INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

VANESSA KOVALSKI

SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL INSTRUTIVO PARA CAPACITAÇÃO DE MILITARES DAS FORÇAS AUXILIARES

FLORIANÓPOLIS, 2025

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA

VANESSA KOVALSKI

SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL INSTRUTIVO PARA CAPACITAÇÃO DE MILITARES DAS FORÇAS AUXILIARES

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Tecnóloga em radiologia.

Professora Orientadora: Carolina Neis Machado, Dra.

FLORIANÓPOLIS, 2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca do IFSC.

Kovalski , Vanessa
SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL INSTRUTIVO PARA CAPACITAÇÃO DE MILITARES DAS FORÇAS AUXILIARES / Vanessa Kovalski ; orientadora, Carolina Neis Machado, 2025.
99 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Graduação em Radiologia, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Radiologia. 2. Segurança . 3. Ressonância magnética . 4. Capacitação para militares . I. Machado, Carolina Neis. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Graduação em Radiologia. III. Título.

VANESSA KOVALSKI

SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL INSTRUTIVO PARA CAPACITAÇÃO DE MILITARES DAS FORÇAS AUXILIARES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Tecnóloga em Radiologia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, 17 de julho de 2025.

gov.br Documento assinado digitalmente
CAROLINA NEIS MACHADO
Data: 23/07/2025 08:02:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Carolina Neis Machado, Dra.

Orientadora

Instituto Federal de Santa Catarina

gov.br Documento assinado digitalmente
ALEXANDRE D AGOSTINI ZOTTIS
Data: 25/07/2025 13:17:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Alexandre D Agostini Zottis, Dr.

Instituto Federal de Santa Catarina

gov.br Documento assinado digitalmente
ANDREA HUHN
Data: 23/07/2025 12:49:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Andrea Huhn, Dra.

Instituto Federal de Santa Catarina

gov.br Documento assinado digitalmente
MURILO AUGUSTO GALDINO DE SOUZA
Data: 23/07/2025 10:00:09-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Murilo Augusto Galdino de Souza, Sargento.

Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABMRS - Conselho Americano de Segurança em Ressonância Magnética

ACR - Colégio Americano de Radiologia

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

B0 - Campo magnético principal

C - Celsius

dB - Decibéis

EUA - Estados Unidos da América

FDA - Food and Drug Administration

FNS - Fibrose nefrogênica sistêmica

G - Gauss

H - Hidrogênio

IA - Inteligência artificial

IN - Instrução normativa

IRM - Imagem por Ressonância Magnética

kg - Quilograma

l - Litros

PM - Polícia militar

RDC - Resolução da diretoria colegiada

RF - Radiofrequência

RM - Ressonância Magnética

RMf - Ressonância Magnética funcional

SAR - Taxa de absorção específica

SIL - Sinal de indução livre

T - Tesla

T1 - Relaxamento longitudinal

T2 - Relaxamento transversal

W - Watt

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alinhamento paralelo e antiparalelo dos prótons……..17

Figura 2 - Movimento de precessão dos prótons……17

Figura 3 - Retorno do vetor de magnetização ao estado de equilíbrio……...19

Figura 4 - classificação de segurança para dispositivos implantados…….26

Figura 5 - Zonas I, II, III e IV de um setor de ressonância magnética…….27

Figura 6 - arma presa ao equipamento de Ressonância Magnética…….29

Figura 7 - arma presa ao equipamento de ressonância após ser atraída……..30

Figura 8 - enceradeira presa ao equipamento de ressonância magnética…….31

Figura 9 - homens presos entre o cilindro de oxigênio e o equipamento de Ressonância Magnética……32

Figura 10 - capa do e-book……39

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é dedicado a Deus, por todas as oportunidades que me foram concedidas e por ter permitido que o sonho da graduação se tornasse realidade.

Aos meus pais, Lisete e Leonides, que desde os meus primeiros passos caminham ao meu lado. Que tantas vezes andaram sob o sol para que eu pudesse andar na sombra, e que, mesmo diante da distância física, jamais deixaram de estar presentes. A vocês, minha eterna gratidão por todo o amor, apoio e carinho.

Ao meu namorado, Elias, por ser presença constante em todos os momentos, especialmente nos mais difíceis. Por me oferecer apoio incondicional, acreditar em mim quando eu mesma duvidei, e por todo o carinho, paciência e força que me sustentaram ao longo desta caminhada.

Aos meus avós, Anália, Tereza e Miguel, que, mesmo sem saberem, são minha maior fonte de inspiração e motivo de perseverança. Toda conquista minha carrega consigo a esperança de vê-los sorrindo com orgulho. Ao querido vô Lauro, que partiu durante o percurso, mas que permanece vivo em minha memória, com sua alegria e ensinamentos.

À minha orientadora, Carolina, por sua dedicação, paciência, disponibilidade e atenção durante todo o processo. Aos demais professores e ao IFSC, por todo ensinamento e suporte prestados sempre que necessário.

Aos amigos conquistados durante a graduação, pelo companheirismo, pelas risadas, pelas conversas sinceras e por transformarem os desafios acadêmicos em experiências mais leves e divertidas. Levo comigo cada lembrança com carinho.

Por fim, agradeço a toda a minha família, pela base sólida que me proporcionou, pelo amor que nunca faltou e pela torcida silenciosa, mas sempre presente, a cada nova etapa vencida.

RESUMO

A segurança em ambientes de Ressonância Magnética (RM) exige atenção rigorosa não apenas de profissionais da saúde, mas também de Militares das Forças Auxiliares, frequentemente envolvidos em situações emergenciais nesses locais. Este estudo teve como objetivo desenvolver um material instrutivo em formato digital (e-book), voltado à capacitação de Militares quanto aos riscos e normas de segurança em setores de RM. Trata-se de uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e caráter bibliográfico, fundamentada em diretrizes nacionais e internacionais, como as da ANVISA e do Colégio Americano de Radiologia.O conteúdo do e-book foi organizado em três capítulos principais: histórico da radiologia e da RM; formação da imagem, funcionamento do equipamento, riscos e acidentes relacionados à prática; e legislação e normativas vigentes. Casos reais de acidentes foram incluídos para ilustrar os perigos do campo magnético, como o efeito míssil. A ferramenta escolhida para o design do material foi a plataforma Canva®, visando acessibilidade e atratividade. O produto final conta com linguagem clara, visual didático e adaptado ao perfil profissional dos militares.Diante da escassez de materiais instrutivos voltados a esse público acerca do tema abordado, a produção do e-book representa um avanço relevante para a democratização do conhecimento e prevenção de acidentes em RM, podendo ser aplicado em capacitações formais ou treinamentos institucionais.

Palavras-chave: Imageamento por Ressonância Magnética; Militares; capacitação profissional; segurança ocupacional.

