Imageamento por ressonância magnética nuclear: contexto histórico e a disputa pelo Nobel

Nuclear magnetic resonance imaging: historical context and the Nobel dispute

Dra. Júlia Pessanha Barros Souza - UENF
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2157-3775>
E-mail: julia_pb@yahoo.com.br

Dr. Carlos Eduardo Batista de Sousa - UENF
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5248-7733>
E-mail: cdesousa@uenf.br

Recebido em: 02/05/2022

Aceito em: 28/02/2023

Resumo

O desenvolvimento da ressonância magnética (IRM) é um tema controverso e ilustra parte da prática científica. Analisamos artigos, livros e patentes para entender o contexto histórico da descoberta da ressonância magnética e a disputa pelo Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003. O estudo é uma contribuição na perspectiva da História e da Filosofia da Ciência e pode avançar nos debates sobre o lado social da prática científica. Raymond Damadian, desempenhou um papel central na descoberta, mas foi excluído do prêmio. Avaliamos seu pioneirismo e o motivo de sua exclusão. Mais pesquisas sobre a descoberta do IRM são necessárias para esclarecer a discussão.

Palavras-chave: História e Filosofia da Ciência; Paul Lauterbur; Peter Mansfield; Raymond Damadian; Prêmio Nobel.

Abstract

The development of magnetic resonance imaging (MRI) is a controversial issue. It illustrates part of the scientific practice. We analyzed articles, books and patents to understand the historical context of MRI and the dispute for the 2003 Nobel Prize in Physiology or Medicine. The study is a contribution from the perspective of History and Philosophy of Science and it can advance debates about the social side of scientific practice. Raymond Damadian, played a central role in the discovery, but was excluded from the award. We evaluated its pioneering spirit and the reason for its exclusion. Further research concerning IRM's discovery is needed to shed light on the discussion.

Keywords: History and Philosophy of Science; Paul Lauterbur; Peter Mansfield Raymond Damadian; Nobel Prize.

Introdução

O contexto histórico do desenvolvimento da técnica de imageamento por ressonância magnética (IRM) remonta aos últimos 50 anos e possui conexão com a técnica de ressonância magnética nuclear (RMN), utilizada em pesquisas na área da Química e da Física. Os personagens envolvidos promoveram um debate a respeito do pioneirismo na produção da primeira imagem. A polêmica resultou em uma disputa, com versões conflitantes entre os envolvidos, pelo Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003.

De um lado, o médico Raymond Damadian, afirma ser o inventor da primeira máquina de IRM e produtor da primeira imagem do corpo humano. Por outro lado, há os cientistas laureados com o Nobel de Fisiologia ou Medicina em 2003, Paul Lauterbur e Peter Mansfield, pelas descobertas¹ relacionadas ao IRM. Neste contexto, surgem algumas indagações importantes: Damadian foi o primeiro a produzir uma imagem por ressonância magnética? Damadian poderia ter recebido o Nobel de 2003, juntamente com Lauterbur e Mansfield? O que está encoberto nessa trama?

Apresentamos um exame a partir de revisão bibliográfica baseada em artigos, livros e patentes dos cientistas envolvidos, bem como artigos e livros que discutem o contexto de desenvolvimento do IRM. Buscamos recompor e analisar o contexto histórico da trajetória do IRM. Fizemos uma reconstrução cronológica com personagens, histórias avaliadas e comparadas. Analisamos documentos envolvidos nas premiações dos Nobel de Física de 1943, 1944, 1952 e do Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003. A escolha dessa cronologia adveio das premiações relacionadas à técnica de RMN. Em suma, buscamos fatos que possibilitassem entendimento mais próximo da fidelidade em relação à originalidade das contribuições dos cientistas envolvidos no episódio do IRM e na disputa pelo Nobel de 2003.

O acesso aos artigos publicados pelos cientistas envolvidos foi alcançado pela biblioteca digital *Astrophysics Data System* (ADS), oferecida pela página *harvard.edu*. Artigos de origem secundária foram coletados por meio do portal *Periódicos CAPES*. Um livro autobiográfico escrito por Damadian e outro por Mansfield, foram fundamentais para a análise da reivindicação de Damadian referente ao Nobel de 2003. As obras biográficas foram indispensáveis para a comparação entre transcrições apresentadas em literatura secundária e os relatos escritos pelos próprios personagens.

Nossa abordagem visa apresentar o contexto histórico do desenvolvimento do IRM. Este trabalho intenta colaborar com futuras aplicações da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino. Deste modo, o material pode servir de base para estudar episódios históricos do progresso científico. Com isto em mente, buscamos desmistificar certa visão romantizada da ciência, e promover a divulgação científica condizente com a prática científica. A meta foi mostrar as características inerentes da prática científica (aspectos racionais e sociais) e compreender a construção do conhecimento científico² e o funcionamento da ciência, mediante análise de um episódio da história recente da Física, ainda pouco explorado. Contudo, entendemos que novos estudos sobre o episódio devem ser realizados, a fim de endossar a discussão sobre a importância histórica do IRM.

Relação entre o episódio de IRM e a HFC

O contexto do desenvolvimento da técnica de IRM é um episódio histórico recente, dentre outros, que pode ser aplicado para entender a construção do conhecimento científico e desenvolvimento da ciência, em especial, a Física. A partir desta perspectiva, é possível conter a propagação da chamada *visão romântica da ciência* (FRENCH, 2009). Isto é, um juízo da existência de cientistas superdotados que vivem isolados socialmente, com gostos excêntricos e que descobrem leis naturais como em um passe de mágica. A razão

1 Esclarecemos ao leitor que, ao abordar o termo *descoberta científica*, entendemos este fato como um processo complexo, resultante de construção coletiva, e não como um fato pertencente a uma única personagem (cf. Bagdonas; Zanetic; Gurgel, 2017).

2 Entende-se conhecimento científico como o resultante do trabalho e estudo coletivo dos cientistas. O que envolve normas rígidas, experimentação, replicação, confirmação, infirmação, consenso entre os pares, falibilidade, corrigibilidade, mudança, progresso gradual e cumulativo, e racionalidade (cf. FRENCH, 2009).

dessa distorção, possivelmente resulta da divulgação científica inadequada. Esta visão é, com frequência, transmitida por alguns professores que replicam em sala de aula os conteúdos que estão nos livros didáticos, que na grande maioria, ressaltam as leis e fórmulas matemáticas (MARTINS, 2006). Essa atitude leva a uma visão incompleta e distorcida da construção e evolução do processo científico (PRAIA; GIL-PÉREZ; VILCHES, 2007).

A História e Filosofia da Ciência permite uma contextualização e ilustração da natureza da ciência e da construção do conhecimento científico, e envolve até mesmo disputas e controvérsias (MARTINS, 2015; MATTHEWS, 2015). O contexto histórico apresentado juntamente com o desenvolvimento dos saberes científicos, no ensino, é o principal “meio de apresentar o processo de construção das ciências” (GURGEL, 2020, p. 346). Segundo Machado, Admiral e Caldas, “na busca de meios para se contextualizar o ensino e mostrar o processo de transformação da ciência, e em especial da Física, a História e a Filosofia da Ciência (HFC), têm sido indicadas como uma estratégia didática que pode trazer benefícios em vários níveis” (2019, p. 18).

A utilização da história da ciência no ensino é proposta pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A BNCC propõe não apenas a citação de nomes de cientistas para o ensino de ciências, mas a exposição da construção do conhecimento científico com “seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultura” (BRASIL, 2018, p. 550). Tais aspectos permitem a compreensão dos conceitos e métodos científicos, além de apresentar a integração e interdependência das realizações dos cientistas (MATTHEWS, 2015).

Segundo Duhem, este “é o melhor caminho, de fato o único, para dar àqueles que estudam física, uma visão correta e clara da organização real e altamente complexa desta ciência” (1954, p. 268 *apud* MATTHEWS 1991, p. 145, tradução dos autores³). Contudo, vale ressaltar que é fundamental que não seja ensinada uma história simplista, que transmite a ideia de que existe apenas uma visão de história, uma única verdade. É necessário lembrar que há visões e “divisões internalistas, externalistas, racionalistas, irracionais, dentre outras” (MATTHEWS, 1991, p. 148, TA).

É significativo trazer o conhecimento da HFC “como construção humana e não apenas como uma disciplina complexa, repleta de abstrações e com alto grau de precisão lógica, principalmente exigidos na resolução de problemas” (LIMA JUNIOR et al., 2017, p. 2). Isto auxilia na obtenção de uma visão mais abrangente e fiel sobre a construção do conhecimento científico e leva ao entendimento de que resulta de um longo processo coletivo. Diferentes pesquisadores e grupos de pesquisa formulam e testam hipóteses e teorias, inventam instrumentos de medição, e explicam determinados fenômenos naturais. O trabalho coletivo e consensual se transforma em conhecimento científico.

A utilização da HFC auxilia a desmistificar uma visão romântica da ciência, disseminada principalmente em livros didáticos (KUHN, 2017). Muitos manuais abordam contextos históricos de modo simplista. Isso faz com que a história da ciência pareça linear; “tendência que chega a afetar mesmo os cientistas que examinam retrospectivamente suas próprias pesquisas” (KUHN, 2017, p. 235).

