnética de protones (^1H -MRS): Análisis comparativo entre sistemas de 1,5 T y 3 T

Received: 20/10/2025 | Revised: 10/11/2025 | Accepted: 11/11/2025 | Published: 13/11/2025

Bruna Giovana de Souza Silva

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9847-2918>
Centro Universitário FMABC, Brasil
E-mail: bruna.giovana@aluno.fmabc.net

Camila dos Santos Chagas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4533-8622>
Centro Universitário FMABC, Brasil
E-mail: camila.chagas@fmabc.br

Fernando Luiz Affonso Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1223-1589>
Centro Universitário FMABC, Brasil
E-mail: profferfonseca@gmail.com

Emerson Barbosa da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0953-479X>
Centro Universitário FMABC, Brasil
E-mail: emerson.silva@fmabc.br

Resumo

Introdução: A espectroscopia de prótons por ressonância magnética (^1H -MRS) é uma ferramenta não invasiva relevante para a detecção de metabólitos em tumores cerebrais, possibilitando identificar alterações bioquímicas precoces antes da manifestação morfológica nas imagens convencionais. No entanto, fatores técnicos, como a intensidade do campo magnético e as diferenças entre fabricantes de equipamentos, podem influenciar a acurácia dos achados. **Objetivos:** Analisar os principais achados metabólicos obtidos por meio da ^1H -MRS em tumores cerebrais e comparar o desempenho de equipamentos de diferentes fabricantes (Siemens, GE e Philips), operando em campos magnéticos de 1,5T e 3T, com foco na sensibilidade diagnóstica. **Método:** Foi conduzida uma revisão sistemática conforme as diretrizes PRISMA. Foram incluídos estudos publicados nos últimos dez anos nas bases MEDLINE/PubMed que aplicaram ^1H -MRS na avaliação de tumores cerebrais, priorizando a detecção de metabólitos como N-acetil aspartato (NAA), colina (Cho), creatina (Cr), lactato (Lac) e mio-inositol (mi). Ao todo, 33 artigos foram elegíveis. **Resultados:** A intensidade do campo magnético teve maior impacto sobre a qualidade espectral do que a marca do equipamento. Sistemas de 3T demonstraram melhor resolução, maior relação sinal-ruído e maior capacidade de detecção de metabólitos de baixa concentração, como Mi e Lac. As razões NAA/Cr e Cho/Cr mostraram-se mais precisas em 3T. As diferenças entre fabricantes foram mínimas. **Conclusão:** A ^1H -MRS é valiosa para o diagnóstico e monitoramento de tumores cerebrais. Campos magnéticos de 3T proporcionam maior sensibilidade e especificidade, sendo essencial padronizar protocolos em estudos multicêntricos.

Palavras-chave: Espectroscopia por Ressonância Magnética de Prótons; Tumores cerebrais; Metabólitos.

Abstract

Introduction: Proton magnetic resonance spectroscopy (^1H -MRS) is a noninvasive tool of great relevance for detecting metabolites in brain tumors, allowing the early identification of biochemical alterations before morphological changes appear in conventional imaging. However, technical factors such as magnetic field strength and differences between equipment manufacturers may affect diagnostic accuracy. **Objectives:** To analyze the main metabolic findings obtained through ^1H -MRS in brain tumors and to compare the performance of different manufacturers (Siemens, GE, and Philips) operating at 1.5T and 3T magnetic fields, focusing on diagnostic sensitivity. **Method:** A systematic review was conducted according to PRISMA guidelines. Studies published in the last ten years in MEDLINE/PubMed databases that applied ^1H -MRS for brain tumor assessment were included, focusing on the detection of metabolites

such as N-acetyl aspartate (NAA), choline (Cho), creatine (Cr), lactate (Lac), and myo-inositol (Mi). A total of 33 articles met the eligibility criteria. Results: Magnetic field strength had a greater impact on spectral quality than manufacturer differences. 3T systems demonstrated superior spectral resolution, higher signal-to-noise ratio, and greater ability to detect low-concentration metabolites such as Mi and Lac. Metabolic ratios (NAA/Cr and Cho/Cr) were more accurate at 3T. Variations among Siemens, GE, and Philips systems were minimal and clinically insignificant. Conclusion: ^1H -MRS is a valuable technique for metabolic evaluation, aiding in the diagnosis and monitoring of brain tumors. Higher magnetic fields (3T) provide improved sensitivity and specificity, and protocol standardization is essential for multicenter studies.

Keywords: Proton Magnetic Resonance Spectroscopy; Brain tumors; Metabolites.

Resumem

Introducción: La espectroscopia de protones por resonancia magnética (^1H -MRS) es una herramienta no invasiva relevante para la detección de metabolitos en tumores cerebrales, que permite identificar alteraciones bioquímicas tempranas antes de la manifestación morfológica en las imágenes convencionales. Sin embargo, factores técnicos, como la intensidad del campo magnético y las diferencias entre los fabricantes de los equipos, pueden influir en la precisión de los hallazgos. Objetivos: Analizar los principales hallazgos metabólicos obtenidos mediante ^1H -MRS en tumores cerebrales y comparar el rendimiento de equipos de diferentes fabricantes (Siemens, GE y Philips) que operan en campos magnéticos de 1,5T y 3T, con enfoque en la sensibilidad diagnóstica. Método: Se realizó una revisión sistemática conforme a las directrices PRISMA. Se incluyeron estudios publicados en los últimos diez años en la base de datos MEDLINE/PubMed que aplicaron ^1H -MRS en la evaluación de tumores cerebrales, priorizando la detección de metabolitos como N-acetil aspartato (NAA), colina (Cho), creatina (Cr), lactato (Lac) y mioinositol (Mi). En total, se seleccionaron 33 artículos. Resultados: La intensidad del campo magnético tuvo un mayor impacto en la calidad espectral que la marca del equipo. Los sistemas de 3T demostraron mejor resolución, mayor relación señal-ruido y mayor capacidad para detectar metabolitos de baja concentración, como Mi y Lac. Las razones NAA/Cr y Cho/Cr fueron más precisas en 3T. Las diferencias entre fabricantes fueron mínimas. Conclusión: La ^1H -MRS es valiosa para el diagnóstico y seguimiento de tumores cerebrales. Los campos magnéticos de 3T ofrecen mayor sensibilidad y especificidad, siendo esencial estandarizar los protocolos en estudios multicéntrico.