ABSTRACT

Safety in Magnetic Resonance Imaging (MRI) environments requires rigorous attention not only from healthcare professionals, but also from Military Personnel of the Auxiliary Forces, who are frequently involved in emergency situations in these locations. This study aimed to develop an instructional material in digital format (e-book), aimed at training Military Personnel on the risks and safety standards in MRI sectors. This is an applied research, with a qualitative approach and bibliographic character, based on national and international guidelines, such as those of ANVISA and the American College of Radiology. The content of the e-book was organized into three main chapters: history of radiology and MRI; image formation, equipment operation, risks and accidents related to the practice; and current legislation and regulations. Real accident cases were included to illustrate the dangers of the magnetic field, such as the missile effect. The tool chosen for the design of the material was the Canva® platform, aiming at accessibility and attractiveness. The final product uses clear language, is educational and is adapted to the professional profile of military personnel. Given the scarcity of instructional materials aimed at this audience on the topic addressed, the production of the e-book represents a significant advance in the democratization of knowledge and prevention of MRI accidents, and can be applied in formal training or institutional training.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging; Military personnel; professional training; occupational safety.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 10
1.1 Objetivo geral..... 13
1.2 Objetivos específicos..... 13
2 REVISÃO DA LITERATURA..... 14
2.1 Imagem por Ressonância Magnética (IRM)..... 14
2.2 Equipamento e formação da imagem em IRM..... 15
2.2.1 Processo físico da Ressonância Magnética..... 16
2.2.2 Aplicação do pulso de radiofrequência (RF)..... 18
2.2.3 Relaxação longitudinal e transversal (T1 e T2)..... 18
2.2.4 Formação da imagem..... 20
2.3 Riscos em Ressonância Magnética..... 20
2.3.1 Gradiente de campo..... 21
2.3.2 Radiofrequência (RF)..... 21
2.3.3 Líquidos criogênicos..... 23
2.3.4 Meios de contraste a base de gadolínio..... 24
2.3.5 Campo magnético..... 25
2.4 Acidentes envolvendo o efeito míssil na ressonância magnética..... 28
2.4.1 Arma de policial militar arremessada contra o magneto (2015)..... 28
2.4.2 Mulher baleada pela própria arma nos EUA (2023)..... 29
2.4.3 Arma de policial à paisana é atraída pelo equipamento de ressonância magnética..... 30
2.4.4 Enceradeira fica presa a equipamento de Ressonância Magnética.. 31
2.4.5 Homem fica preso entre um cilindro de oxigênio e o magneto por mais de 4 horas (2014)..... 32
2.4.6 Cilindro de oxigênio atraído pelo magneto causa morte de acompanhante (2018)..... 33
2.4.7 Trauma ocular e fratura orbital causada pelo efeito míssil..... 33
2.5 Legislação acerca da Segurança em Ressonância Magnética..... 34
3 METODOLOGIA..... 36
3.1 Delineamento da pesquisa..... 36
3.2 Aspectos éticos..... 38
4 RESULTADOS..... 39
5 DISCUSSÃO..... 42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 45
REFERÊNCIAS..... 46
APÊNDICES..... 50

1 INTRODUÇÃO

A Ressonância Magnética é um método de diagnóstico por imagem que vem se difundindo cada vez mais no meio médico. Sua grande capacidade de diferenciar tecidos moles como cérebro e músculos, além da sua abundância no que se refere às partes do corpo passíveis de serem estudadas, avaliando tanto critérios anatômicos, quanto fisiológicos com uma alta resolução espacial e diferentes contrastes é o que torna esse método de diagnóstico tão relevante para a sociedade. Dentre todos esses benefícios, um dos mais pertinentes é que essa técnica diagnóstica não utiliza radiação ionizante assim como fazem outros métodos de diagnóstico por imagem como a tomografia computadorizada. A mesma utiliza de outra propriedade física que é estabelecida como campo magnético. (Mazzola, 2009; Vidotto *et al.*, 2023)

O campo é produzido pelo equipamento de Ressonância Magnética clínica que tem em sua composição primária um imã principal, bobinas de gradiente, bobinas de radiofrequência e um sistema operacional. O campo magnético forte é produzido por meio de uma corrente elétrica que passa por fios feitos de uma liga especial, imersos em hélio líquido. O hélio permite que os fios fiquem em uma temperatura muito baixa, eliminando a resistência elétrica e permitindo a supercondutividade. Em virtude desse feito, o campo magnético necessário para a formação da imagem é gerado. A intensidade deste campo é medida em tesla (T), comumente variando entre 1,5 T e 3 T para uso clínico. (Azhar, *et al*., 2023)

A imagem por Ressonância Magnética (IRM) é adquirida a partir da interação dos prótons do corpo com o intenso campo magnético e ondas de radiofrequência produzidas pelo equipamento. De forma mais específica, esse processo aproveita das propriedades magnéticas naturais de prótons específicos como o hidrogênio (H) que também é um dos mais abundantes no corpo humano, o que facilita o processo de magnetização. Quando essa gama de prótons que geralmente estão presentes em moléculas de H2O é exposta ao campo magnético, os núcleos de hidrogênio são alinhados na mesma direção do campo, em seguida um pulso de radiofrequência é aplicado fazendo

com que os prótons de hidrogênio mudem de posição, e ao voltarem ao seu estado de equilíbrio por meio do processo de relaxação longitudinal ou transversal apresentam por consequência as ponderações T1 e T2 evidenciando na imagem gordura e água, respectivamente.(Mazzola, 2009; Vidotto *et al.*, 2023)

Contudo, apesar de não apresentar perigos envolvendo a exposição à radiação ionizante, que é a fonte mais comum de risco quando se trata de métodos de diagnóstico por imagem, a IRM apresenta muitas outras fontes de riscos que não são popularizadas mas que já levaram tanto profissionais quanto pacientes à morte. Dentre as origens desses riscos estão o gradiente de campo devido ao alto ruído que produz; a radiofrequência, pela maneira que deposita sua energia em forma de calor podendo causar queimaduras; líquidos criogênicos, em razão de sua baixa temperatura tendo potencial de ocasionar graves queimaduras por congelamento ou mesmo a substituição do ar ambiente por eventuais vazamentos; meios de contraste à base de Gadolínio, devido a possíveis reações adversas e, por fim, o intenso campo magnético. (Mazzola *et al.*, 2019)

O campo magnético é uma das fontes de risco que mais causa acidentes em um setor de IRM, seja por não apresentar afinidade com alguns tipos de materiais e dispositivos que possam estar em funcionamento no corpo das pessoas, ou devido ao seu forte poder de atração no que diz respeito a objetos com propriedades ferromagnéticas como ferro, cobalto e níquel, por exemplo. Isso pode levar ao que é conhecido popularmente como efeito míssil. A definição desse efeito é dada por Mazzola *et al.* (pg.82, 2019) como quando um “objeto é acelerado em direção ao magneto, podendo acarretar choque violento com o paciente ou membro da equipe”, esse choque pode causar inúmeros prejuízos aos envolvidos sendo o maior e mais sério deles, a morte.

Na literatura é possível observar diversos exemplos de acidentes envolvendo a IRM e todas suas fontes de risco que, muitas vezes, são subestimadas ou mesmo desconhecidas pela sociedade e por grupos específicos de trabalhadores, que mesmo não atuando diretamente na ressonância magnética, em algum momento de sua vida profissional podem vir a ter contato com essa tecnologia e todos os perigos a ela associados. (Kanal

et al., 2007) Dentre os casos já registrados, a morte do menino Michael Colombini de apenas 6 anos de idade na cidade de Nova York, no hospital Westchester Medical Center in Valhalla é um dos mais marcantes e que fez com que a Segurança em Ressonância Magnética tivesse seus conceitos revistos mundialmente. O garoto teve sua morte registrada enquanto estava sendo preparado para um exame pós cirúrgico, devido a um cilindro de oxigênio não compatível com o campo magnético do equipamento, que foi trazido por uma enfermeira na tentativa de aumentar sua saturação, porém, ao adentrar a sala o cilindro foi atraído em direção ao magneto (efeito míssil), atingindo a cabeça do menino, causando o seu óbito.(Mazzola *et al.*, 2019) Outro caso atual e que evidencia a importância de outras classes profissionais além das áreas envolvendo a saúde terem uma formação sobre os riscos presentes em um setor de IRM, foi o incidente que matou o advogado Leandro Mathias na cidade de São Paulo em 2023. (G1, 2023) Na ocasião, o homem estava acompanhando sua mãe em um exame de Ressonância Magnética quando teve sua arma atraída pelo magneto ocasionando um disparo que o atingiu na região do abdômen, levando-o à morte alguns dias depois. Segundo a clínica, tanto o acompanhante quanto a paciente haviam assinado o termo aceitando as orientações referentes à retirada de todos os metais que portavam no momento.

Os casos acima citados evidenciam o quão importante é realizar uma democratização do conhecimento acerca dos riscos e da Segurança em Ressonância Magnética para profissionais envolvidos em outros âmbitos de formação como por exemplo para Militares, principalmente policiais e bombeiros que em sua rotina de trabalho utilizam ferramentas indispensáveis para a realização do mesmo como armas e extintores de incêndio que comumente não são compatíveis com o aparelho de IRM e tendem a ser atraídos com o efeito míssil.