Esse cenário é propício para a propagação de informações incompletas e interpretações distorcidas sobre a construção do conhecimento científico. Diante do exposto, o estudo de episódios do IRM é capaz de promover o debate e lançar luz nas histórias desconhecidas ou esquecidas. Além disso, pode servir de ilustração para se entender o processo de construção do conhecimento científico. Deste modo, é possível transmitir uma visão mais ampla e próxima da atividade científica.

A produção do conhecimento científico engloba aspectos sociais do trabalho de pesquisa ou o *modus operandi*, i.e., como cientistas interagem e justificam suas escolhas para explicar algum fenômeno ou invenção (FRENCH, 2009). A história de descobertas científicas geralmente ignora os meandros e bastidores ocultos. Há disputas, concorrência e artimanhas dentro do empreendimento científico que é, em última instância, um processo de interação social entre pares altamente treinados numa área científica (KUHN, 2017). Tais disputas nem sempre são resolvidas racionalmente. Pelo contrário, às vezes, envolvem argumentos de autoridade,

3 A partir desse momento, utilizaremos a sigla TA para “tradução dos autores”.

roubo de dados, abundância ou escassez de recursos, lugar na hierarquia do grupo social, país e instituto de pesquisa, dentre outros aspectos socioeconômicos que precisam ser levados em consideração quando se fala em descoberta científica (FEYERABEND, 2011).

Entendemos o episódio histórico do IRM como integrante do período de ciência normal, proposto por Kuhn (2017), caracterizado pelo progresso científico em torno da técnica de ressonância magnética. Esse cenário está envolto em pesquisas, disputas e progresso na área médica. Incluir o aspecto social e disputas internas entre cientistas, é importante, porque além de servir de motor para entender os meandros das pesquisas, serve para esclarecer os motivos de certos personagens serem laureados e outros ignorados.

A técnica de imageamento por ressonância magnética

O IRM está intimamente ligado à Ressonância Magnética Nuclear (RMN) e utiliza seus princípios de funcionamento. A RMN é uma técnica utilizada com diferentes finalidades. Na química, os espectros de RMN permitem a identificação de estruturas químicas, “mesmo moléculas simples produzem uma grande quantidade de informação espectral que pode servir para elucidar as suas estruturas químicas” (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002, p.411). Na bioquímica, pode ser utilizada para determinar a estrutura tridimensional de proteínas e peptídeos (NASCIMENTO; BLOCH JR., 2001). Na biotecnologia e agroindústria, a RMN pode ser aplicada para controle da qualidade de biocombustíveis e alimentos (COLNAGO; ANDRADE, 2016). Diferente da RMN, que gera espectros, o IRM possibilita a criação de uma imagem do interior do corpo humano de modo não invasivo. Na área médica, o IRM auxilia no diagnóstico de doenças e análises de casos cirúrgicos com maior precisão (AI et al., 2012).

Isso é possível porque o átomo de hidrogênio, que possui o maior momento magnético, apresenta núcleo simples e está presente em maior quantidade no corpo humano (MAZZOLA, 2009). Deste modo, o hidrogênio é mais sensível à ressonância magnética. Quando se fala na técnica que envolve o exame de ressonância magnética, o IRM, deve-se ter em mente que é a interação do átomo de hidrogênio com a radiação na frequência das ondas de rádio que produz o fenômeno de ressonância. As características da ressonância entre tecidos normais e tecidos patológicos são diferentes, o que auxilia a detecção de doenças (MAZZOLA, 2009).

O próton, assim como o elétron, devido à rotação em torno do seu próprio eixo, possui momento angular intrínseco, também conhecido como *spin*. As orientações do *spin* são quantizadas por estados discretos de energia e definidas pelo número quântico de *spin*. Para o hidrogênio, por exemplo, as possíveis orientações de *spin* são $1/2$ e $-1/2$ (SKOOG; HOLLER; NIEMAN, 2002). Por ser uma partícula carregada, o *spin* do próton gera um campo magnético, que imprime à partícula a característica de um pequeno ímã. Como o movimento do *spin* do hidrogênio é aleatório, essas propriedades magnéticas são anuladas. É por isso que o corpo humano não atrai nem repele materiais magnetizados. Na presença desse campo magnético, identifica-se o vetor momento magnético. Essa grandeza vetorial diz respeito à intensidade desse campo magnético, que se relaciona com o fenômeno de ressonância (NASCIMENTO; BLOCH JR., 2001).

Quando uma amostra (ou indivíduo) é imersa numa região de campo magnético $\mathbf{B}$ constante e intenso, os momentos de dipolo magnético da amostra serão alinhados com esse campo magnético, possuindo duas possíveis orientações: paralela e antiparalela (norte ou sul) (MAZZOLA, 2009). Entretanto, os prótons não ficam parados, continuam a realizar um movimento giratório semelhante a um pião, conhecido como precessão. Para que ocorra o fenômeno de ressonância e os sinais sejam detectados por bobinas, é necessária a aplicação de um segundo campo magnético $\mathbf{B}_1$. Pulsos na faixa de radiofrequência são aplicados por meio de corrente elétrica e criam um segundo campo magnético, perpendicular ao primeiro ($\mathbf{B}$) que altera o alinhamento dos spins. A frequência de tais pulsos está em fase com a frequência de Larmor, causando o fenômeno de ressonância (STOREY, 2006).

Com a aplicação dos pulsos de radiofrequência, há uma transferência de energia para que o *spin* – antes alinhado com o campo magnético constante $\mathbf{B}$ – sofra uma mudança de posição de acordo com a absorção

da energia recebida. Ao interromper esses pulsos, o sistema tende a retornar à sua posição original, emitindo pacotes de energia (sinais) com informações características (constituição, estrutura molecular, por exemplo), detectadas por bobinas (MAZZOLA, 2009). Esse processo é denominado decaimento livre da indução (COLNAGO; ANDRADE, 2016). A bobina detecta esse sinal no momento em que o spin retorna à posição anterior, e com o tratamento matemático das informações é gerada uma imagem. Com isso, emerge o imageamento por ressonância magnética. Tecidos com alterações devido a doenças ou traumas têm diferentes configurações por causa das propriedades magnéticas dos átomos de hidrogênio presentes no corpo. São estas diferenças que são capturadas pelo mapeamento por RMN, permitindo diagnósticos sobre a saúde do indivíduo.

Damadian, Lauterbur e Mansfield: Pioneiros do IRM

Após a consolidação da atual física quântica, diversos trabalhos foram desenvolvidos nessa área. A partir do entendimento sobre a estrutura eletrônica, esperava-se que dados referentes ao momento magnético do próton permitissem conhecimentos a respeito da estrutura nuclear (RABI; KELLOGG; ZACHARIAS, 1934). Com esse novo “horizonte”, as pesquisas desenvolvidas pelos cientistas: Otto Stern⁴, Isidor Rabi⁵, Edward Purcell e Felix Bloch⁶, estão interligadas com o desenvolvimento da técnica de RMN, e de certo modo com o IRM.

Com os trabalhos de Rabi, Bloch e Purcell, considera-se que a técnica de RMN foi estabelecida, e ainda hoje é utilizada em diversas áreas. Entendemos que as descobertas iniciais desses cientistas foram os primeiros passos que contribuíram para o desenvolvimento do IRM. Deste modo, enfatizamos que, para alcançar a técnica de IRM, o avanço científico que culminou no desenvolvimento da RMN foi fundamental. O IRM utiliza os princípios de funcionamento da RMN. Contudo, o resultado do IRM não são os dados espectrais, mas a produção de imagens tridimensionais amplamente utilizadas na medicina.

Ainda que os fundamentos físicos sejam semelhantes, a técnica de RMN e o IRM possuem finalidades distintas entre as ciências naturais e a medicina. Por isso, a partir deste momento, optamos por um salto cronológico e abordar os personagens que contribuíram para o desenvolvimento do IRM. A ênfase deste artigo são os bastidores da história do IRM, e por esta razão, descreveremos alguns detalhes das contribuições dos cientistas envolvidos. Dessa forma, fomentamos a discussão sobre o mérito ou não de Raymond Damadian receber o Nobel de 2003.

Habitualmente, os cientistas Paul Lauterbur e Peter Mansfield são indicados como pioneiros no desenvolvimento da técnica e obtenção do IRM (TANNUS, 1987; BATHISTA; COLNAGO, 2004; LUITEN, 1999; MAZZOLA, 2009). Contudo, o médico Raymond Damadian também é citado em algumas bibliografias como personagem ativo no episódio do desenvolvimento e produção de imagem por ressonância magnética (cf. KEVLES, 1997⁷; MACCHIA; TERMINE; BUCHEN, 2007; AI et al., 2012; KAUFFMAN, 2014). As descobertas de Mansfield e Lauterbur permitiram a ambos a divisão do Nobel de Fisiologia ou Medicina em 2003. Porém, Damadian não foi laureado e, desde então, reclama o reconhecimento de suas contribuições e seu mérito pelo Nobel.

Raymond Damadian formou-se em medicina pelo *Albert Einstein College of Medicine*, no Bronx, em 1960. Conheceu a técnica de RMN por meio de Freeman Widener Cope, que buscava estabelecer parceria

4 Nobel de Física de 1943 por sua contribuição ao desenvolvimento do método dos raios moleculares e descoberta do momento magnético do próton. As pesquisas de Stern influenciaram as pesquisas de Isidor Rabi e a descoberta da técnica de RMN.