Palavras clave: Espectroscopia por Resonância Magnética de Protones; Tumores cerebrais; Metabolitos.

1. Introdução

O primeiro conceito de Ressonância Magnética foi fundado no ano 1882 por Nikola Tesla, que um século depois, começou a ser utilizado por profissionais da saúde a partir de equipamentos de ressonância magnética para realizar exames de imagem do corpo humano com esta técnica, possibilitando a descoberta de doenças e facilitando um diagnóstico mais correto delas. “Esse conceito tem como base a utilização de intensidades de campo magnético para produzir as imagens desejadas”, contudo, anos mais tarde, em 1938, foram adicionados conceitos baseados na teoria dos spin e foi demonstrado pela primeira vez por Isidor Rabi, mostrando assim que “passou um feixe de partículas através de um campo magnético, mostrando que ele pode ser feito para emitir ondas de rádio em frequências que são dependentes da carga das partículas e da força do campo magnético (Pól J et al, 2010; Viard et al, 2021).

Atualmente a teoria é consolidada não apenas no estado sólido da matéria, mas como também no estado líquido, por conta disso, e assim sendo utilizada baseada no estado líquido quando relacionada ao corpo humano, já que a maior parte do corpo humano é composto por moléculas de água e assim, possuindo muitos átomos de Hidrogênio. Contudo, quando o átomo de Hidrogênio “em seu núcleo, tem um momento magnético, se torna possível girar em torno de si mesmo, induzindo um campo magnético”, com esse campo magnético, é possível realizar o exame de imagem (Viard et al, 2021).

A ^1H -MRS com imagem (MSI) é uma tecnologia utilizada em exames de imagem por meio da ressonância magnética que permite uma ampla detecção e identificação para a análise de tecidos humanos, permitindo um enfoque detalhado na caracterização molecular. O exame de MSI se mostra muito eficiente na questão de detecção da estrutura de tecidos a nível molecular, detectando biomarcadores, proteínas, carboidratos, lipídeos, enzimas, entre outros componentes moleculares presentes nas células do corpo humano. Contudo, em definição a MSI “A espectroscopia de ressonância magnética nuclear de prótons apresenta uma poderosa ferramenta de detecção para o estudo de composições químicas e estruturas moleculares”

(Huang et al, 2022).

"As principais técnicas de ionização utilizadas na MSI incluem ^1H -MRS por íon secundário (SIMS), dessorção/ionização a laser assistida por matriz (MALDI) e ionização por eletrospray de dessorção (DESI), cada uma com aplicações específicas na análise molecular de tecidos (Ranjith et al, 2015)."

A diferenciação dos métodos de ionização é demonstrada uma vez que a metodologia de SIMS tem como objetivo, "Extrair da Superfície de uma amostra sólida sob o impacto de um feixe energético de íons primários", desse modo, identificando os componentes da amostra em análise, mas esta é uma técnica considerada como destrutiva e desse modo, às vezes sendo limitante para identificação biomolecular em seres humanos (Mukherjee et al, 2022).

O MALDI é caracterizado pela "Dessorção/ionização a laser assistida por matriz hidrogênio-deutério fazendo a troca de ^1H -MRS, mostrando diferenças conformacionais", assim sendo uma metodologia rápida e podendo ser muito eficiente na identificação das biomoléculas (Mukherjee et al, 2022).

Já com relação ao DESI "Usa gotículas de solventes em movimento rápido para extrair analitos de superfícies e impulsionar as microgotículas secundárias resultantes em direção ao analisador de massa". Desse modo, detectando as moléculas a partir de uma metodologia utilizando soluções químicas, sendo um tipo de método muito utilizado na análise de fármacos (Ifa et al, 2010).

Esses métodos permitem que a MSI seja realizada de maneira que delimitam e detectem o tecido que é desejado, além de analisar molecularmente quais são as moléculas que são encontradas no tecido, além de quantificá-las.

A espectrometria pode ser amplamente utilizada no diagnóstico precoce de tumores, além de ajudar na identificação da composição química do tumor, podendo facilitar o desenvolvimento e planejamento de tratamentos que procurem levar a cura do paciente ou um melhor tratamento paliativo ao mesmo.

Entretanto, o uso da MSI é muito relativo, dependendo de vários fatores para que possa ser utilizado com sua maximização de qualidade de imagem e identificação. Entre esses fatores podem ser citados" a idade do paciente; a localização a ser investigado no corpo do paciente; a duração que leva o exame, a sequência de imagens produzidas e a análise apropriada das imagens que foram formadas", tudo isso influenciando no resultado final do possível diagnóstico (Frank et al, 2023) .

Desse modo, diferentes protocolos de espectrometria de ressonância magnética devem ser aplicados em diferentes situações, tanto referente às características do paciente como também, adaptar um mesmo protocolo em vários diferentes, para que assim se adaptem para diferentes pacientes. e com isso, evitando a perda de exames e melhorando a qualidade das imagens adquiridas.