Embora não seja rotineiro, as salas de IRM muitas vezes precisam de respostas a emergências vindas desses profissionais, se os mesmos não tiverem o conhecimento necessário acerca de todos os riscos presentes nesses ambientes as chances de que a situação se agrave ainda mais é exorbitante. Dessa forma, até mesmo o Colégio Americano de Radiologia

(ACR) em seu documento de orientação para práticas seguras de Ressonância Magnética de 2007 (Kanal *et al.*, 2007), sugere que esses profissionais tenham algum tipo de formação específica que evidencie os perigos desse setor e que contemple além das informações, visitas às instalações com o objetivo de promover uma familiarização dos mesmos com o ambiente, caso em algum momento careçam responder a uma emergência neste departamento. Apesar das recomendações, no Brasil ainda não há uma referência específica que reúna as informações necessárias para capacitar a Ordem dos Militares das Forças Auxiliares acerca da Segurança em Ressonância Magnética, evidenciando a necessidade da criação de um material instrutivo para a classe trabalhadora sobre o assunto.

1.1 Objetivo geral

Desenvolver um material instrutivo sobre segurança em ressonância magnética, voltado à capacitação de militares das forças auxiliares.

1.2 Objetivos específicos

a) identificar os principais riscos associados à Ressonância Magnética em situações emergenciais que demandem apoio militar;

b) produzir material instrutivo acessível ao perfil dos Militares das Forças Auxiliares.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A presente revisão de literatura expõe um panorama geral acerca de alguns aspectos relacionados à ressonância magnética, com o intuito de abranger maiores conhecimentos sobre o assunto. Dentre eles: suas funções e vantagens; a física por trás do seu funcionamento e formação da imagem; riscos associados ao setor; acidentes que já aconteceram devido a esses riscos e órgãos regulamentadores tanto nacionais, quanto internacionais com suas normas a respeito da Segurança em Ressonância Magnética.

2.1 Imagem por Ressonância Magnética (IRM)

A Ressonância Magnética é um método de diagnóstico por imagem que vem se difundindo no mundo da medicina, devido à alta capacidade de diferenciar tecidos moles como cérebro, músculos e tendões, além de gerar imagens com uma ótima resolução espacial, sem utilizar radiação ionizante no processo de formação da imagem. Suas aplicações podem acontecer de diferentes formas, visando analisar critérios anatômicos ou fisiológicos no corpo humano. A IRM produz imagens patológicas precisas e que levam a um diagnóstico clínico certeiro que irá contribuir para o bem estar do paciente, visto que, dessa forma terá uma conduta terapêutica de maior eficácia. (Azhar, *et al*., 2023; Gomes *et al.,* 2019)

Devido à alta tecnologia e crescente desenvolvimento da IRM, novas técnicas de aquisição de imagem vão surgindo, visando sempre a melhora da qualidade diagnóstica e a propensão a novas possibilidades de diagnose. Um avanço tecnológico que vem como uma alternativa muito importante do uso da Ressonância Magnética é a Ressonância Magnética Funcional (RMf). Essa técnica permite aos profissionais o estudo de funções cerebrais importantes como linguagem, memória e o controle motor. A RMf pode assumir o

importante papel de auxiliar no planejamento cirúrgico e radioterápico de tumores cerebrais e outros tipos de lesões correlacionando-se com as imagens anatômicas. Dessa forma, a Ressonância Magnética tem a atribuição fundamental de evitar ou reduzir complicações decorrentes das intervenções terapêuticas a serem realizadas para a melhora do paciente. (Mazzola, 2019)

Em virtude da gama de possibilidades, vantagens e avanços apresentados pela IRM, a aplicação da inteligência artificial (IA) no dia a dia das aquisições de imagem também se faz possível. A IA traz alternativas que tendem a influenciar a utilização da IRM desde o processo de aquisição e reconstrução da imagem, até a análise e interpretação das imagens levando a um possível diagnóstico. Esse novo recorte tecnológico promete ainda mais melhorias nas funções apresentadas pela ressonância magnética. Küstner *et al.* (2024) afirmam que toda essa revolução de uma imagem inteligente possibilita um tempo de aquisição menor, carga de trabalho reduzida para os profissionais, menores custos para o sistema de saúde envolvido e decisões terapêuticas e diagnósticas mais personalizadas para cada paciente. Portanto, a Ressonância Magnética apresenta inúmeras vantagens e uma grande relevância na medicina diagnóstica, pois está em constante desenvolvimento tecnológico, visando sempre a melhoria da qualidade da imagem a fim de que os pacientes obtenham a conduta terapêutica correta. (Küstner *et al.,* 2024)

2.2 Equipamento e formação da imagem em IRM

Em sua forma primária o hardware do equipamento de Ressonância Magnética é composto por um imã principal presente no magneto, bobinas de radiofrequência, bobinas de gradiente e um sistema especializado de computadores. O scanner de Ressonância Magnética utiliza imãs supercondutores para gerar um campo magnético forte, que é responsável pelo alinhamento dos prótons de hidrogênio do corpo humano no eixo longitudinal do paciente. Este intenso campo magnético é produzido através de uma

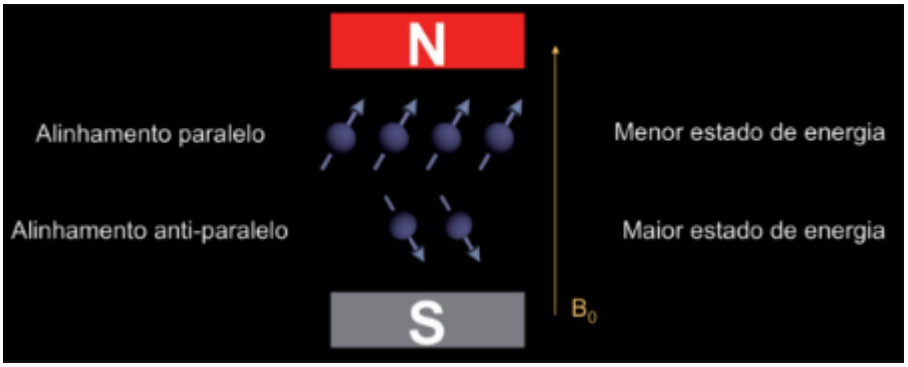
corrente elétrica que passa por fios de uma liga metálica que estão imersos em Hélio líquido. Este fio não possui resistência elétrica, o que resulta em uma supercondutividade que gera o campo magnético forte. A intensidade do campo magnético é medida em tesla (T), e a grande maioria dos equipamentos médicos varia entre intensidades de 1,5 T e 3 T, resultando em uma intensidade de 50.000 a 100.000 vezes maior que a do campo magnético da Terra. Equipamentos superiores a 7 T também existem, porém são utilizados somente para fins de pesquisa. (Azhar, *et al*., 2023; Klein 2020)

2.2.1 Processo físico da Ressonância Magnética

A física envolvendo Ressonância Magnética baseia-se no princípio de que um próton, ao interagir com um campo magnético externo e estar sob a ação do mesmo, apresenta-se em um movimento de precessão. O próton que fica sob influência desse campo magnético na ressonância é o próton de hidrogênio (H), por ser o mais abundante no corpo humano e ter o maior momento magnético, resultando em uma maior sensibilidade ao campo. (Mazzola, 2009)

Cada próton possui um momento magnético próprio e age no corpo humano de forma muito parecida a um ímã de barra, orientados de forma aleatória. Quando um campo magnético intenso (B0) é aplicado, esses prótons se alinham na direção do campo. Esse alinhamento pode variar de acordo com o nível de sua energia, sendo de baixa energia, quando há alinhamento paralelo ao campo, e alta energia, alinhamento antiparalelo ao campo (figura 1).