5 Nobel de Física de 1944 por seu método de ressonância para registrar as propriedades magnéticas dos núcleos atômicos.

6 Edward Purcell e Felix Bloch dividiram o Nobel de Física de 1952 por suas contribuições com desenvolvimento de novos métodos para medições de precisão magnética nuclear. Os grupos de pesquisa de Purcell e Bloch eram independentes entre si, contudo, suas pesquisas estavam vinculadas às de Isidor Rabi.

7 Em 2002, Bettyann Kevles apresenta o mesmo contexto histórico do IRM, de forma sucinta, no capítulo 32 do volume 5 da coleção *The Cambridge History of Science* editada por Mary Jo Nye.

em uma pesquisa sobre a bactéria *Halobacterium Halobium*. Cope sugeriu a utilização da RMN para analisar sinais de íon potássio na membrana da bactéria (DAMADIAN, 2015). O trabalho de Damadian e Cope resultou no artigo *Cell Potassium by ³⁹K Spin Echo Nuclear Magnetic Resonance*, publicado na *Nature* (v. 228) em 1970. Segundo Damadian, a pesquisa publicada em 1970 “forneceu uma nova visão sobre a natureza física da água celular” (1971, p. 1151, TA). O artigo de 1970 foi significativo para Damadian, pois fomentou a ideia de utilizar a técnica de RMN para estudar tecidos tumorais em ratos.

Quando recém formado, Damadian trabalhou em experimentos com *Escherichia Coli* (DAMADIAN, 2015). Associando os conhecimentos que já possuía com os gerados pela pesquisa de Cope, Damadian suspeitava da hipótese de que alterações em cátions alcalinos poderiam indicar alterações em tecidos neoplásicos (DAMADIAN, 1971). O médico sugeriu, então, a aplicação da técnica de RMN para estudos com tecidos tumorais (DAMADIAN, 1971). Este foi o início de uma série de pesquisas que resultaram na construção do equipamento de IRM e na criação da empresa *FONAR (Field Focusing Nuclear Magnetic Resonance)*.

Em março de 1971, Damadian publicou seu primeiro artigo sobre a detecção de tumores por RMN na revista *Science* (v.171), intitulado: *Tumor Detection by Nuclear Magnetic Resonance*. Em seus experimentos, utilizou tecidos saudáveis de ratos para comparar os tempos de relaxação (T1 e T2) com tecidos afetados com Walker Sarcoma e Novikoff Hepatoma. (DAMADIAN, 1971). Para Damadian, sua hipótese foi confirmada, e conclui que os estudos:

indicam que os métodos de RMN podem ser usados para discriminar entre dois tumores malignos e uma série representativa de tecidos normais. Os resultados sugerem que esta técnica pode ser útil na detecção de tumores malignos. A possibilidade de que a RMN pudesse ser usada para a rápida discriminação entre espécimes cirúrgicos benignos e malignos também foi considerada. Os tempos de relaxação para dois tumores benignos (fibroadenomas) foram distintos daqueles dos tecidos malignos e foram os mesmos que os dos músculos (DAMADIAN, 1971, p. 1153, TA).

A partir de então, Damadian propôs um aparato que, transcorrido alguns anos, permitiu a detecção de patologias e a produção de imagens do interior do corpo de seres humanos. Em 1972, Damadian deu entrada na patente da sua invenção (U.S. n.º. 3.789.832), que foi concedida em 1974 (DAMADIAN, 1974). Segundo Kauffman, “esta foi a primeira patente na área do IRM” (2014, p. 82, TA). O equipamento tinha o tamanho suficiente para que uma pessoa pudesse se posicionar em seu interior para a realização do procedimento, sem necessidade de retirada cirúrgica do tecido a ser analisado. O princípio de detecção do câncer em seres humanos era semelhante ao aplicado nas amostras de ratos, contudo, diferente do que acontecia com os ratos, era possível fazer a análise com o ser humano vivo (DAMADIAN, 1974).

A detecção de câncer seria realizada a partir dos dados do tempo de relaxação T1, pelo método de decaimento de indução livre e, T2, pelo método livre de efeitos de difusão (DAMADIAN, 1974). Entretanto, a técnica para transformação das informações detectadas pelas bobinas em imagens não é citada na patente. Na descrição anexada a esta patente não havia informações de testes experimentais realizados em humanos, apesar de ser um equipamento para esse fim. Damadian continuou suas pesquisas e, em 1976, publicou junto com outros pesquisadores, um artigo que tratava sobre a obtenção da imagem de um tumor, agora em um rato vivo, por meio da ressonância magnética (DAMADIAN et al., 1976). Os autores apresentaram a imagem de um corte transversal do tórax de um rato. O IRM foi realizado em um rato vivo, e seu resultado foi comparado com a fotografia anatômica do corte transversal do tórax do mesmo rato (DAMADIAN et al., 1976).

Paralelamente a esse cenário, em 1971, o químico Paul Lauterbur atuava como professor na *State University of New York*, em *Stony Brook*. Entretanto, fazia parte de uma empresa, a *NMR Specialties*, que vendia e alugava espectrômetros de RMN (NOBEL PRIZE, 2003). Lauterbur já possuía conhecimentos sobre

a técnica de RMN⁸, contudo, seu “olhar” para o imageamento surgiu quando Leon Saryan realizou alguns procedimentos no laboratório da *NMR Specialties* (DAWSON, 2012). Saryan estava testando amostras de tecidos tumorais em ratos, pois fazia parte do grupo de Donald Hollis, que intencionava verificar a veracidade do estudo relatado por Damadian em seu artigo de 1971 (DAWSON, 2012).

Vale destacar que a *NMR Specialties* entrou em falência em maio de 1971 e Lauterbur aceitou o cargo de diretor (DAWSON, 2012). Em seu discurso, durante a semana de premiação do Nobel de 2003, Lauterbur afirmou ter presenciado os procedimentos experimentais realizados por Saryan:

A certa altura, um colega pós-doutorando no seu laboratório, Leon Saryan, trouxe alguns dos animais para a pequena empresa na Pensilvânia ocidental que tinha realizado o trabalho anterior de Damadian. Ali, os ratos foram sacrificados e dissecados e as amostras de tecido estudadas pela RMN. Por acaso, eu estava presente para observar todo o processo, por razões descritas noutros locais, e, como químico não normalmente envolvido em experiências com animais, achei-os bastante desagradáveis. [...] as diferenças nos sinais de RMN de um tecido para outro, tanto normais, como doentes, pareciam robustas nas experiências que observei. Eu pensei que eles poderiam ser realmente reproduzíveis e úteis, especialmente se as intensidades do sinal, os tempos de relaxação, etc., pudessem ser medidos de fora do corpo vivo com resolução espacial suficiente (LAUTERBUR, 2003, p. 246, TA).

Pode-se inferir que esse momento foi o ponto de partida para as pesquisas de Lauterbur com o imageamento. Podemos inferir também que Damadian, mesmo de modo indireto, impulsionou as pesquisas de Lauterbur. Cronologicamente, Damadian foi o primeiro a detectar as diferenças no tempo de relaxação de tecidos normais e patológicos, motivando a experimentação presenciada por Lauterbur. Logo, o interesse de Lauterbur em utilizar a ressonância magnética em seres vivos e alcançar um imageamento, é posterior ao de Damadian.

Em 1973, Lauterbur, publicou um artigo na *Nature* (v.242), e apresentou uma técnica que permitiu a produção de uma matriz de imagem de tubos capilares com água pura. Os tubos eram inseridos primeiramente em um cilindro com óxido de deutério e, posteriormente, em sulfato de manganês, sendo capaz de gerar uma construção bidimensional (LAUTERBUR, 1973). Um gradiente, que localiza o sinal detectado no espaço, é representado por uma projeção unidimensional. A combinação de diversos gradientes, “obtida pela rotação do objeto em torno de um eixo perpendicular à direção do gradiente”, permite a construção de uma representação em duas dimensões (LAUTERBUR, 1973, p. 190, TA). Lauterbur classifica essa projeção em duas dimensões como imagem.

A técnica utilizada, nomeada *zeugmatography*, consiste em detectar sinais dos prótons utilizando dois campos magnéticos. Segundo Lauterbur, o nome da técnica tem origem na palavra grega *zeugma*, que quer dizer “aquilo que é usado para juntar” (1973, p. 190, TA). A imagem apresentada por Lauterbur é oriunda da junção de diversas projeções, daí a analogia com o nome *zeugmatography*. Em sua conclusão, Lauterbur, sugere a aplicação do trabalho para análise de tecidos tumorais, referenciando uma publicação de 1972 na *Science* (v.178) de Irwin Weisman e colaboradores. Deste modo, Lauterbur afirma que:

uma possível aplicação de considerável interesse neste momento seria o estudo in vivo de tumores malignos, que demonstraram dar sinais de ressonância magnética nuclear de prótons com tempos de relaxação de ciclo de spin-água muito mais longos do que aqueles em tecidos normais correspondentes (1973, p. 191, TA).