Tendo em vista que a MSI se mostra muito eficaz na detecção molecular da amostra, há algumas diferenças que podem ser evidenciadas entre diferentes tipos de equipamentos utilizados para realizar o exame da ^1H -MRS com imagem, e com isso podendo haver divergências dos laudos de um mesmo exame.

Diante disso, o presente artigo tem como objetivo analisar os principais achados metabólicos obtidos pela ^1H -MRS em tumores cerebrais, bem como discutir a influência dos diferentes equipamentos de RM na qualidade desses achados, visando contribuir para o aprimoramento dos protocolos de imagem e promover uma abordagem mais eficaz na prática clínica.

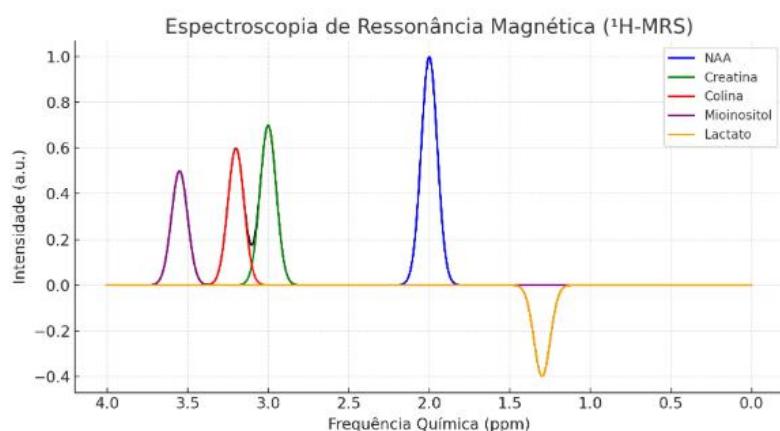
A espectroscopia de prótons por ressonância magnética (^1H -MRS) é uma técnica não invasiva que permite identificar e quantificar metabólitos, como Colina (Cho); Lactato (Lac); N-acetil aspartato (NAA); Mio-inositol (mi) e Creatina (Cr), presentes nos tecidos do corpo humano, visando as propriedades magnéticas do núcleo de hidrogênio. O princípio básico é semelhante ao da ressonância magnética convencional, mas com foco na obtenção de informações metabólicas ao invés de apenas imagens anatômicas e patológicas (Kim et al, 2016).

Quando submetidos a um campo magnético intenso, os núcleos de hidrogênio presentes nas moléculas do organismo

alinham-se de acordo com a direção do campo magnético. A aplicação de pulsos de radiofrequência provoca uma excitação desses núcleos, que, ao retornarem ao estado de equilíbrio, emitem sinais detectados pelas bobinas de radiofrequência (Viard et al, 2021).

A diferença nessa frequência na ^1H -MRS depende do ambiente eletrônico em que o núcleo se encontra, permitindo diferenciar os diferentes metabólitos encontrados no tecido de estudo. O espectro resultante é um gráfico onde o eixo horizontal representa o deslocamento químico em partes por milhão (ppm) e o eixo vertical representa a intensidade relativa do sinal, mostrando a concentração dos metabólitos (Viard et al, 2021). Esse espectro em forma de gráfico é ilustrado da seguinte forma na Figura 1.

Figura 1 - Espectro representativo de ^1H -MRS cerebral evidenciando os principais metabólitos neuronais e gliais.



Legenda: Espectro típico de espectroscopia de ressonância magnética por próton (^1H -MRS) de tecido cerebral normal, mostrando os principais metabólitos detectáveis: N-acetilaspartato (NAA, 2,0 ppm), marcador neuronal; Creatina (Cr, 3,0 ppm), relacionada ao metabolismo energético; Colina (Cho, 3,2 ppm), associada à síntese e degradação de membranas; Mioinositol (mi, 3,5 ppm), marcador glial; e Lactato (Lac, 1,3 ppm), indicativo de metabolismo anaeróbico. As intensidades são expressas em unidades arbitrárias (a.u.) e a frequência química em partes por milhão (ppm). Fonte: Autoria própria.

Alguns metabólitos são mais analisados por sua importância fisiopatológica em estudos de tumores cerebrais, entre eles, o N-acetil aspartato (NAA); a Colina (Cho); a Creatina (Cr); o Lactato (Lac) e o Mio-inositol (mi), e que inclusive, serão alvo de estudo deste artigo, os principais Principais metabólitos detectáveis na espectroscopia de ressonância magnética por próton estão presentes na Tabela 1.

O N-acetil aspartato é um marcador neuronal que está associado à integridade dos neurônios. A redução de NAA costuma estar associada a danos ou perdas neuronais, podendo ser causada por tumores cerebrais, lesões isquêmicas ou doenças neurodegenerativas. Na ^1H -MRS, o NAA apresenta um pico característico em torno de 2,0 ppm, sendo utilizado como referência para avaliar a viabilidade neuronal. Alterações na razão NAA/Cr ou NAA/Cho fornecem informações importantes sobre perda neuronal, grau de agressividade tumoral e integridade metabólica do tecido cerebral, contribuindo para diagnóstico de disfunções neurológicas (Kim et al, 2016).

A Colina está diretamente relacionada a síntese e na degradação de membranas celulares, e quando sob influência de estímulos tumorais, pode haver um aumento da proliferação celular, como em processos neoplásicos cerebrais. Na ^1H -MRS, a colina apresenta um pico característico em torno de 3,2 ppm. Alterações nos níveis de colina podem indicar mudanças no turnover de membranas e na atividade celular, sendo utilizada como indicador de atividade tumoral, inflamação ou regeneração celular. A avaliação relativa de Cho em relação a outros metabólitos, como Cr e NAA, fornece informações valiosas sobre a agressividade do tumor e o metabolismo tecidual (Dou et al, 2015).