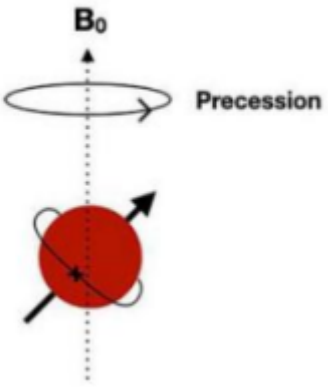
Figura 1 – Alinhamento paralelo e antiparalelo dos prótons



Fonte: Mazzola (2009)

Na tentativa de se alinharem ao B0, os prótons de H irão girar em torno do eixo central do mesmo, resultando em um movimento conhecido como precessão que está representado na figura 2. (Mazzola, 2009; Azhar *et al*., 2023)

Figura 2– Movimento de precessão dos prótons



Fonte: Azhar *et al*. (2023)

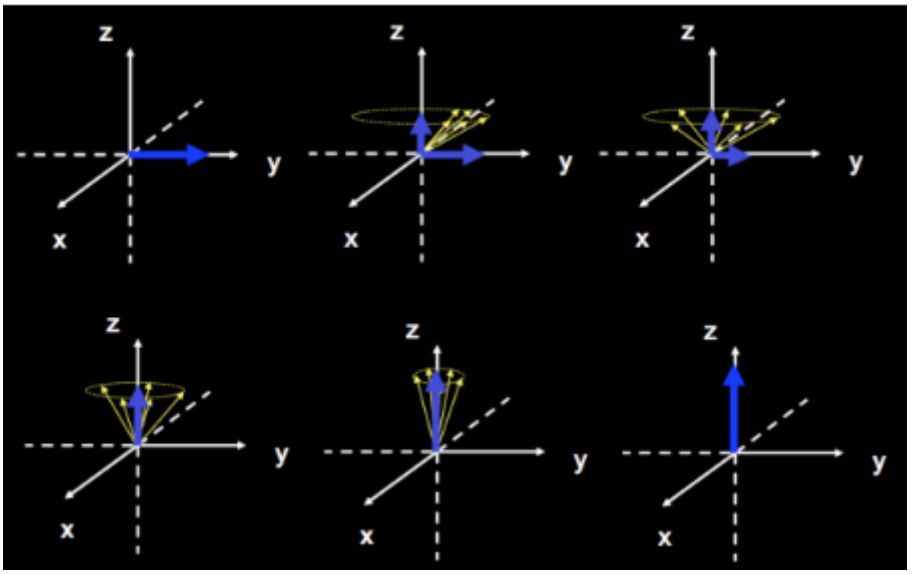
2.2.2 Aplicação do pulso de radiofrequência (RF)

Existem coordenadas (x,y e z) que definem o eixo longitudinal e o plano transversal. A coordenada z é o eixo longitudinal e x e y representam o plano transversal. Para que haja um sinal a ser captado a magnetização precisa sair do eixo longitudinal e ir para o plano transversal em 90° através de um pulso de radiofrequência (RF). Isso faz com que os prótons precessem em fase (na mesma direção) e permitam que o sinal seja induzido para a bobina. Há também a possibilidade da aplicação de um pulso de 180° que manterá a magnetização no plano longitudinal, porém na direção oposta, sendo chamado de pulso de inversão. A emissão e detecção desses pulsos são feitas por bobinas e têm por finalidade a transferência de energia para o vetor de magnetização, o induzindo a ir ao plano transversal e fazer com que os prótons precessem em fase no mesmo plano. No momento em que é cessado o pulso RF, o sinal decai e volta ao seu estado de equilíbrio em alinhamento com o B0, que representa o sinal de indução livre (SIL). (Mazzola, 2009; Azhar *et al*., 2023; Gomes *et al.,* 2019)

2.2.3 Relaxação longitudinal e transversal (T1 e T2)

O processo de troca de energia entre spins (spin-spin) ou entre spins e seus adjacentes (spin-rede) é o que gera o SIL, fazendo com que o vetor de magnetização retorne ao seu estado de equilíbrio emitindo o sinal (figura 3).

Figura 3– Retorno do vetor de magnetização ao estado de equilíbrio



Fonte: Mazzola (2009)

Esse processo é definido por duas constantes exponenciais de tempo, sendo elas T1 e T2. Após o pulso de RF de 90°, o tempo que o núcleo leva para voltar a 63,2% da magnetização inicial é tido como T1, sendo relacionada a magnetização longitudinal e com a interação spin-rede. Na imagem, uma aquisição ponderada em T1 terá a gordura aparecendo em maior evidência. Já o tempo necessário para que a magnetização transversal atinja 37% de sua magnetização inicial é tido como T2, que é influenciada pela interação spin-spin no que diz respeito a uma redução da magnetização no plano transversal. Na imagem, uma ponderação em T2 na aquisição trará maior indicativo para a água, a fazendo brilhar. Os tempos de relaxação variam de acordo com o tecido, isso é uma vantagem na Ressonância Magnética pois permite diferenças significativas de contraste, melhorando a imagem. (Mazzola, 2009; Hage *et al.,* 2009)

2.2.4 Formação da imagem

A codificação espacial do sinal é possível devido à aplicação de gradientes de campo magnético. Esses gradientes tornam possível que cada pixel da matriz que forma a imagem tenha um valor de intensidade do sinal e através de uma escala de tons de cinza definidos como um tom para cada valor, seja possível visualizar a imagem final. (Mazzola, 2009)

Para obtenção desta imagem são necessárias três etapas principais envolvendo gradientes de campo, são elas: seleção de corte, codificação de fase e codificação de frequência. Na seleção do corte, um pulso de RF é emitido com a mesma frequência da localização que se quer visualizar, dessa forma, somente os prótons dessa região irão ressonar e formar a imagem. Na codificação de fase ocorre a mudança de direção dos spins para que sejam proporcionais a sua localização. Já a codificação de frequência determina a posição dos prótons nos outros eixos permitindo localizar o sinal nos mesmos. (Mazzola, 2009; Hage *et al.,* 2009)

Através da transformada de Fourier, após as informações serem armazenadas no espaço K (local não físico do equipamento que armazena os ecos), essas informações passam do domínio do tempo para o domínio de frequências, sendo reorganizadas de forma que cada pixel representa a intensidade do sinal de um local específico do corpo, obtendo assim a imagem de Ressonância Magnética com seus devidos contrastes. (Mazzola, 2009; Azhar *et al*., 2023)

2.3 Riscos em Ressonância Magnética

Apesar de não haver um risco iminente envolvendo a Ressonância Magnética ao associá-la a radiação ionizante, esse método de diagnóstico por imagem apresenta outros perigos decorrentes da aquisição e do ambiente em que está inserido o equipamento. De modo geral, os riscos presentes no setor

de Ressonância Magnética são: gradientes de campo, radiofrequência, líquidos criogênicos, meio de contraste a base de Gadolínio e o intenso campo magnético. (Mazzola *et al.*, 2019)

2.3.1 Gradiente de campo

Os gradientes de campo são rápidas variações que acontecem na intensidade do campo magnético durante a aquisição das imagens. Correntes elétricas induzidas por essa mudança do campo podem acabar ocasionando alguns estímulos nervosos periféricos à pessoa que está sendo submetida à influência do campo magnético. Segundo Mazzola *et al.* (2019, p.82), “normas regulamentadoras limitam o valor máximo do gradiente para prevenir que nenhuma estimulação cardíaca ocorra”, isso evidencia o nível da gravidade que pode chegar esse tipo de estimulação, visto que, existe a possibilidade de influenciar no funcionamento do músculo cardíaco.