É desconhecido o motivo que leva Lauterbur a referenciar o trabalho de 1972 de Weisman e colaboradores e não citar o artigo de Damadian de 1971. Uma vez que este é referenciado no início do artigo de Weisman

8 Durante o doutorado, na *University of Pittsburgh*, Lauterbur pesquisara a respeito da estrutura eletrônica das moléculas utilizando espectroscopia de ressonância magnética nuclear com carbono 13 (DAWSON, 2012, p. 6).

e colaboradores, e que também possui relação com análise de tecidos tumorais por RMN. Salientamos que a pesquisa de 1971 de Damadian despertou a visão de Lauterbur para a utilização da RMN na detecção de câncer. Portanto, o trabalho de Damadian está subentendido na descoberta de Lauterbur, porém, subdimensionado ou ignorado.

Assim como Lauterbur, porém de modo independente, Peter Mansfield, doutor em Física em 1962 pelo *Queen Mary College*, também contribuiu com pesquisas sobre o IRM. Durante sua pós-graduação, já trabalhava com a ressonância magnética em sólidos (MANSFIELD, 2013). Entre 1962 e 1964, fez pós-doutorado na *University of Illinois* em Urbana, mantendo sua linha de pesquisa. No verão de 1964 recebeu uma proposta de Raymond Andrew para ocupar uma posição no departamento de física, em Nottingham. Contudo, na mesma época, Mansfield foi para Nova York fazer algumas entrevistas, intencionando alcançar um emprego na Inglaterra para retornar à sua nação de origem. Escolheu ir para o *National Physical Laboratory* (MANSFIELD, 2013).

Mansfield continuou suas pesquisas em sólidos e, no verão de 1972, em uma conversa com Peter Grannell (um de seus alunos de pós-graduação) e o pós-doutorando Allan Garroway, surgiu a ideia de realizar experimentos usando um gradiente de campo magnético (MANSFIELD, 2013). Dessa forma, as linhas espectrais seriam ampliadas, o que possibilitaria um estudo mais detalhado da estrutura subatômica (MANSFIELD, 2003). O grupo liderado por Mansfield desenvolveu a ideia, que resultou em uma apresentação no *First Specialized Colloque Ampère* em 1973.

Durante a apresentação, Mansfield foi questionado se tinha conhecimento do trabalho desenvolvido por Lauterbur publicado na *Nature* (v.242) no mesmo ano⁹ a respeito de imagens de tubos com líquidos, obtidas por meio da ressonância magnética (MANSFIELD, 2013). O artigo em questão denominava-se: *Image Formation by Induced Local Interaction: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance* (LAUTERBUR, 1973). O motivo do questionamento era a harmonia entre o artigo de Lauterbur e a teoria da apresentação. Mansfield respondeu que: “não tinha conhecimento de nenhum trabalho semelhante e não tinha visto o artigo na *Nature*. De fato, não era um periódico que eu lia regularmente” (MANSFIELD, 2013, p. 109, TA).

Em 1973, Mansfield e Peter Grannell, em uma carta ao *Journal of Physics C: Solid State Physics* abordam sobre projeções unidimensionais a partir de experimento com ressonância magnética (MANSFIELD; GRANNELL, 1973). Entretanto, não citam o trabalho de Lauterbur (1973) e Damadian (1971), corroborando a afirmativa de não terem conhecimento a respeito de tais pesquisas. Isso também reforça que as pesquisas de Mansfield e Lauterbur eram independentes umas das outras. Em 1974, em uma carta ao editorial do mesmo periódico (v.7), Garroway, Grannell e Mansfield relatam sobre um método capaz de produzir imagens em duas e três dimensões, e referenciam o artigo de Lauterbur de 1973.

O experimento apresentado consistia em uma análise dos prótons de uma amostra de água localizada no interior de um anel cilíndrico (GARROWAY; GRANNELL; MANSFIELD, 1974). Os autores utilizaram um gradiente de campo estático com a finalidade de mensurar as variações dos sinais espaciais da densidade do spin. A densidade de spin é calculada pela transformada de Fourier, e a distribuição de densidade do spin é obtida a partir da rotação do gradiente ou da amostra a 90° (GARROWAY; GRANNELL; MANSFIELD, 1974). Como resultado, os autores apresentaram uma imagem em duas dimensões. A partir desse trabalho, em 1975, Garroway, Grannell e Mansfield deram entrada em uma patente (U.S. n° 4.021.726) que foi concedida em 1977 (GARROWAY; GRANNELL; MANSFIELD, 1977).

Ainda em 1975, Grannell e Mansfield publicaram um artigo, submetido no ano anterior, no qual abordavam a utilização de RMN para obter dados de um dedo humano. O experimento foi realizado com o dedo mínimo da mão esquerda de Grannell (GRANNELL; MANSFIELD, 1975). Os autores concluíram indicando que a RMN podia ser utilizada em pacientes vivos para análise de fraturas ósseas, tal como a técnica de raio-x, entretanto a RMN possuía risco reduzido de radiação (GRANNELL; MANSFIELD, 1975).

9 O artigo de Lauterbur foi publicado em julho de 1973, e a conferência ocorreu entre 28 de agosto e 1 de setembro do mesmo ano.

Em março de 1977, Mansfield e seu aluno Andrew Maudsley publicaram um experimento com ressonância e apresentaram o que consideraram a imagem da falange média, do dedo médio de Maudsley. Segundo os autores, seria possível identificar artérias e nervos e, com maior resolução da imagem, haveria possibilidade de fazer medições de fluxo sanguíneo (MANSFIELD; MAUDSLEY, 1977).

No dia 03 de julho de 1977, Damadian afirma ter obtido a imagem do tórax de um ser humano com seu aparato de IRM. Segundo Damadian (2015), a primeira tentativa de obter a imagem ocorrera em 24 de junho, quando ele próprio se posicionou em seu equipamento. Outras tentativas foram iniciadas às 23:45 h do dia 02 de julho, e finalizadas às 4:35 h do dia 03 de julho (DAMADIAN, 2015). O experimento resultou na primeira imagem do tórax humano por meio de ressonância magnética. Segundo Damadian, era possível visualizar “coração, pulmões, aorta, câmara cardíaca e parede torácica” (2015, cap. 5, p. 47, TA). Os pesquisadores focalizavam pontos por meio do sinal do hidrogênio e realizavam as rotações a fim de obter a imagem (DAMADIAN, 2015). Os pontos focalizados foram anotados manualmente, e estavam de acordo com a imagem que aparecia na tela de um computador.

No dia 06 de julho, ainda em 1977, Damadian, Goldsmith e Minkoff enviaram um artigo para o periódico *Physiological Chemistry and Physics*, intitulado *NMR in Cancer: XVI. FONAR Image of the Live Human Body*. Os autores comunicaram a obtenção da primeira imagem *in vivo* de um ser humano por meio da ressonância magnética (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977). O artigo expõe um breve resumo a respeito do primeiro experimento de Damadian com ressonância (de 1971); e da imagem obtida a partir de um rato vivo (de 1976). Os autores apontam também o experimento de Mansfield e Maudsley (publicado em março de 1977) sobre a imagem de um dedo humano (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977).

Antes da experimentação em seres humanos, um tórax simulado foi construído para testar o equipamento (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977). Deste modo, no interior de um cilindro de 13 polegadas e meia, foram colocados três tubos de cinco, três e uma polegada envoltos em água dopada com cloreto de níquel, simulando o pulmão (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977).

Além da publicação na *Physiological Chemistry and Physics*, em maio de 1978, Damadian e colaboradores publicaram no periódico *Naturwissenschaften* (v.65). O artigo apresenta a imagem do tórax humano obtida em 1977 (DAMADIAN et al., 1978). Resultados desse trabalho e outros experimentos¹⁰ estão presentes na patente U.S. nº 4.354.499, cuja entrada foi dada em 20 de novembro de 1978 e a concessão obtida em 19 de outubro de 1982 (DAMADIAN, 1982). Damadian apresenta o esquema do equipamento e o procedimento para o imageamento. Apesar de não citar a participação de Minkoff, uma das imagens na patente é idêntica à utilizada no artigo de 1978, bem como no livro de sua autoria, *Gifted Mind* (2015), o que indica tratar-se da imagem do tórax de Minkoff.

O primeiro experimento descrito na patente U.S. nº 4.354.499 versa sobre o ensaio realizado com Minkoff, em que foi utilizada uma indução magnética de 500 gauss por meio de um padrão de grade em torno do peito do indivíduo (DAMADIAN, 1982). O oscilador foi ajustado para uma frequência de 2,18 MHz e no decorrer do experimento, o corpo era movido no plano X-Z (DAMADIAN, 1982). O sinal de ressonância era detectado por bobinas e transmitido para o espectrômetro. Um computador *Data General* processava os dados e armazenava os valores de intensidades (DAMADIAN, 1982). Após uma varredura, era produzida uma imagem, a partir dos dados armazenados no computador, que foi exibida em uma tela com 16 cores, onde cada “cor corresponde a uma intensidade diferente, variando de branco para amarelo, vermelho, azul e preto; sendo o branco correspondente a intensidade máxima” (DAMADIAN, 1982, p. 13, TA).