A creatina é um metabólito que está envolvida com o metabolismo energético celular, atuando principalmente como um reservatório rápido de fosfocreatina, capaz de regenerar ATP em tecidos com alta demanda energética, como o cérebro. Na ¹H-MRS, o pico de Cr, geralmente é localizado em torno de 3,0 ppm, é considerado relativamente estável, o que permite seu uso como referência interna para a quantificação relativa de outros metabólitos, como Cho e NAA. Alterações nos níveis de Cr podem indicar modificações no metabolismo celular, presença de lesões neoplásicas de alto grau ou áreas de necrose, sendo, portanto, um marcador importante para a avaliação da integridade e da função metabólica dos tecidos (Cai et al, 2017).

O lactato é um produto do metabolismo anaeróbico celular e seu acúmulo está frequentemente associado a condições de hipoxia, necrose ou metabolismo tumoral alterado. Na ¹H-MRS, o pico do Lac é geralmente detectado em torno de 1,3 ppm, podendo apresentar inversão de fase em tempos de eco longos (TE). A presença de Lac em tecidos cerebrais indica atividade metabólica anaeróbica aumentada, sendo um marcador importante em tumores de alto grau, infartos e outras lesões isquêmicas. A análise das razões Lac/Cr ou Lac/NAA auxilia na avaliação do grau de agressividade tumoral e do estado metabólico do tecido (Chaumeil et al, 2016).

O mio-inositol (mI) é um metabólito associado à função glial e à regulação osmótica celular. Na ¹H-MRS, seu pico aparece em torno de 3,5 ppm e é utilizado como marcador de ativação astrocitária e processos gliais. Níveis elevados de mio-inositol podem ser observados em desordens desmielinizantes, inflamatórias ou degenerativas, refletindo alterações na composição celular do tecido cerebral. A avaliação do mI em relação à Cr (mI/Cr) fornece informações relevantes sobre resposta glial, inflamação e remodelamento tecidual, complementando a interpretação metabólica do cérebro (El-Abtah et al, 2022).

Tabela 1 - Principais metabólitos detectáveis na espectroscopia de ressonância magnética por próton (¹H-MRS) e suas correlações clínicas.

Metabólito	Função/Marcador Principal	Alterações Clínicas Comuns	Posição no espectro (ppm)
Colina (Cho)	Síntese e degradação da membrana celular	Aumento dos tumores e Inflamação	~3,2
Lactato (Lac)	Metabolismo anaeróbico	Elevação em hipoxia, necrose e tumores agressivos	~1,3
N-acetil aspartato (NAA)	Marcador de integridade neuronal	Redução em lesões, tumores e esclerose múltipla	~2,0
Mio-inositol (mI)	Marcador de ativação glial	Aumento de desordem desmielinizante inflamatória	~3,5
Creatina (Cr)	Metabolismo energético	Diminuição em tumores de alto grau	~3,0

Fonte: Autoria própria.

Desse modo, a interpretação quantitativa e qualitativa desses achados metabólicos pode permitir diagnósticos precoces diante de alterações bioquímicas, antes mesmo da detecção da fisiopatologia na imagem por ressonância magnética convencional. Além disso, a ¹H-MRS pode fornecer informações funcionais e metabólicas que contribuem para diferenciar tecidos normais de lesões neoplásicas, calcular o grau da agressividade tumoral, monitorar a resposta a tratamentos e orientar decisões terapêuticas.

A obtenção e a qualidade dos espectros de ¹H-MRS podem variar significativamente de acordo com características técnicas do equipamento e parâmetros de aquisição utilizados. Um dos fatores com maior importância é a intensidade do campo magnético, que pode variar de 1,5 Tesla (T); 3T e 7T. Sistemas de alto campo magnético, geralmente de 3 Tesla ou 7 tesla, oferecem maior relação sinal/ruído e melhor resolução espectral, permitindo a detecção de metabólitos em concentrações menores e a separação precisa de picos próximos. Sistemas de campo médio, como os de 1,5 Tesla, continuam amplamente utilizados na prática clínica, apresentando desempenho satisfatório em exames rotineiros, embora com resolução de espectro inferior (Öz et al, 2020).

Outro aspecto fundamental é o tipo e posicionamento das bobinas de radiofrequência. A sensibilidade do sinal e a área de cobertura são diretamente influenciadas pela escolha da bobina. Bobinas dedicadas para crânio proporcionam melhor sinal e maior homogeneidade do campo em regiões específicas do cérebro, comparadas a bobinas de corpo inteiro, que permitem estudar áreas maiores com menor sensibilidade.

Além disso, software e protocolos de aquisição diferem entre fabricantes, como Siemens, Philips e GE, afetam a qualidade do espectro obtido. Métodos de supressão de água, algoritmos de reconstrução e interfaces de análise podem alterar a visibilidade e quantificação dos picos metabólicos. A escolha da sequência de aquisição, também influencia a resolução espectral e a detecção de determinados metabólitos. Sequências de TE curto favorecem a observação de sinais de baixa amplitude, como mio-Inositol, enquanto TE longa ajuda a isolar picos como lactato.

2. Metodologia

Foi realizada pesquisa bibliográfica de uma revisão sistemática realizada conforme as diretrizes do protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Foram incluídos estudos primários que utilizaram 1H-MRS para a avaliação de tumores cerebrais, com foco na identificação de alterações e padrões metabólicos. Foram considerados elegíveis estudos transversais, estudos de coorte, estudos de validação diagnóstica; relatos clínicos descritivos e relatos técnicos que abordassem os principais metabólitos detectáveis por meio da técnica, como N-acetil aspartato (NAA), colina (Cho), creatina (Cr), lactato (Lac) e mio-inositol (mi) (Page et al, 2021; Pereira et al., 2018; Snyder, 2019).