Ademais, outro risco associado ao gradiente de campo quando as bobinas ligam e desligam a fim de codificar o sinal, é o alto ruído produzido. Este ruído pode atingir até 100 dB, o que é capaz de causar inúmeros danos à saúde auditiva do paciente. Por esse motivo, tornou-se obrigatório o oferecimento de proteção auditiva tanto para pacientes, quanto para acompanhantes que por ventura estejam na sala do magneto, seja ela por meio de protetores auriculares ou fones de ouvido. (Shah; Aran, 2023)

2.3.2 Radiofrequência (RF)

A RF deposita sua energia no tecido biológico em forma de calor, o que pode causar queimaduras na pele ou mesmo o sobreaquecimento. Para que os equipamentos consigam limitar a exposição a RF a fim de não causar danos ao paciente, uma taxa de absorção específica (SAR) foi definida. O SAR é

estabelecido pela quantidade de energia depositada em determinada unidade de watts por quilograma (W/kg) representando a massa do paciente. Os limites estabelecidos pelo SAR reiteram que a temperatura do corpo do paciente não deve ultrapassar 1,0°C do limite já pré-estabelecido para determinadas partes do corpo e também do corpo inteiro. (Sammet *et al.*, 2016)

Os equipamentos de Ressonância Magnética devem estabelecer limites de SAR no que diz respeito a aquisição da imagem e realização dos exames. Os valores do SAR devem ser levados em consideração, visto que, colocam em risco a integridade do paciente. Três modos de operação do equipamento podem seguir de acordo com os níveis apresentados da taxa em questão, sendo eles:

a) modo de operação normal, quando os níveis estão dentro do esperado e o exame clínico pode ser seguido sem nenhum problema;
b) modo do primeiro nível de operação controlado, que é acionado quando os níveis de calor foram ultrapassados do limite, mas o exame ainda pode ter sua continuidade instaurada desde que o operador aceite e assuma o risco, redobrando a atenção para o cuidado com aquele paciente;
c) modo de segundo nível de operação controlada, onde a liberação só pode acontecer com aviso prévio ao fabricante e para fins de pesquisa, excluindo o uso clínico. (Mazzola *et al.*, 2019; Sammet *et al.*, 2016)

A fim de evitar que queimaduras aconteçam durante a aquisição algumas recomendações são feitas, dentre elas: evitar que os pacientes adentrem na sala com roupas inapropriadas que possam ter materiais que induzam a queimaduras, informar ao equipamento peso e altura do paciente (definição do SAR), manter a temperatura da sala de acordo com o recomendado pelo fabricante com bastante ventilação, não cobrir o paciente excessivamente a fim de evitar a sudorese demasiada e tomar um cuidado a mais em pacientes que apresentem tatuagens recentes devido a alguns pigmentos de tatuagem conterem óxido de ferro e outros componentes ferromagnéticos. (Shah; Aran, 2023; Mazzola *et al.*, 2019)

2.3.3 Líquidos criogênicos

Líquidos criogênicos como nitrogênio e hélio são gases liquefeitos usados no equipamento de Ressonância Magnética que tem por finalidade a extinção da resistência elétrica e a geração da supercondutividade, a fim de constituir o campo magnético forte que gera as imagens. O líquido mais utilizado no equipamento de ressonância é o hélio, em quantidades que vão de 1.400 l a 2.000 l, a uma temperatura extremamente gélida de aproximadamente -269,15°C. Por conta disso, um cuidado especial deve ser tomado no momento do abastecimento desse líquido, pois o mesmo pode causar queimaduras devido a sua baixa temperatura. (Mazzola *et al.*, 2019)

Outro cuidado que deve ser tomado em relação aos criogênicos, é a extinção do campo magnético por meio do acionamento do botão *quenching*. Quando essa ação acontece todo o hélio deve ser liberado do equipamento para que possa acontecer a extinção do campo. No próprio aparelho de ressonância há um sistema de tubulação específico chamado tubo de *quench* que é responsável pela eliminação desse líquido em direção a atmosfera, que ao ser eliminado torna-se gás. Para que haja a supressão do hélio no equipamento é necessário que a equipe se certifique de que a porta esteja aberta ou que a mesma tenha a sua abertura para o lado de fora da sala do magneto. Isso pelo fato de que ao tornar-se gás, 1l de hélio líquido torna-se aproximadamente 754 l de hélio gasoso, podendo causar uma rápida substituição do ar ambiente, além de causar uma pressão mais alta dentro da sala impedindo que a porta seja aberta para o lado de dentro, provocando o sufocamento de quem se encontra dentro do ambiente. (Mazzola *et al.*, 2019)

2.3.4 Meios de contraste a base de gadolínio

O gadolínio é um metal que apresenta características de ser magnetizado quando está sob a presença de um campo magnético externo, o que o torna um elemento paramagnético. Sua principal função durante o exame de Ressonância Magnética como um agente contrastador é acelerar o processo de relaxamento T1 e T2, o que produzirá um aumento de sinal na estrutura do corpo afetada. Apesar de ser um ótimo meio de contraste na ressonância, o gadolínio apresenta uma certa toxicidade aos tecidos biológicos. Por esse motivo, é associado a quelantes que permitem uma maior estabilidade ao elemento químico e o impedem de interagir negativamente com outros organismos. (Mazzola *et al.*, 2019)

O contraste por meio de gadolínio pode causar algumas reações adversas nos pacientes e são divididas em três grupos principais: eventos adversos agudos, graves e fatais. Eventos adversos agudos são os que têm mais recorrência, mas ainda assim têm baixos números, neles estão inclusos sensação de frio ou calor após a injeção, náusea, tontura, dor de cabeça, dormência ou coceira no local da administração do meio de contraste, sendo relatados em 0,07% a 2,4% das injeções; para eventos adversos graves a incidência é ainda menor e variam de 0,004% a 0,7% das administrações, causando nos afetados urticárias, erupções cutâneas e broncoespasmos; já a reações adversas fatais são extremamente raras, sendo registradas em apenas 0,001% a 0,01% dos casos. (Sammet *et al.*, 2016)

Entretanto, para pacientes que têm sua função renal comprometida, o contraste à base de gadolínio pode causar prejuízos sérios à saúde dos seus rins pelo desenvolvimento da fibrose nefrogênica sistêmica (FNS). A FNS é uma condição causada exclusivamente pelo uso de gadolínio em pacientes com problemas renais e pode se manifestar em dias ou anos após a administração deste meio de contraste. Segundo Mazzola *et al.* (2019, p.87)

> Agudamente, a doença manifesta-se com dor, prurido, edema e eritema da pele, inicialmente comprometendo os membros inferiores. Evolui com espessamento e fibrose cutânea, fibrose de órgãos internos (pulmão, coração, fígado, meninges, músculos etc.), resultando em contraturas de membros, insuficiência de diversos sistemas e finalmente morte.

Por fim, não há relatos de FNS em pacientes com a função renal normal. A Food and Drug Administration (FDA) solicita que os fabricantes de contraste a base de gadolínio demonstrem nas embalagens os riscos que estão correndo os pacientes que possuem a função renal comprometida. (Sammet *et al.*, 2016)

2.3.5 Campo magnético

Os equipamentos médicos para uso clínico disponíveis na atualidade tem uma variação de campo entre 1,5 T e 3,0 T. Ambos funcionam como grandes ímãs super potentes e apresentam riscos no que se refere a atração de objetos ferromagnéticos, sejam eles compostos por ferro, níquel, cobalto ou outro elemento com as mesmas propriedades, além da alteração no funcionamento ou torção e deslocamento de alguns dispositivos metálicos como marcapasso ou clipes de aneurisma que por ventura estejam inseridos no corpo das pessoas que estão sob influência do campo. (Mazzola *et al.*, 2019)

Com relação à atração de objetos ferromagnéticos, é importante ressaltar que tanto objetos pequenos como tesouras, clips e moedas, quanto objetos maiores como macas, cilindros de oxigênio e enceradeiras podem ser atraídos pelo magneto. Ao contrário do que erroneamente se imagina supondo que objetos maiores não serão atraídos devido ao seu grande tamanho e peso, quanto maior for a massa do objeto ferromagnético, maior será a força de atração que o campo exerce sobre o mesmo. A ação do aceleramento de objetos ferromagnéticos contra o magneto do aparelho de ressonância é conhecida como efeito míssil. Esse efeito faz com que o objeto assuma a função de um projétil tendo capacidade de causar inúmeros danos a quem está próximo ao equipamento, podendo provocar choque mecânico violento

promovendo ferimentos graves ou até mesmo a morte induzida pelo trauma. (Sammet e Sammet, 2015)

Os dispositivos implantados, tais como implantes cocleares, marcapassos, desfibriladores, neuroestimuladores ou outros, precisam ser informados durante a triagem que também se verifica a presença de adereços metálicos, os quais precisam ser retirados antes de adentrar a sala do magneto. Os dispositivos podem ser classificados em seguros para RM, inseguros para RM e condicionais para RM (podem adentrar a sala sob condições específicas de segurança) como demonstrado na figura 4.