No segundo experimento, um ser humano com câncer no pulmão esquerdo foi posicionado (horizontalmente) em um aparato, similar ao utilizado no primeiro experimento (DAMADIAN, 1982). A diferença da execução do primeiro para o segundo imageamento está na posição do paciente, que agora fica na horizontal. No primeiro experimento, a varredura de sinais foi realizada movimentando-se o paciente. Entretanto, no

10 Na patente U.S. nº 4.354.499, Damadian explora três experimentos, dos quais trataremos nesse artigo apenas sobre o primeiro e o segundo, por envolverem o imageamento.

segundo, o feixe de radiação foi movimentado a 180°, resultando em uma imagem que permitiu a visualização do pulmão afetado por câncer no lado esquerdo (DAMADIAN, 1982).

Damadian já havia discutido sobre o imageamento de um ser humano saudável e o de um paciente afetado pelo câncer em 1980, no artigo *Field Focusing n.m.r. (FONAR) and the Formation of Chemical Images in Man*. O artigo de 1980 apresenta uma perspectiva histórica, abordando sua ideia em utilizar a ressonância magnética na área médica, desde o primeiro experimento com tecidos tumorais de ratos, em 1971, até alcançar o imageamento em seres humanos. Damadian cita os trabalhos realizados por Lauterbur e Mansfield, mas deixa clara a convicção de ser ele mesmo o pioneiro na utilização da ressonância em medicina quando afirma:

A primeira proposta para escaneamento por RMN em diagnósticos médicos foi feita por Damadian (1971a; 1972) e seguida por Lauterbur (1973). [...] O exame de RMN para diagnóstico médico foi proposto pela primeira vez em 1971 (Damadian 1971a). O rápido desenvolvimento desta ideia desde a sua primeira concepção por Damadian em 1969 até a sua realização prática final nas máquinas de escaneamento de corpos fazendo sua aparição em nosso Laboratório (Damadian et al. 1977, 1978) e outras ao redor do mundo (Mansfield et al., 1978; Mallard et al., 1979) reflete seu compromisso médico (DAMADIAN, 1980, p. 489, TA).

É possível inferir que Damadian estava ciente de que outros cientistas se posicionavam como pioneiros na utilização da ressonância na área médica e na obtenção da primeira imagem. Contudo, ele não concorda com tais afirmações. Em 1980 Damadian, produziu a primeira máquina comercial de exame de IRM, e em 1985,

o scanner de ressonância magnética FONAR da Universidade da Califórnia em Los Angeles Medical Center se tornou a primeira máquina de ressonância magnética do mundo a ser usada para realizar cirurgias intervencionistas. Nesse mesmo ano, a FONAR lançou o primeiro scanner de ressonância magnética móvel do mundo (KAUFFMAN, 2014, p. 85, TA).

Até o ano de 2020, Raymond Damadian em colaboração com a FONAR, estava em atividade e lançava patentes de equipamentos no âmbito do IRM (cf. DAMADIAN, 2020). Damadian faleceu em 03 de agosto de 2022 aos 86 anos (SANDOMIR, 2022; MURPHY, 2022). Seu filho, Timothy Damadian, atua desde 2016 como presidente da FONAR, dando continuidade ao legado do pai (SANDOMIR, 2022). Os títulos dos obituários publicados pelos renomados jornais *The New York Times* e *The Washington Post* expressam o pioneirismo de Damadian no contexto do IRM¹¹. O que reforça a necessidade de discussão sobre o tema.

É fato que a técnica de IRM avança de modo a permitir imagens em alta definição do corpo humano, completamente diferente das primeiras imagens. Vale ressaltar que cientistas ao desenvolverem suas pesquisas, geralmente não expõem seus dados ao público em geral e costumam manter em sigilo os estudos. No caso em análise, havia o envolvimento de patentes e potenciais ganhos financeiros. Como dito antes, nosso objetivo é fornecer uma visão histórica do desenvolvimento da técnica de IRM. Tal episódio científico está envolto em disputas. Deste modo, daremos outro salto cronológico, a fim de discutir a disputa pelo Nobel de 2003.

Raymond Damadian deveria ter sido incluído no Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003?

No dia 07 de outubro de 2003, o jornal *The New York Times* fez uma publicação sobre a premiação do Nobel de Fisiologia ou Medicina, destinado a Lauterbur e Mansfield naquele ano:

11 *Raymond Damadian, Creator of the First M.R.I. Scanner, Dies at 86* (SANDOMIR, 2022). *Raymond Damadian, who created first MRI machine, dies at 86* (MURPHY, 2022).

O prêmio Nobel de medicina deste ano foi concedido a dois pioneiros do imageamento por ressonância magnética [...] Os destinatários são Paul C. Lauterbur, da Universidade de Illinois, e Sir Peter Mansfield, da Universidade de Nottingham, na Inglaterra. Os pesquisadores adotaram uma técnica química para estudar soluções e a desenvolveram de maneira a produzir imagens do corpo, que, aparentemente, é em grande parte água. Ao contrário dos tomógrafos, que usam radiação, a ressonância magnética examina o corpo apenas com campos magnéticos e pulsos de ondas de rádio (WADE, 2003a, TA).

Após quatro dias, o mesmo redator transcreveu a fala de Damadian contestando o prêmio: “durante 30 anos da minha vida, esperei por algum momento de reivindicação, disse o Dr. Damadian. Acordar na segunda-feira de manhã e ver que eu tinha sido eliminado da história é uma agonia com a qual não posso viver” (WADE, 2003b, TA).

Constatamos que poucas são as fontes¹² que tratam da reivindicação do Damadian quanto ao Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003. Entretanto, com base nos relatos autobiográficos de Damadian e Mansfield e, a partir de verificação e comparação de evidências documentais de datas de artigos, patentes e literatura secundária, é possível avaliar de modo generalizado, o mérito de Damadian receber ou não do Nobel de 2003.

Em seus escritos anteriores ao Nobel de 2003, Damadian já se intitulava como o primeiro a alcançar o imageamento de um ser humano vivo por meio da ressonância magnética. Um exemplo são as afirmações contidas em seu artigo de 1977, publicado em conjunto com Goldsmith e Minkoff no qual relatavam “a conquista pela FONAR das primeiras imagens de RMN do corpo humano vivo, uma visualização transversal através do tronco ao nível da oitava vértebra torácica” (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977, p. 97, TA). Após descreverem de modo sucinto o experimento, os autores finalizam o artigo declarando que: “assim, concluímos a primeira imagem química do corpo humano, iniciando uma nova era na medicina” (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977, p. 100, TA).

Anos após a premiação do Nobel de 2003, Damadian ainda afirma ser o primeiro a realizar o imageamento do corpo de um ser humano vivo. Ademais, em seu livro *Gifted Mind*, Damadian declara:

Logo depois que construímos com sucesso o *Indomitable* e realizamos a primeira varredura do corpo humano vivo, soubemos sobre um contratempo que Lauterbur estava relatando sobre seu próprio esforço para construir um scanner de tamanho humano e obter a primeira imagem do corpo humano vivo. Lauterbur relatou que as dimensões do ímã que o fabricante havia enviado a ele tinham um tamanho de furo muito pequeno para escanear um ser humano. Por causa do meu artigo na *Science*, que originou a idéia de um scanner médico de RMN de corpo inteiro, recebemos um informe de Lauterbur sobre a entrega de um ímã com tamanho inadequado para digitalizar um ser humano adulto. Ele relatava, após o anúncio público de nossa conquista com o *Indomitable* pela primeira varredura (imagem) do corpo humano, a admissão que ele não conseguira realizar efetivamente essa tarefa hercúlea. De fato, até onde sabemos, essa foi uma tarefa gigantesca que Lauterbur nunca realizou, mesmo após o relato da primeira imagem do corpo humano de RMN em Larry Minkoff – “Mink 5”. Nenhuma imagem do corpo humano ou de uma criança de menor dimensão que acomodasse a dimensão de seu ímã jamais foi publicada (pelo melhor que sabemos) por Lauterbur (2015, cap. 5, p. 50-51, TA).

É perceptível e compreensível o desconforto de Damadian por ter sido excluído do Nobel de 2003, e sua necessidade de relatar sua versão da história do IRM. Confrontando a biografia de Damadian (2015), os escritos biográficos de Mansfield (2013), os artigos de Macchia e colaboradores (2007), e os de Kauffman (2014), é possível notar que houve questionamentos por parte de Damadian e também de outros cientistas a respeito do Nobel de 2003. Para Macchia, Termine e Buchen,

12 Ainda mais escassas em língua portuguesa.

parece não haver razão científica válida para que o Damadian tenha sido excluído, especialmente porque apenas 2, e não os 3 prêmios permitidos, foram concedidos. Acreditamos que a omissão de Damadian é um desserviço à comunidade científica, à história da ciência, ao Damadian, à *SUNY Downstate Medical School* e ao povo do Brooklyn (2007, p. 785, TA).

Kauffman (2014) considera uma injustiça o ocorrido com Damadian, em virtude de suas contribuições e desenvolvimento com a medicina.

Ao analisar as publicações de Lauterbur e Mansfield apontadas aqui, nota-se que, além de conceitos teóricos, há muitos desenvolvimentos de cálculos, o que é escasso nos artigos de Damadian. Essa diferença de abordagem é reflexo da formação dos cientistas. Habilitados em química e física, respectivamente, Lauterbur e Mansfield possuem formação fundamentada em cálculo, sendo natural que esta linguagem apareça com frequência em seus escritos. Por sua vez, Damadian, por ter habilitação em medicina, possui uma formação menos enfatizada na matemática. Apesar disso, “não há dúvida de que a descoberta seminal de Damadian precedeu os desenvolvimentos de Lauterbur” (KAUFFMAN, 2014, p. 87, TA).