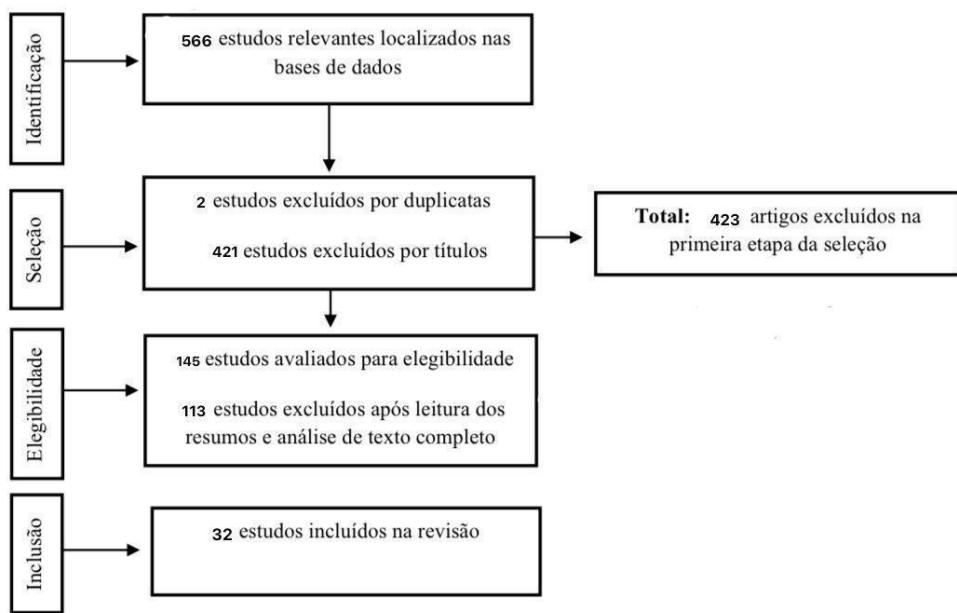
As buscas foram realizadas em julho de 2025. As bases utilizadas foram: Medical Literature Analysis and Retrieval System Online/National Library of Medicine (MEDLINE/ PubMed). Na base de dados PubMed, foram aplicados os filtros para os últimos dez anos e para artigos com texto completo disponível.

Os descritores utilizados foram selecionados a partir dos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e dos Medical Subject Headings (MeSH), combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR. Os termos incluídos foram: “Espectroscopia por Ressonância Magnética de Prótons” OU “Proton Magnetic Resonance Spectroscopy” AND “Tumores Cerebrais” OU “Brain Tumors” AND “Metabólitos” OU “Metabolites”.

A seleção e análise dos estudos foram realizadas por dois pesquisadores, que avaliaram os títulos, resumos e textos completos dos artigos identificados, considerando sua relevância para os objetivos da revisão. Os artigos potencialmente elegíveis foram analisados em sua totalidade.

No processo de busca e seleção das pesquisas, inicialmente foram identificados 566 artigos completos, que passaram por um processo rigoroso de triagem e avaliação. Após a análise dos títulos e resumos, 534 estudos foram excluídos por não atenderem aos critérios de elegibilidade estabelecidos. Ao final do processo, restaram 33 estudos que cumpriram integralmente os critérios de inclusão e foram considerados nesta revisão. A Figura 2, a seguir, apresenta um fluxograma detalhado que resume as etapas da seleção dos artigos.

Figura 2 - Fluxograma PRISMA e o processo de seleção dos estudos incluídos na revisão sistemática.



Fonte: Autoria própria.

3. Resultados e Discussão

O NAA tem um dos picos mais evidentes no gráfico do espectro quando sob efeito de um campo magnético de 1,5 T, apresenta leve acentuação no espectro, mas com relação a um campo magnético de 3 T, com o também aumento do SNR, há uma menor sobreposição de ruídos, o que é demonstrado mais acentuado ainda no espectro (El-Abtah et al, 2022).

A Cr se mantém relativamente estável em um campo magnético de 1,5 T, mas a resolução espectral fica melhor definida quando sob influência de um campo magnético de 3 T e por isso, aparenta um leve aumento em relação à linha base do espectro (Viard et al, 2021).

A Cho, assim como Cr, é significativamente estável, por esse motivo, podendo ser confundido com Cr quando sob influência de um campo magnético de 1,5 T. Já em 3 T, há uma maior resolução na separação desses picos e Cho fica evidente, se mostrando mais elevada, contudo, a largura dos picos (FWHM) diminui no espectro (El-Abtah et al, 2022) .

O mi tende a ser mais difícil de identificar pois sofre sobreposição espectral quando está sob influência dos campos magnéticos baixos, como em 1,5 T; desse modo em um magnético de 1,5 T ele tende a aparecer reduzido. Já no campo magnético de 3 T, há uma maior resolução, o que permite que haja uma melhor separação dos sinais e assim evidenciando com mais clareza (El-Abtah et al, 2022).

O Lac é um metabólito de observação mais difícil no cérebro, sendo mais frequente apenas em condições patológicas. Contudo, tanto em campos magnéticos de 1,5 T e 3 T, a visibilidade dele é dependente de tempo de eco e de supressão lipídica, e por conta disso, tende a ficar estável quando está apenas sob influência de campos magnéticos.

O SNR, Signal-to-Noise Ratio ou também relação Sinal/Ruido, é uma média da que compara a intensidade do sinal útil obtido pelos picos dos metabolitos no espectro de ¹H-MR Sem relação ao nível de ruído de fundo presente na aquisição. Sua fórmula matemática pode ser expressa por (Hangel et al,2022):

$$\text{SNR} = \text{Intensidade do sinal}/\text{Intensidade do Ruído}$$

Em um campo magnético baixo, como o de 1,5 T, resulta em uma menor sensibilidade e, consequentemente, em uma relação sinal/ruído mais baixa pois, apresentam mais ruído de fundo, dificultando a distinção entre picos pequenos; as linhas espectrais são mais largas e por isso, muitas vezes são necessários um maior número de aquisições ou técnicas adicionais de processamento para melhorar a qualidade do espectro (Hangel et al,2022).