Figura 4 - Classificação de segurança para dispositivos implantados



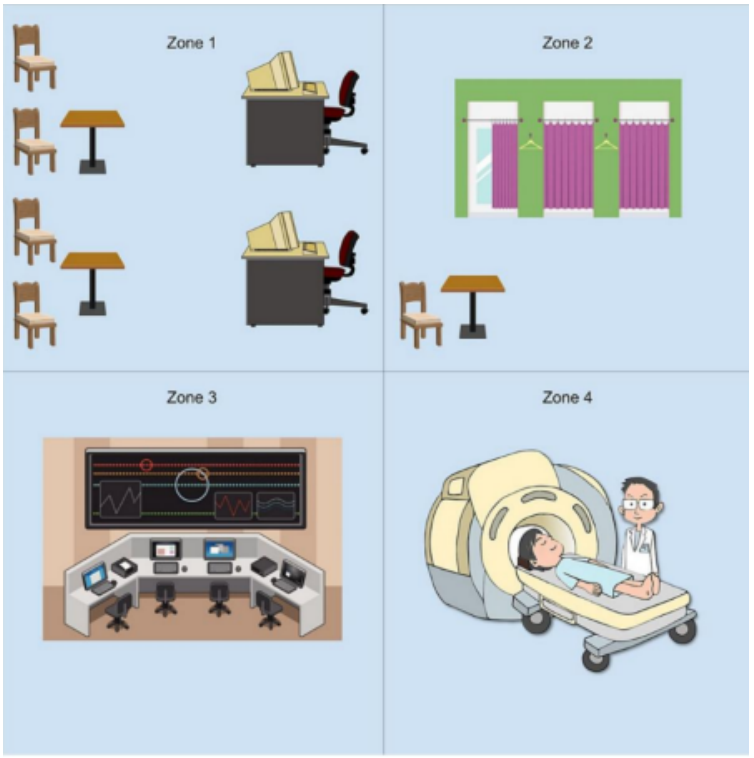
Fonte: Shah e Aran (2023)

A compatibilidade desses materiais pode ser atestada pelo site mrisafety.com, o qual contém um banco de dados com a classificação e recomendações de segurança para quase todos os tipos de dispositivos médicos. (Shah; Aran, 2023)

Como método para garantir a segurança no setor de Ressonância Magnética, o mesmo é dividido em zonas (figura 5), sendo elas:

a) zona I ou livre, onde está localizada a recepção e áreas adjacentes ao setor de ressonância com acesso livre para os pacientes;
b) zona II, onde está localizado o corredor de acesso a sala do magneto. O paciente deve estar sempre acompanhado e é onde acontece o questionário de metais e a troca de roupas do mesmo;
c) zona III, referente à área que dá acesso direto ao magneto, com circulação somente de pessoas autorizadas e pacientes supervisionados;
d) zona IV, que compreende a sala onde está o magneto e os riscos envolvendo o campo magnético são maiores.

Figura 5 - Zonas I, II, III e IV de um setor de ressonância magnética



Fonte: Shah e Aran (2023)

Comumente, a linha de 5 Gauss (G) está contida na zona IV. Esta linha representa uma área a partir da qual, seguindo em direção à zona III, a

exposição ao campo se torna segura, levando em consideração alterações no funcionamento de dispositivos. (Shah; Aran, 2023; Mazzola *et al.*, 2019)

2.4 Acidentes envolvendo o efeito míssil na ressonância magnética

O campo magnético intenso é uma das fontes de riscos que mais causa acidentes em Ressonância Magnética devido à falta de conhecimento e à precariedade de treinamentos envolvendo o assunto para as pessoas envolvidas no setor como médicos, tecnólogos e técnicos em radiologia, enfermeiros e o pessoal da limpeza. Ademais, muitos acidentes já aconteceram e alguns serão relatados a seguir. (Sammet; Sammet, 2015)

2.4.1 Arma de policial militar arremessada contra o magneto (2015)

Policiais da Polícia Militar (PM), realizavam uma ronda na cidade de Florianópolis - SC durante a madrugada, e ao perceberem uma movimentação estranha em uma clínica de radiologia e diagnóstico por imagem entraram com as armas em punho para averiguar a situação. Enquanto realizavam a ronda na clínica, um dos policiais teve a arma atraída (figura 6) pelo equipamento de ressonância magnética. (Mazzola *et al.*, 2019; G1, 2015)

Figura 6 - Arma presa ao equipamento de ressonância magnética



Fonte: G1 (2015)

A arma ficou grudada no equipamento por um tempo considerável, visto que, necessitava de pessoal especializado para a remoção do objeto. (Mazzola *et al.*, 2019; G1, 2015)

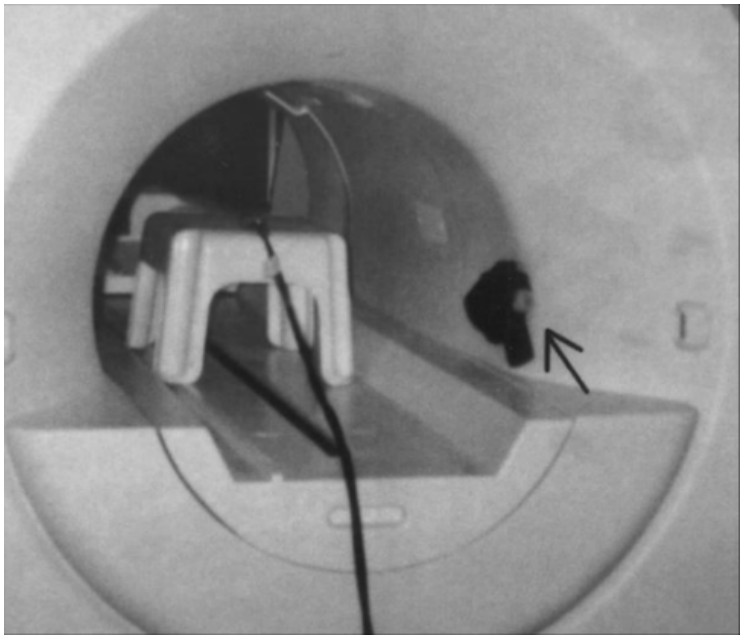
2.4.2 Mulher baleada pela própria arma nos EUA (2023)

No dia 28 de junho de 2023, uma mulher de 57 anos, cuja a identidade não foi revelada, adentrou a sala do magneto de Ressonância Magnética para realização de um exame portando uma arma de fogo que estava escondida em seu corpo. Ao entrar em contato com o campo magnético do equipamento, a arma foi atraída pelo magneto efetuando disparos que atingiram-na na nádega direita. Antes de adentrar a sala, a mesma passou pelo procedimento padrão do questionário de metais, mas negou estar portanto qualquer tipo de material que apresentasse algum risco à segurança do ambiente. (Uol, 2023)