Confrontando os artigos publicados pelos três pesquisadores e os documentos de patentes, é possível afirmar, sem hesitação, que Damadian é, de fato, o primeiro a sugerir a utilização da ressonância magnética como meio de diagnosticar câncer em humanos. Esta proposta está na patente de Damadian (U. S. nº 3.789.832), segundo a qual, é objetivo da invenção: “prover aparelho e método para a detecção de câncer em humanos, sem que o tecido seja removido cirurgicamente, e pode ser realizado com as sondas totalmente externas ao corpo do humano que está a ser examinado” (DAMADIAN, 1974, p. 4, TA). Damadian também é o pioneiro no imageamento do corpo humano vivo.

A data de entrada da primeira patente de Damadian é 17 de maio de 1972, sendo concedida em 5 de fevereiro de 1974. Portanto, a sugestão de Damadian no que diz respeito ao uso da ressonância como exame não invasivo em seres humanos é anterior ao artigo de Lauterbur (1973), *Image Formation by Induced Local Interaction*. O artigo foi recebido pela *Nature* no dia 30 de outubro de 1972 e publicado em 16 de março de 1973. Vale ressaltar novamente que em sua carta ao Nobel, Lauterbur afirma que foi a partir dos experimentos realizados por Saryan que surgiu o interesse pela utilização da ressonância com finalidades médicas. Contudo, Lauterbur não faz referência ao trabalho de Saryan, nem ao de Damadian em seu artigo de 1973.

Os trabalhos de Mansfield, envolvendo o imageamento, também são subsequentes aos de Damadian. O primeiro trabalho de Mansfield, que relacionava imagens unidimensionais utilizando transformada de Fourier, foi em 1973, por ocasião de sua apresentação junto com Grannell, Garroway, e Stalker no *First Specialized Colloque Ampère* (MANSFIELD, 2003, p. 266). A carta ao editor, intitulada *Image Formation in NMR by a Selective Irradiative Process*, apresenta imagens uni e bidimensionais foi publicada em 1974 e foi recebida pelo periódico em 09 de outubro do mesmo ano. Portanto, as duas publicações, tanto de Lauterbur, quanto as de Mansfield, são de datas posteriores à publicação de Damadian sobre os tecidos tumorais em ratos e de seu pedido de patente (US nº 3.789.832) do aparato para detectar e produzir imageamento do corpo humano por meio de ressonância magnética.

O parágrafo quarto do estatuto do Prêmio Nobel permite a divisão entre até três laureados, desde que a obra tenha sido reproduzida por essas três pessoas (NOBEL STATUTE, [s.d.]). Ao analisar a perspectiva histórica do IRM, o questionamento e a reivindicação de Damadian é justificável. Reiteramos que, de acordo com as datas de artigos e patentes, Damadian, de fato, foi o primeiro a sugerir a utilização da ressonância com objetivos de diagnósticos na área médica, e o primeiro a dar entrada em uma patente acerca de um aparato de imageamento. Damadian construiu um aparato e posicionou um ser humano em seu interior, obtendo ao final de quatro horas e meia de varredura, a primeira imagem do tórax de um ser humano vivo.

O Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003 foi concedido por “descobertas relativas ao imageamento por ressonância magnética”. Explorando-se o contexto histórico do imageamento, e ressaltando que trata-se de um prêmio de medicina, nota-se que Damadian possui as credenciais que permitem sua indicação e, até

mesmo honraria, haja vista sua trajetória com o IRM e sua sugestão da utilização da técnica para fins médicos. Por conseguinte, diante do exposto, sugerimos que, do ponto de vista do mérito, Damadian deveria ter sido premiado juntamente com Lauterbur e Mansfield.

Entretanto, para ser elegível para a premiação, é necessário ser indicado por terceiros (auto indicação não é permitida), e os critérios de elegibilidade são baseados na publicação de obras de contribuição pertinente para a ciência (NOBEL STATUTE, [s.d.]). Segundo Licio, “com o passar do tempo, houve uma tendência a serem reconhecidos trabalhos de origem prática ou experimental, em detrimento de trabalhos considerados teóricos” (2018, p. 26). Essa tendência expõe o caráter subjetivo da premiação, que acaba por ser influenciada por interesses políticos, ideológico e proveito próprio dos membros do comitê de seleção. Há, ainda que implícita na seleção, uma relação entre a nacionalidade e os indicados à premiação. Em sua grande maioria, os laureados são originários dos Estados Unidos e países da Europa Central (PITELLA, 2009).

As informações sobre a avaliação e decisão para escolha do(s) contemplado(s) devem ser mantidas em sigilo durante 50 anos após a premiação (NOBEL STATUTE, [s.d.]). Essa regra protege a premiação, para que não haja recurso contra a decisão do comitê de premiação, protegendo os envolvidos na escolha (PITELLA, 2009). Deste modo, ainda não há conhecimento da motivação que levou o comitê a não conceder o prêmio a Damadian. Especula-se que tenha sido seu comportamento atípico, acrescido de suas crenças criacionistas (MACCHIA; TERMINE; BUCHEN, 2007).

A discussão sobre o Nobel de Fisiologia ou Medicina de 2003, possivelmente ressurgirá em 2053. Contudo, apenas o acesso a documentações contendo informações das indicações e decisão do comitê serão suficientes para esclarecer o caso do Damadian? Sabe-se que aspectos sociais, culturais, econômicos e políticos, direta ou indiretamente, influenciam na decisão da escolha do(s) laureado(s) (PITELLA, 2009). Portanto, é necessário que alguns questionamentos continuem a ser investigados: Damadian de fato foi indicado para a premiação? Quem ou quais pessoas o indicaram (em caso afirmativo para o questionamento anterior)? Quais e quem eram os cientistas que compunham o comitê? Ainda há muitas questões em aberto, o que estimula a exploração desse tema em pesquisas futuras.

Considerações finais

Conforme descrito, há uma lacuna na literatura sobre o tema e narrativas históricas a respeito do contexto de desenvolvimento da técnica de imageamento por ressonância magnética, cuja aplicação e aperfeiçoamento continuam a avançar tecnologicamente. As obras, em geral, ressaltam conceitos técnicos altamente abstratos e de formulação matemática complexa, dificultando a compreensão por parte do público não-especializado.

A técnica de IRM e suas aplicações é um progresso científico, mas a história e os personagens enredados estão envoltos numa disputa que também reflete fatores sociais e econômicos que afetam a ciência. O episódio relatado neste artigo expõe o processo de desenvolvimento da técnica de IRM. Há a parte racional e técnica, que envolve cálculos e experimentação. A outra parte, não-racional, descortina o aspecto social revelando a concorrência e competição entre os personagens para sobressair e levar os louros pela descoberta.

Conhecer o desenvolvimento científico é também conhecer os caminhos percorridos pelas sociedades, assim, “compreender a ciência, suas práticas, sua história e até mesmo as razões e os motivos que configuraram as suas imagens filosóficas corresponde a conhecer a sociedade e o mundo em que vivemos” (VIDEIRA, 2004, p. 292). Portanto, a utilização de episódios históricos da ciência no ensino permite que o aluno compreenda como ocorre a prática científica e a transformação de seu conteúdo ao longo do tempo (RODRIGUES JUNIOR et al., 2015). Assim, é possível evitar uma visão distorcida da existência de cientistas geniais e alienados à sociedade. Além disso, lança um olhar crítico e mais integrado sobre a ciência. O caso abordado neste artigo ilustra um exemplo de disputa dentro da comunidade científica, uma ocorrência comum no desenvolvimento da ciência.

O contexto de desenvolvimento da ciência pode ser inserido por meio de estudo de caso histórico, como é proposto por Hygino e colaboradores (2018). Contextualizar os aspectos históricos da ciência no ensino, favorece para um olhar crítico e mais completo sobre o processo de construção do conhecimento científico. Isso evita a apresentação de histórias anacrônicas e que privilegiam “apenas os personagens mais famosos de determinado episódio, mostrando ainda a história dos vencedores” (POLATI; DIAS; ZANETIC, 2017). Consequentemente, integrar aspectos históricos ao ensino de ciências pode proporcionar uma visão sobre a dinâmica da atividade científica, com caráter crítico sobre o papel das ciências na sociedade.

Outro modo de inserir a discussão de aspectos históricos e de desenvolvimento da ciência é por meio da utilização de narrativas históricas, proposto por Schiffer e Guerra (2019). Os autores enfatizam que é “importante destacar elementos associados às práticas científicas do episódio histórico” (SCHIFFER; GUERRA, 2019, p. 109). Segundo Schiffer e Guerra, por meio da narrativa histórica, será possível motivar a discussão sobre o processo de construção do conhecimento científico, bem como possibilitar que o aluno entenda a atividade de leitura e escrita como parte da prática científica (2019).