Com o dobro do campo magnético, 3 T, o SNR apresenta espectros mais limpos e definidos, com menos interferência de ruído; picos dos metabólitos mais altos, permitindo uma melhor quantificação dos mesmos e visualização de metabolitos de baixa concentração e possibilitando as chances de reduzir tempo de aquisição sem perder qualidade, ou manter o tempo de obter espectros ainda mais robustos.

O FWHM, Full Width at Half Maximum ou também largura total da Meia Altura, é uma forma de medir a largura de um pico espectral na metade de sua altura máxima. Quando o FWHM está baixo, significa que há uma boa resolução espectral, já quando há um FWHM, pode indicar uma pior resolução e maior chance de sobreposição entre os metabólitos (El-Abtah et al, 2022).

O campo magnético mais baixo como o de 1,5 T leva a maior influência de fatores como variação de campo a acoplamentos de spins, fazendo com que os picos sejam mais alargados e aumento do valor de FWHM, acarretando a uma maior sobreposição nos picos dos metabólitos e reduzindo a exatidão da quantificação dos metabólitos (Payne et al, 2016) .

O campo magnético mais forte de 3 T proporciona melhor homogeneidade local e maior dispersão química levando a picos mais estreitos, ou seja, valores menores de FWHM, o que leva a uma separação mais precisa e clara dos metabólitos (Malloy et al, 2020).

É possível fazer algumas relações metabólicas entre NAA/Cr e Cho/Cr, que inevitavelmente sofrem influência direta da intensidade do campo magnético no qual está submetido (Malloy et al, 2020).

Em um campo magnético de 1,5 T, a resolução espectral é menor, portanto, os picos de NAA, Cho e Cr se sobrepõem, mostrando isso como uma limitação para que ocorra uma separação precisa entre esses metabólitos, especialmente nos casos em que a linha espectral é mais larga. Como resultado disso, as relações dos valores entre NAA/Cr e Cho/Cr permanecem de maneira mais estável pois, os desvios relacionados ao processamento espectral acabam sendo suavizados pela própria limitação do campo magnético ao qual foi submetido (Cai et al, 2017).

Quando submetido a um campo magnético de 3 T, ocorre uma melhora significativa na relação sinal-ruído (SNR) e uma melhor resolução espectral, o que permite distinguir com mais clareza os picos dos metabólitos (El-Abtah et al, 2022). Com essa melhora na definição espectral, há um aumento nas razões NAA/Cr e Cho/Cr, uma vez que a quantificação fica mais precisa, diminuindo os efeitos de sobreposição tais quais ocorrem sob o campo magnético de 1,5 T (Malloy et al, 2020), com variações técnicas e aplicadas de acordo com variações dos fabricantes e plataformas (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparação dos principais metabólitos e parâmetros espectrais obtidos por ^1H -MRS em sistemas de ressonância magnética de 1,5 T e 3 T de diferentes fabricantes.

Medida/ Metabólito	Siemens 1,5 T	GE 1,5 T	Philips 1,5 T	Siemens 3 T	GE 3T	Philips 3 T
NAA	↑	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑
Cr	→	→	→	↑	↑	↑
Cho	→	→	→	↑	↑	↑
mi	↓	↓	↓	↑	↑	↑
Lac	→	→	→	→	→	→
NAA/Cr	↑	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑
Cho/Cr	↑	↑	↑	↑↑	↑↑	↑↑
SNR	↓	↓	↓	↑↑	↑↑	↑↑
FWHM	↑	↑	↑	↓	↓	↓

Legenda: ↑↑ = aumento significativo ; ↑ = aumento leve ; → = estável ; ↓ = diminuição leve; NAA = N-acetil aspartato; Cho = colina, Cr = creatina; Lac = lactato; mi = mio-inositol. Fonte: Autoria própria.

O tempo de aquisição das imagens também é um ponto muito importante pois, dependendo do número de médias (NEX ou averages), ou seja, quanto maior o número de repetições, maior será o tempo, mas melhor será o SNR. Alguns dos fatores que mais influenciam o tempo de aquisição são com relação a intensidade do campo magnético, em 1,5 T o tempo geralmente é maior, pois o SNR é menor exigindo mais médias para espectros confiáveis, já em 3 T o tempo geralmente é o menor possível, pois o aumento de SNR permite reduzir médias sem perder qualidade (Payne et al, 2016).

As técnicas utilizadas também podem variar o tempo de aquisição das imagens, entre elas PRESS, STEAM, Multivoxel. A técnica PRESS é considerada padrão ouro na realização dos exames, a STEAM geralmente é útil em pesquisas para detecção de metabólitos e a Multivoxel gera mapas metabólicos como observado NA Tabela 3 (Hangel et al, 2022).

Tabela 3 - Comparativo de técnicas utilizadas no tempo de aquisição.

Técnica	Vantagens	Limitações
PRESS	Alto SNR, mais usado na clínica	TE mínimo maior
STEAM	Permite TE curto (detecta metabólitos instáveis)	Menor SNR
Multivoxel	Mapa metabólico, análise espacial	Menor SNR

Fonte: Autoria própria.