2.4.3 Arma de policial à paisana é atraída pelo equipamento de ressonância magnética

Na cidade de Nova York, um policial em seu dia de folga foi até um centro de diagnóstico por imagem para realizar um exame de ressonância magnética. Ao responder o questionário sobre metais, o policial avisou ao tecnólogo que portava uma arma, sendo ela uma pistola semiautomática de calibre 45. Porém, devido a informações com pouca clareza ou um mal-entendido, o policial adentrou a sala do magneto com sua arma mesmo sabendo dos riscos. Quando entrou no ambiente, tentou tirá-la do contato com seu próprio corpo e apoiá-la sobre um armário presente na sala do equipamento, mas no mesmo momento a arma foi sugada pelo campo magnético (figura 7) e efetuou um disparo que atingiu a parede do local. (Beitia *et al.*, 2002)

Figura 7 - Arma presa ao equipamento de ressonância após ser atraída



Fonte: Beitia *et al.* (2002)

Para que a arma fosse retirada, o campo magnético do equipamento precisou ser extinto. (Beitia *et al.*, 2002)

2.4.4 Enceradeira fica presa a equipamento de Ressonância Magnética

Um funcionário responsável pela limpeza do hospital de base de Brasília, adentrou a sala de Ressonância Magnética com uma enceradeira na intenção de fazer a limpeza e higienização do ambiente. Quando movimentou-se em direção ao magneto com a enceradeira, o objeto foi prontamente atraído pelo campo magnético do aparelho ficando preso por um certo tempo até que o pessoal especializado conseguisse realizar a retirada. (figura 8)

Figura 8 - Enceradeira presa ao equipamento de ressonância magnética



Fonte: G1 (2012)

O choque mecânico causou alguns problemas no equipamento de ressonância fazendo com que o mesmo ficasse fora de funcionamento por alguns dias. (G1, 2012)

2.4.5 Homem fica preso entre um cilindro de oxigênio e o magneto por mais de 4 horas (2014)

O acidente aconteceu em 2014 na cidade de Nova Deli, na Índia, onde dois funcionários do hospital ficaram gravemente feridos. O profissional das técnicas radiológicas especializado em Ressonância Magnética solicitou ao porteiro que pegasse uma máscara de oxigênio, devido à má interpretação por parte do porteiro, o mesmo trouxe o cilindro todo de oxigênio que não é compatível com o aparelho de ressonância magnética. Ao entrar na sala o cilindro foi prontamente acelerado contra o magneto (figura 9), prendendo tanto o profissional quanto o porteiro ao equipamento de ressonância. (Mazzola *et al.*, 2019)

Figura 9 - Homens presos entre o cilindro de oxigênio e o equipamento de Ressonância Magnética



Fonte: Mazzola *et al.* (2019)

Algo que agravou ainda mais a situação de ambos foi o fato de que o botão de *quench* não funcionou, os homens só puderam ser liberados do equipamento após 4 horas, quando um engenheiro especializado do fabricante

do equipamento conseguiu reduzir o campo magnético manualmente. (Mazzola *et al.*, 2019)

2.4.6 Cilindro de oxigênio atraído pelo magneto causa morte de acompanhante (2018)

O incidente aconteceu na Índia, no dia 29 de janeiro de 2018 no hospital Nair em Mumbai. O homem de 32 anos estava no setor por estar acompanhando um parente que estava prestes a realizar o exame de ressonância magnética. Por uma falta de conhecimento, um funcionário solicitou ao homem que trouxesse para a sala um cilindro de oxigênio, afirmando para o mesmo que o equipamento de ressonância estava desligado. Ao se aproximar do equipamento, o cilindro foi fortemente atraído pelo magneto e acabou colidindo contra ele liberando uma grande quantidade de oxigênio líquido sob o rapaz que o havia trazido causando nele um pneumotórax e o levando a morte. (Mazzola *et al.*, 2019)

2.4.7 Trauma ocular e fratura orbital causada pelo efeito míssil

O acidente aconteceu na Nova Zelândia no ano de 2014. Na ocasião, o paciente estava realizando um exame da região do crânio. Ao iniciar o exame, um canivete que estava em seu bolso foi fortemente atraído pelo grande ímã do equipamento de ressonância magnética, vindo a causar um choque mecânico violento contra o rosto do paciente fraturando-o na região orbital. Na ocasião, a instituição responsável pelo exame não exigia que os pacientes realizassem a troca total de roupa, facilitando ainda mais a ocorrência desse tipo de acidente. (Mazzola *et al.*, 2019)

2.5 Legislação acerca da Segurança em Ressonância Magnética

A legislação do Brasil e de outros países mais desenvolvidos da América, como os Estados Unidos da América (EUA), se diferem de diversas formas. A legislação acerca da Segurança em Ressonância Magnética em outros países é mais antiga e por esse motivo é também mais abrangente em algumas questões. Dentre as diferenças estão os órgãos regulamentadores responsáveis por criar as normas que garantem a segurança tanto dos pacientes, quanto dos profissionais. No Brasil, o órgão responsável é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na América o órgão responsável é a *Food and Drug Administration* (FDA), e ambas seguem diversas recomendações do Colégio Americano de Radiologia (ACR). (Vidotto *et al.*, 2023; ASRT, 2018)

A atual publicação da ANVISA sobre Segurança em Ressonância Magnética é a Instrução Normativa (IN) n° 59, de 20 de dezembro de 2019, que logo foi revogada e substituída pela n° 97, de 27 de maio de 2021. (ANVISA, 2021) Nessa IN são abordados os requisitos sanitários necessários para que se mantenha a qualidade e a segurança em serviços de ressonância magnética, além de abordar outros aspectos como a relação de testes e controle de qualidade e suas respectivas tolerâncias e periodicidades. Outro documento que norteia as instalações de Ressonância Magnética é a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) n° 611, de 9 de março de 2022. (ANVISA, 2022) Apesar de relacionar-se mais com equipamentos de radiodiagnóstico que utilizam radiação ionizante, possui alguns aspectos condizentes com as instalações dos serviços de ressonância magnética. No que diz respeito a normas internacionais, um dos documentos mais utilizados para incorporar as necessidades nacionais é o manual da ACR sobre práticas de Segurança em Ressonância Magnética. (ACR, 2024) O mesmo vem sendo revisado e atualizado a cada ano para se adequar às novas tecnologias emergentes. (Vidotto *et al.*, 2023)

Na IN n° 97, que está em vigência no Brasil, alguns requisitos básicos de segurança estão instaurados, dentre eles: a classificação das zonas (I, II, III

e IV) pelo serviço; a necessidade de sinalização de risco nas portas; sistema de detecção de metais; sistema para evacuação dos líquidos criogênicos, assim como abertura da porta da sala para o lado de fora; o programa de educação permanente sobre aspectos de segurança deve abranger toda a equipe do setor; disponibilização pelo serviço de proteção auditiva para pacientes, acompanhantes e profissionais. (Vidotto *et al.*, 2023; ANVISA, 2021)

Para assegurar a relevância da necessidade dos cuidados acerca dos riscos em ressonância magnética, algumas organizações como o Conselho Americano de Segurança em Ressonância Magnética (ABMRS) recomendam que haja e certifica novos profissionais que desempenham a função de supervisor de ressonância magnética. A certificação acontece por meio de uma avaliação formal específica e tem validade de 10 anos. O profissional, após certificado, desempenha funções acerca da segurança do paciente e dos profissionais. Garante que estratégias e procedimentos de segurança rotineiros sejam cumpridos, realiza o gerenciamento de riscos, desenvolve e introduz procedimentos de trabalho mais seguros, treina as equipes do setor no que se refere a riscos e Segurança em Ressonância Magnética, dentre outras atribuições. Apesar da grande relevância dessa certificação, visto que possivelmente diminuiria casos de acidentes envolvendo a ressonância magnética, no Brasil ela ainda não é regulamentada, sendo abordada somente por órgãos internacionais como o ABMRS. (Lima *et al.*, 2021)

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa aplicada, visto que apresenta como finalidade principal a solução de um problema (Fleury *et al.*, 2017) enfrentado por um grupo específico de profissionais por meio da criação de um material instrutivo; de abordagem qualitativa, pois caracteriza-se por ser

> "voltada para análise de dados que não podem ser expressos em números ou não podem se limitar a uma análise numérica em virtude do tipo de grandezas que apresentam".(Robaina *et al.*, 2020)

Pode, também, ser considerada uma pesquisa de natureza descritiva, uma vez que tem por finalidade reunir, organizar e apresentar informações relevantes sobre segurança em ressonância magnética, com o objetivo de produzir um material instrutivo para capacitação de militares das forças auxiliares. Segundo Gil (2010), a pesquisa descritiva é aquela que busca caracterizar um fenômeno ou fato observável, sem manipulação direta sobre ele, o que se aplica à proposta desta pesquisa.