Os episódios históricos proporcionam a compreensão da natureza da ciência e construção do conhecimento científico, pois “insere o aluno no contexto em que foi produzido o conhecimento” (RODRIGUES JUNIOR et al., 2015, p. 799). Alguns cenários são mais explorados que outros no ensino de Física, tal como a discussão do sistema geocêntrico e heliocêntrico. Contudo, temas recentes, como o imageamento por ressonância magnética também podem ser explorados com sucesso, favorecendo o entendimento a respeito da construção do conhecimento científico como um empreendimento social, coletivo e racional.

A inserção de estudos em HFC é importante para os membros da comunidade científica, pois amplia o conhecimento e exercita o raciocínio crítico. Tal proposta, serve também para esclarecer o contexto de descoberta científica como um processo complexo e de construção coletiva, e não como um fato realizado por uma única pessoa e ocorrido em uma única data (BAGDONAS; ZANETIC; GURGEL, 2017). Ademais, pode servir como meio de divulgação para entendimento público da ciência. Isso permite o diálogo entre cientistas e não-cientistas, e expõe ao público leigo como a ciência é feita, seus meandros, sua racionalidade própria, evitando também a ideia de uma ciência linear.

Apresentar uma ciência linear, com ordem cronológica rígida é uma das críticas feitas por Kuhn (2017). Kuhn buscou apresentar a ciência tal como ela é; um empreendimento coletivo e social cujas características envolvem aspectos não tão nobres como ignorar, silenciar e deturpar atores ativos e necessários para o desfecho positivo: a descoberta científica (FEYERABEND, 2011). Os cientistas são atores sociais ativos e sofrem dos mesmos vieses que leigos incorrem. A ciência é realizada por pessoas com crenças, peculiaridades, desejos, interesses, vieses e limitações. Estas propriedades impactam no resultado final: a descoberta e avanço científico. Uma descoberta científica, geralmente é celebrada pela comunidade e entra para a história, contudo, os movimentos de bastidores e meandros que levaram a tal descoberta, frequentemente permanecem ocultos.

Visto isso, este texto apresenta subsídios para o conhecimento da história do IRM, e visa abrir caminhos para reflexões futuras. Reconhecemos a necessidade de aprofundamento em subsídios que tratem sobre as etapas e processo de seleção para a premiação do Nobel, permitindo o cruzamento de fontes primárias. As diversidades culturais, assim como as diferentes nacionalidades influenciam na exploração e interpretação de uma narrativa histórica, proporcionando diversos olhares e ênfases (POLATI; DIAS; ZANETIC, 2017). Deste modo, sugerimos a continuação de pesquisas em torno do contexto histórico do IRM, a fim de esclarecer a controvérsia do Nobel de 2003 e outras premiações.

Ao estudar a história da evolução da técnica de IRM, é perceptível a pluralidade de cientistas envolvidos, direta ou indiretamente. Não há poucos nomes a serem apontados, ainda que haja premiações, como o Nobel, por exemplo, com indicações de nomes específicos de cientistas. Diversas são as pesquisas realizadas e descobertas relevantes. Não é factível afirmar que apenas um cientista ou um grupo restrito seja merecedor de tal nomeação. Assim como ilustrado no episódio do IRM, os progressos na ciência são frutos de longos anos de estudos e acúmulo de conhecimento científico.

O Nobel de 2003 ilustra a falta de reconhecimento do mérito de um cientista credenciado e pioneiro envolvido em pesquisas com o imageamento por ressonância magnética. As principais contribuições de Damadian foram: (1) sugerir o uso da ressonância magnética para detecção de câncer (DAMADIAN, 1971); (2) desenvolver um aparato possibilitando a produção de uma espécie de imagem do interior do corpo humano, a fim de auxiliar no diagnóstico de doenças (DAMADIAN, 1974); (3) produzir imagens do interior do corpo humano por meio de ressonância (DAMADIAN; GOLDSMITH; MINKOFF, 1977; DAMADIAN et al., 1978; DAMADIAN, 1982); (4) comercializar as primeiras máquinas de ressonância magnética para fins médicos (KAUFFMAN, 2014).

Apesar disso, Damadian não foi laureado com o Nobel, prêmio de reconhecimento máximo da colaboração de um cientista em determinada área da ciência. Raymond Damadian contribuiu até o ano de 2020 (ver patente U. S. nº 10.791.957B1 de 2020), para a evolução da medicina na detecção de tumores e no imageamento do corpo humano.

Em nossa visão, Damadian poderia ser incluído no Nobel ao lado de Lauterbur e Mansfield. Assentimos o posicionamento de Macchia, Termine, Buchen, (2007) e Kauffman, (2014) que, devido as crenças religiosas e a fatores sociais, Damadian foi rechaçado. Devido aos regulamentos do Nobel, apenas em 2053 será permitido o acesso às atas das indicações da premiação de 2003. Deste modo, fica um questionamento: em 2053 será possível compreender a motivação da exclusão de Damadian? Esperamos que sim.

Nosso trabalho consiste em uma contribuição inicial para o desenrolar do contexto histórico do IRM, abrindo possibilidade para que este episódio seja utilizado no ensino e história das ciências e, para que novas pesquisas sejam realizadas. Além de instigar mais pesquisas sobre o tema, em particular, a próxima geração de estudiosos da HFC, que poderá acessar os documentos do Nobel a partir de 2053.

A ciência é uma realização humana e, portanto, possui em seu seio, características tipicamente humanas como cooperação, competição, inveja, entre outras. O caso histórico do IRM e da premiação do Nobel de 2003 evidencia aspectos da natureza humana, e mostra que a ciência não está livre de influências sociais e econômicas. A ciência *enquanto* uma realização racional, coletiva, falível, revisável e corrigível, poderia, em tese, reverberar a ideia de reverter a decisão do Nobel de 2003 e incluir Damadian. Mas este ato não é permitido pelo estatuto. Contudo, a história pode ser escrita de modo justo e honrar a dedicação de Damadian no desenvolvimento do IRM, técnica amplamente empregada no diagnóstico de doenças. Um avanço para progresso humano. Por hora, aguardamos a liberação de acesso aos arquivos para dar continuidade a essa análise.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- AI, Tao. et al. A historical overview of magnetic resonance imaging, focusing on technological innovations. *Investigative Radiology*, v. 47, n. 12, p. 725–741, dez 2012.
- BATHISTA, André Luis; COLNAGO, Luiz Alberto. *Elementos históricos de ressonância magnética nuclear*. São Carlos, 2004. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/ea000238.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2018.
- BAGDONAS, Alexandre; ZANETIC, João; GURGEL, Ivã. Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 2, p. e2602-1–e2602-14, jan. 2017.
- BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Base Nacional Comum Curricular*. 2018 Disponível em:<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wpcontent/uploads/2018/12/BNCC_19dez2018_site.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2021.
- COLNAGO, Luiz Alberto; ANDRADE, Fabiana Diuk de Andrade. RMN no domínio do tempo fundamentos e aplicações offline e inline. In: RESENDE, Rodrigo Ribeiro. (Org.). *Biotechnologia aplicada à agro&indústria: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Blucher Ltda., 2016. cap. 12, p. 439–470.
- DAMADIAN, Raymond. Tumor detection by nuclear magnetic resonance. *Science*, v. 171, n. 3976, p. 1151–1153, 19 mar. 1971.
- DAMADIAN, Raymond. *Apparatus and method for detecting cancer in tissue*. Depositante: Raymond Vahan Damadian. U. S. n° 3.789.832. Depósito: 17 de março de 1972. Concessão: 5 de fevereiro de 1974. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US3789832A/en>>. Acesso em: 12 nov. 2020
- DAMADIAN, Raymond. et al. Field focusing nuclear magnetic resonance (FONAR): visualization of a tumor in a live animal. *Science*, v. 194, n. 4272, p. 1430–1432, 24 dez. 1976.
- DAMADIAN, Raymond. et al. Field-focusing nuclear magnetic resonance (FONAR): formation of chemical scans in man. *Naturwissenschaften*, v. 65, n. 5, p. 250–252, 1 maio 1978.
- DAMADIAN, Raymond. Field focusing n.m.r. (FONAR) and the formation of chemical images in man. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, v. 289, n. 1037, p. 489–500, 25 jun. 1980.
- DAMADIAN, Raymond. *Gifted Mind: the Dr. Raymond Damadian story, inventor of the MRI*. United States: Master Books, 2015. 240 p.
- DAMADIAN, Raymond.; GOLDSMITH, Michael; MINKOFF, Lawrence. NMR in cancer: XVI. FONAR image of the live human body. *Physiological Chemistry and Physics*, v. 9, n. 1, p. 97–100, 108, 1977.
- DAMADIAN, Raymond. *Apparatus and method for nuclear magnetic resonance scanning and mapping*. Depositante: Raymond Vahan Damadian. U. S. n° 4.354.499. Depósito: 20 de novembro de 1978. Concessão: 19 de outubro de 1982. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US4354499A/en>>. Acesso em: 12 nov. 2020
- DAMADIAN, Raymond. *Magnetic resonance imaging*. Depositante: Raymond Vahan Damadian. U. S. n° 10.791.957B1. Depósito: 09 de novembro de 2006. Concessão: 06 de outubro de 2020. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US10791957B1/en?q=US10791957>>. Acesso em: 12 nov. 2020
- DAWSON, Joan. Biographical memoirs: Paul Lauterbur 1929-2007. *National Academy of Sciences*. 2012. Disponível em: <<http://www.nasonline.org/publications/biographical-memoirs/memoir-pdfs/lauterbur-paul.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2018.
- FEYERABEND, Paul. *Contra o método*. Tradução: Cezar Augusto Mortari. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2011. 373 p.
- FRENCH, Steven. *Ciência: conceitos-chave em filosofia*. Tradução: André Klaudat. Porto Alegre: Artmed Editora, 2009. 156 p.
- GARROWAY, Allan; GRANNELL, Peter; MANSFIELD, Peter. Image formation in NMR by a selective irradiative process. *Journal of Physics C: Solid State Physics*, v. 7, n. 24, p. L457–L462, dez. 1974.
- GARROWAY, Allan; GRANNELL, Peter; MANSFIELD, Peter. *Image formation using nuclear magnetic resonance*. Depositante: National Research Development Corporation. U. S. n° 4.021.726. Depósito: 4 de setembro de 1975. Concessão: 3 de maio de 1977. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US4021726/en>>. Acesso em: 12 nov. 2020
- GRANNELL, Peter; MANSFIELD, Peter. Microscopy in vivo by nuclear magnetic resonance. *Physics in Medicine and Biology*, v. 20, n. 3, p. 477–482, maio 1975.