A resolução espectral é demonstrada na capacidade de separar picos próximos de metabólitos, é dependente da dispersão química (ppm) e FWHM. no campo magnético de 1,5 T; os picos são mais sobrepostos e largos e desse modo tendo

uma menor resolução, já em 3 T, a dispersão química maior e picos mais estreitos melhoram a resolução espectral, desse modo, também diferenciando metabólitos de baixa concentração, como por exemplo o mi e Lac

A importância da repetida consistência dos resultados entre exames repetidos, tanto em mesmos pacientes quanto em diferentes, leva a reprodutibilidade. Fatores que influenciam muito nessa aquisição são com relação a homogeneidade do campo magnético, precisão no posicionamento do voxel e qualidade do processamento espectral. Em equipamentos 3 T; apesar de uma melhor resolução e SNR, a reprodutibilidade pode ser afetada por ter uma maior sensibilidade às diferenças de campos magnéticos. Já em equipamentos 1,5 T; os espectros podem se apresentar com menor definição, mas é mais estável, levando a uma semelhança entre os diferentes exames e diferentes aparelhos, como observado na tabela 4 a seguir. Notando-se a importância da reprodutibilidade, há técnicas a fim de facilitar esse processo, entre eles ANOVA ou Kruskal-Wallis; ICC ou Bland-Altman e Pearson ou Spearman (Molloy et al, 2020; Viard et al, 2021).

Tabela 4 - Comparativo de técnicas utilizadas na reprodutibilidade quanto ao método.

Método	Objetivo	Quando usar
ANOVA ou Kruskal-Wallis	Reprodutibilidade entre grupos	Comparar médias entre diferentes plataformas ou condições
ICC ou Bland-Altman	Repetibilidade (mesma plataforma, medidas repetidas)	Avaliar consistência dentro de um mesmo grupo/aparelho
Pearson ou Spearman	Correlação entre plataformas	Avaliar associação dos valores entre diferentes equipamentos

Fonte: Autoria própria.

A análise comparativa dos espectros obtidos nos diferentes estudos analisados demonstrou que as diferenças mais significativas na ¹H-MRS são decorrentes da intensidade do campo magnético, enquanto as variações entre fabricantes diferentes, Siemens, Philips e GE, se mostraram pouco expressivas. Embora cada fabricante utilize configurações próprias de software e hardware, os padrões metabólicos gerais foram estáveis mostrando assim que os resultados da técnica apresentam solidez independentemente da marca do equipamento.

A principal diferença observada ocorre entre os campos magnéticos de 1,5T e 3T. Nos equipamentos de 3T, foi possível observar uma melhora significativa da relação sinal-ruído e da resolução espectral, o que possibilitou a distinção mais precisa de metabólitos presentes em menores concentrações, como o mi e o Lac. Essa vantagem técnica tem implicações clínicas relevantes, pois aumenta a precisão diagnóstica, sobretudo em tumores cerebrais, nos quais a caracterização metabólica detalhada ajuda tanto no diagnóstico quanto na definição de condutas terapêuticas.

No campo magnético de 1,5T, os espectros apresentaram boa aplicabilidade clínica, mas com limitações na identificação de metabólitos de baixa concentração e na separação de picos próximos. Ainda assim, foram capazes de demonstrar os padrões metabólicos clássicos, como a redução do NAA, relacionada à perda neuronal, e o aumento da Cho, marcador de proliferação celular. A Cr se manteve relativamente estável em ambos os campos, reafirmando sua confiança como metabólito de referência.

Esses achados reforçam que a escolha da intensidade de campo magnético exerce maior impacto na qualidade dos resultados do que a marca do equipamento. Em estudos ou na prática clínica de rotina, esse aspecto deve ser considerado, pois a padronização metodológica entre diferentes intensidades de campo é essencial para garantir a semelhança dos dados.

Portanto, embora as plataformas de diferentes fabricantes ofereçam desempenho semelhante, a seleção do campo magnético representa um fator crucial na definição da sensibilidade e da precisão diagnóstica da ¹H-MRS, especialmente em contextos oncológicos.

4. Considerações Finais

A ¹H-MRS se mostrou uma técnica consistente para a caracterização metabólica de tumores cerebrais, mostrando alterações que complementam a avaliação por imagem de ressonância magnética convencional. Os achados indicaram que as diferenças entre fabricantes são mínimas, enquanto a intensidade do campo magnético exerce papel central na definição da qualidade espectral e no diagnóstico.

Portanto, os equipamentos de 3T destacam-se por oferecer maior resolução e capacidade de identificar metabólitos de baixa concentração, ampliando o potencial clínico da técnica em relação aos de 1,5T. Essa constatação direciona a atenção para a necessidade de padronização metodológica entre diferentes campos magnéticos, especialmente em estudos multicêntricos. Contudo, com uma expectativa futura de melhorias, a inclusão de campos magnéticos mais elevados, como 7T, no uso da ¹H-MRS em exames diversos e ferramentas de inteligência artificial se mostram como caminhos promissores para expandir sua aplicação, aumentando a precisão diagnóstica e fortalecer seu papel sobre pacientes com tumores cerebrais.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à Coordenação do Curso de Biomedicina do Centro Universitário FMABC, na pessoa da Profa. Dra. Maria Aparecida Pinhal, Coordenadora do Curso, e da Profa. Dra. Carina Mucciolo Melo, Vice-Coordenadora, pelo apoio institucional, incentivo à pesquisa e constante compromisso com a formação científica e ética dos estudantes. Agradecemos também ao Prof. Dr. Renan Pelluzzi Cavalheiro, docente responsável pela disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), pela orientação acadêmica, dedicação e contribuição essencial para o desenvolvimento deste estudo. O suporte e a colaboração de todos foram fundamentais para a realização e conclusão deste trabalho.

Referências

- Cai, K., Tain, R. W., Zhou, X. J., Damen, F. C., Scotti, A. M., Hariharan, H., et al. (2017). Creatine CEST MRI for differentiating gliomas with different degrees of aggressiveness. *Molecular Imaging and Biology*, 19(2), 225–232. <https://doi.org/10.1007/s11307-016-1009-1>
- Chaumeil, M. M., Radoul, M., Najac, C., Eriksson, P., Viswanath, P., Blough, M. D., et al. (2016). Hyperpolarized ¹³C MR imaging detects no lactate production in mutant IDH1 gliomas: Implications for diagnosis and response monitoring. *NeuroImage: Clinical*, 12, 593–601. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2016.08.005>
- Dou, W., Zhang, M., Zhang, X., Li, Y., Chen, H., Li, S., et al. (2015). Convex-envelope based automated quantitative approach to multi-voxel ¹H-MRS applied to brain tumor analysis. *PLoS ONE*, 10(6), e0126830. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126830>
- El-Abtah, M. E., Wenke, M. R., Talati, P., Fu, M., Kim, D., Weerasekera, A., et al. (2022). Myo-inositol levels measured with MR spectroscopy can help predict failure of antiangiogenic treatment in recurrent glioblastoma. *Radiology*, 303(2), 328–336. <https://doi.org/10.1148/radiol.212134>
- Frank, S. M., Becker, M., Malloni, W. M., Sasaki, Y., Greenlee, M. W., & Watanabe, T. (2023). Protocol to conduct functional magnetic resonance spectroscopy in different age groups of human participants. *STAR Protocols*, 4(3), 102219. <https://doi.org/10.1016/j.xpro.2023.102219>
- Hangel, G., Niess, E., Lazen, P., Bednarik, P., Bogner, W., & Strasser, B. (2022). Emerging methods and applications of ultra-high field MR spectroscopic imaging in the human brain. *Analytical Biochemistry*, 642, 114510. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2022.114510>
- Huang, C., Peng, Y., Lin, E., Ni, Z., Lin, X., Zhan, H., et al. (2022). Adaptable singlet-filtered nuclear magnetic resonance spectroscopy for chemical and biological applications. *Analytical Chemistry*, 94(36), 12328–12335. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c02460>
- Ifa, D. R., Wu, C., Ouyang, Z., & Cooks, R. G. (2010). Desorption electrospray ionization and other ambient ionization methods: Current progress and preview. *Analyst*, 135(4), 669–681. <https://doi.org/10.1039/b925268k>
- Kim, M. M., Parolia, A., Dunphy, M. P., & Venneti, S. (2016). Non-invasive metabolic imaging of brain tumours in the era of precision medicine. *Nature Reviews Clinical Oncology*, 13(12), 725–739. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2016.121>

Molloy, A. R., Najac, C., Viswanath, P., Lakhani, A., Subramani, E., Batsios, G., et al. (2020). MR-detectable metabolic biomarkers of response to mutant IDH inhibition in low-grade glioma. *Theranostics*, 10(17), 7841–7855. <https://doi.org/10.7150/thno.46356>

Mukherjee, D., Trigo-Mouriño, P., Jiang, Y., Nowak, T., Shchurik, V., Adpressa, D. A., et al. (2022). Rapid antibody conformational screening by matrix-assisted laser desorption/ionization hydrogen-deuterium exchange mass spectrometry. *Journal of Separation Science*, 45(23), 4434–4443. <https://doi.org/10.1002/jssc.202200479>

Öz, G., Deelchand, D. K., Wijnen, J. P., Mlynárik, V., Xin, L., Mekle, R., et al. (2020). Advanced single voxel ¹H magnetic resonance spectroscopy techniques in humans: Experts' consensus recommendations. *NMR in Biomedicine*, 33(1), e4236. <https://doi.org/10.1002/nbm.4236>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *PLOS Medicine*, 18(3), e1003583. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003583>

Payne, G. S., Harris, L. M., Cairns, G. S., Messiou, C., de Souza, N. M., Macdonald, A., et al. (2016). Validating a robust double-quantum-filtered ¹H MRS lactate measurement method in high-grade brain tumours. *NMR in Biomedicine*, 29(2), 256–266. <https://doi.org/10.1002/nbm.3451>

Pereira, A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free ebook]. Santa Maria: Editora da UFSM.

Pól, J., Strohalm, M., Havlíček, V., & Volný, M. (2010). Molecular mass spectrometry imaging in biomedical and life science research. *Histochemistry and Cell Biology*, 134(5), 423–443. <https://doi.org/10.1007/s00418-010-0720-2>

Rabi, I. I., Zacharias, J. R., Millman, S., & Kusch, P. (1938). A new method of measuring nuclear magnetic moment. *Physical Review*, 53(4), 318–327. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.53.318>

Ranjith, G., Parvathy, R., Vikas, V., Chandrasekharan, K., & Nair, S. (2015). Machine learning methods for the classification of gliomas: Initial results using features extracted from MR spectroscopy. *Neuroradiology Journal*, 28(2), 106–113. <https://doi.org/10.1177/1971400915584979>

Saatchian, E., Ehsani, S., & Montazerabadi, A. (2023). Evaluation of two post-processing analysis methods of proton magnetic resonance spectroscopy in glioma tumors. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 13(2), 123–132. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2655>

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.07.039>

Steidl, E., Pilatus, U., Hattingen, E., Steinbach, J. P., Zanella, F., Ronellenfitsch, M. W., et al. (2016). Myoinositol as a biomarker in recurrent glioblastoma treated with bevacizumab: A ¹H-magnetic resonance spectroscopy study. *PLoS ONE*, 11(2), e0151390. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151390>

Viard, A., Eustache, F., & Segobin, S. (2021). History of magnetic resonance imaging: A trip down memory lane. *Neuroscience*, 474, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.07.009>