- GURGEL, Ivã. Reflexões político-curriculares sobre a importância da história das ciências no contexto da crise da modernidade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 333-350, ago. 2020.
- HYGINO, Cassiana. et al. Análise de um estudo de caso histórico produzido por professores de ciências: Landell de Moura, as ondas de rádio e a fibra ótica. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*, [S. l.], n. extraordin, 2018.
- KAUFFMAN, George. Nobel prize for MRI imaging denied to Raymond V. Damadian a decade ago. *The Chemical Educator*, v. 19, p. 73–90, mar. 2014.
- KEVLES, Bettyann. A subtler slice: magnetic resonance imaging. In: KEVLES, Bettyann (Org.) *Naked to the bone: medical imaging in the twentieth century*. Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press, 1997. p. 173–200.
- KUHN, Thomas Samuel. *A estrutura das revoluções científicas*. Tradução: Beatriz Vianna Boeira; Nelson Boeira. 13. ed. São Paulo: Editora Perspectiva S.A., 2017. 323 p.
- LAUTERBUR, Paul. Image formation by induced local interactions: examples employing nuclear magnetic resonance. *Nature*, v. 242, n. 5394, p. 190–191, mar. 1973.
- LAUTERBUR, Paul. *All science is interdisciplinary: from magnetic moments to molecules to men*. Nobel Lecture. p. 245-251. 2003. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/lauterbur-lecture.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2018.
- LICIO, José Guilherme. *Prêmio Nobel: palestras oficiais sob a perspectiva da ciência integral*. 2018. p. 22-30. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2018.
- LIMA JUNIOR, José Gidauto dos Santos, et al. A história da ciência como estratégia metodológica no ensino aprendizagem de física. *Scientia Plena*, v. 13, n. 1, p. 1–11, jan. 2017.
- LUITEN, Andre. Magnetic resonance imaging: a historical introduction. In: VLAARDINGERBROEK, Marinus T.; BOER, Jacques A. (Org.). *Magnetic resonance imaging: theory and practice*. 2. ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. p. 1–8.
- MACCHIA, Richard; TERMINE, Jack; BUCHEN, Charles. Raymond V. Damadian, M.D.: magnetic resonance imaging and the controversy of the 2003 nobel prize in physiology or medicine. *The Journal of Urology*, v. 178, n. 3, p. 783–785, set. 2007.
- MACHADO, Cassiana; ADMIRAL; Tiago; CALDAS, Renata. Do conhecimento a prática: inserção da história da ciência no mestrado em ensino de física. *Com a Palavra, o Professor*, v. 4, n. 8, p. 16-34, jan-abr. 2019.
- MANSFIELD, Peter. *Snap-shot MRI*. Nobel Lecture. p.266-283. 2003. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/mansfield-lecture.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2018.
- MANSFIELD, Peter. *The long road to Stockholm: the story of magnetic resonance imaging - an autobiography*. United Kingdom: Oxford University Press, 2013. 241 p.
- MANSFIELD, Peter; GRANNELL, Peter. NMR “diffraction” in solids? *Journal of Physics C: Solid State Physics*, v. 6, n. 22, p. L422–L426, nov. 1973.
- MANSFIELD, Peter; MAUDSLEY, Andrew. Medical imaging by NMR. *The British Journal of Radiology*, v. 50, n. 591, p. 188–194, mar. 1977.
- MARTINS, André Ferrer. Natureza da ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, p. 703-737, dez. 2015.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In: SILVA, Cibelle Celestino (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2006. p. xxi–xxxiv.
- MATTHEWS, Michael. Un lugar para la historia y la filosofía en la enseñanza de las ciencias. *Comunicación, Lenguaje y Educación*. n. 11-12, p. 141-155, 1991.
- MATTHEWS, Michael. History of Science in the Curriculum and in Classrooms. In: MATTHEWS (Org.) *Science Teaching The Contribution of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 2015, p.106-112; 140-141.
- MAZZOLA, Alessandro. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 3, n. 1, p. 117–129, 2009.
- MURPHY, Brian. Raymond Damadian, who created first MRI machine, dies at 86. *The Washington Post*. Washington, 18 ago. 2022. Disponível em: <<https://www.washingtonpost.com/obituaries/2022/08/18/damadian-mri-creator-dies/>>. Acesso em: 05 out. 2022.

NASCIMENTO, Cláudia; BLOCH, Carlos. Ressonância magnética nuclear: grandus primus*. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, n. 21, p. 52–61, 2001.

NOBEL STATUTE. *Statutes of the Nobel Foundation*. 1895. Nobel Prize. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/about/statutes-of-the-nobel-foundation/>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

NOBEL PRIZE. *Paul C. Lauterbur – Facts*. 2003. The Nobel Prize in physiology or medicine 2003. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2003/lauterbur/facts/>>. Acesso em: 8 set. 2018.

PITELLA, José Eymard. O processo de avaliação em ciência e a indicação de Carlos Chagas ao prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, v. 42, n. 1, p. 67-72, fev. 2009.

POLATI, Flávia; DIAS, Valéria; ZANETIC, João. A disciplina *Gravitação* no curso de licenciatura em física da USP: objetivos e fundamentos de uma proposta guiada pela história e filosofia da ciência. *Khronos, Revista de História da Ciência*, n. 4, p. 72-83, ago. 2017.

PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; VILCHES, Amparo. O papel da natureza da ciência na educação para a cidadania. *Ciência & Educação (Bauru)*, v. 13, n. 2, p. 141–156, ago. 2007.

RABI, Isidor; KELLOGG, John; ZACHARIAS, Jerrold. The Magnetic Moment of the Proton. *Physical Review*, v. 46, n. 3, p. 157-163, 1934.

RODRIGUES JUNIOR, Edmundo. et al. Implicações didáticas de história da ciência no ensino de Física: uma revisão de literatura através da análise textual discursiva. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 32, n. 3, p. 769-808, dez. 2015.

SANDOMIR, Richard. Raymond Damadian, creator of the first M.R.I. scanner, dies at 86. *The New York Times*. New York, 17 ago. 2022. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2022/08/17/science/raymond-damadian-dead.html>>. Acesso em: 05 out. 2022.

SCHIFFER, Hermann; GUERRA, Andreia. Problematizando práticas científicas em aulas de física: o uso de uma história interrompida para se discutir ciência de forma epistemológica-contextual. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 19, p. 95-127, jan.-dez. 2019.

SKOOG, Douglas; HOLLER, F. James; NIEMAN, Timothy. Espectroscopia de ressonância magnética nuclear. In: SKOOG; HOLLER; NIEMAN (ed.) *Princípios de análise instrumental*. Tradução: Iñez Caracelli et al. 5. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002. p. 399–439.

STOREY, Pippa. Introduction to magnetic resonance imaging and spectroscopy. In: PRASAD, Pottumarthi. (Org.). *Magnetic resonance imaging: methods and biologic applications*. New Jersey: Humana Press, 2006. p. 3–9.

TANNUS, Alberto. *Desenvolvimento da tecnologia de tomografia por ressonância magnética nuclear*. 1987. 227 f. Tese (Doutorado em Física Aplicada) – Instituto de Física e Química de São Carlos, USP, São Paulo, 1987. p. 12-21.

VIDEIRA, Antonio. Transdisciplinaridade, interdisciplinaridade e disciplinaridade na história da ciência. *Scientiae Studia*. v. 2, n. 2, p. 279-293, 2004.

WADE, Nicholas. American and briton win nobel for using chemists' test for M.R.I.s. *The New York Times*. New York, 7 out. 2003 a. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2003/10/07/us/american-and-briton-win-nobel-for-using-chemists-test-for-mri-s.html>>. Acesso em: 20 maio. 2020.

WADE, Nicholas. Doctor disputes winners of nobel in medicine. *The New York Times*. New York, 11 out. 2003 b. Disponível em: <<https://www.nytimes.com/2003/10/11/us/doctor-disputes-winners-of-nobel-in-medicine.html>>. Acesso em: 20 maio. 2020.