Esse estudo adota um método de investigação pautado no caráter bibliográfico do objeto estudado, avaliando aspectos particulares no que diz respeito ao desenvolvimento de um material instrutivo para Militares acerca da Segurança em Ressonância Magnética.

Nesse sentido, uma vez que foi desenvolvida a partir de materiais já elaborados, como artigos científicos, normas, livros e publicações relacionados aos aspectos da Segurança em Ressonância Magnética, essa pesquisa também classifica-se como bibliográfica. (Gil, 2002)

3.1 Delineamento da pesquisa

A partir dessa pesquisa foi elaborado e produzido um material instrutivo em formato de *e-book* para capacitar Militares acerca da Segurança em

Ressonância Magnética. O desenvolvimento da pesquisa contou com quatro etapas principais que serão descritas a seguir.

A primeira etapa se deu pela escolha do tema desta pesquisa, que foi escolhido após uma aula da disciplina de Ressonância Magnética (RM), em que a professora orientadora deste trabalho justificou a necessidade de uma capacitação para Militares na área de segurança em RM, dada a quantidade considerável de acidentes envolvendo armas de fogo e o risco de incêndios nesse ambiente diagnóstico.

A segunda etapa do trabalho baseou-se na definição do objetivo e na respectiva escolha metodológica. Definido o objetivo de produzir um material que fosse referência para Militares na área de Segurança em Ressonância Magnética, foi realizada uma revisão da literatura em bases de dados como Scielo, Pubmed, Google acadêmico e Lilacs, além de sites oficiais de órgãos públicos como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Colégio Americano de Radiologia (ACR) e sites de notícias como G1 e UOL. Nesta etapa, por meio dessas fontes, foram selecionados artigos, normas, recomendações e notícias que agregaram maior discernimento e clareza aos assuntos abordados, acrescentando riqueza de informações à revisão de literatura, além de auxiliar na elaboração do material final.

A terceira etapa da pesquisa teve como objetivo a definição de um conjunto de conteúdos programáticos a serem abordados no material instrutivo, visando a compreensão do tema pelo público alvo desse material. Fazem parte deste conjunto de conteúdos:

a) história da radiologia e da proteção radiológica em um contexto geral;
b) histórico da Ressonância Magnética;
c) diferenciação entre tomografia computadorizada e ressonância magnética;
d) funcionamento do equipamento de ressonância magnética;
e) formação da imagem em ressonância magnética;
f) riscos associados à ressonância magnética;
g) precauções quanto aos riscos associados à ressonância magnética
h) acidentes;

i) normas nacionais e internacionais a respeito da Segurança em Ressonância Magnética.

Na quarta etapa, o material instrutivo no formato de um *e-book* foi desenvolvido e editado na plataforma online Canva®. O Canva® consiste em uma ferramenta dinâmica e atual que permite produzir materiais esteticamente agradáveis, o que os torna motivantes para a leitura, além de reduzir o cansaço visual aos conteúdos. Além disso, por ser um *e-book,* pode ser acessado no formato digital em qualquer lugar por meio de computadores ou celulares.

3.2 Aspectos éticos

A presente pesquisa se encontra comprometida com a ética e assume a responsabilidade de toda e quaisquer informações presentes nesse manuscrito, evidenciando a relevância de apresentar informações verdadeiras e devidamente referenciadas.

Ademais, destaca-se o fato de que não há necessidade do atual estudo ser submetido ao comitê de ética, visto que, não trabalha diretamente com seres humanos, não interferindo em sua integridade física e psicológica por meio da coleta de dados. É importante ressaltar que o coletivo de profissionais Militares será o grupo alvo do resultado deste estudo, mas não necessariamente serão fonte da coleta de dados para este projeto de pesquisa.

Por fim, o material instrutivo desenvolvido não irá desrespeitar especificidades culturais e profissionais em seus assuntos, assegurando que o conteúdo será relevante e apropriado para o público ao qual é destinado.

4 RESULTADOS

Como resultado da presente pesquisa, um material instrutivo no formato de um *e-book* digital foi idealizado e produzido. (figura 10) O material instrutivo conta com conteúdos importantes para a capacitação de Militares das Forças Auxiliares acerca da segurança em um setor de Ressonância Magnética.

Figura 10 - capa do e-book



Fonte: Dados da pesquisa

A produção teve início pela percepção da necessidade de um material instrutivo que fosse capaz de capacitar Militares acerca da temática acima citada devido ao alto número de acidentes registrados pela mídia. Após um

longo processo de pesquisas envolvendo a produção de *e-books* e de assuntos relacionados ao tema, o material foi escrito e editado na plataforma online Canva®, visando uma estética mais bonita e agradável que despertasse um maior interesse na leitura.

O material em questão possui 47 páginas onde estão inseridos três capítulos, sendo eles:

1. História da radiologia: grande área médica que integra a Ressonância Magnética como método de diagnóstico por imagem;
2. Histórico e processo de formação da imagem por ressonância magnética;
3. Segurança em Ressonância Magnética: riscos, acidentes e normas.

Por meio destes 3 capítulos, é possível ao leitor compreender aspectos gerais envolvendo a radiologia como uma grande área médica e sua singularidade quando envolve dentro de si o método de diagnóstico por imagem em questão, que é a ressonância magnética. Os conteúdos presentes no material permitem entender o funcionamento de um equipamento de ressonância magnética, bem como a formação da imagem e as particularidades físicas que todo o processo envolve, facilitando ao leitor identificar a origem dos riscos aos quais está exposto quando se encontra dentro de um setor de ressonância magnética. Além disso, também apresenta de forma clara e objetiva as fontes de risco à segurança que estão presentes no ambiente.

Ademais, para melhorar a compreensão de todos estes aspectos envolvendo o perigo iminente à vida, exemplos de acidentes são apresentados para tornar as informações mais reais e trazê-las a uma realidade mais palpável, impactando de forma positiva a consciência de quem está fazendo uso do material instrutivo.

Ao final do material, são apresentados órgãos regulamentadores nacionais e internacionais atualmente responsáveis pela Segurança em Ressonância Magnética, bem como suas normas e legislações em vigência no momento da produção do material, a fim de incentivar ao leitor a procura destas normas e seu entendimento, evitando assim que aconteçam mais acidentes. O material instrutivo completo está disponível no apêndice A.

Em suma, a criação de um *e-book* que pode ser utilizado na capacitação de Militares evidencia um passo importante na democratização do conhecimento acerca da Segurança em Ressonância Magnética a grupos profissionais que vão além dos específicos da saúde como médicos, enfermeiros e profissionais das técnicas radiológicas. Tendo como objetivo principal a ser alcançado, a diminuição dos acidentes envolvendo a classe trabalhadora dos Militares das Forças Auxiliares.

Por fim, é importante evidenciar que, ao realizar buscas nas bases de dados PubMed, Lilacs e Scielo utilizando os termos firefighters, military, emergency responders, magnetic resonance imaging, accidents, incidents e safety e os operadores booleanos AND e OR, não foram encontrados registros específicos de acidentes envolvendo bombeiros em ambientes de ressonância magnética. No entanto, o risco é real, especialmente devido às características físicas do setor, como a presença permanente de um campo magnético intenso, invisível e ininterrupto, capaz de atrair violentamente objetos ferromagnéticos. Essa condição torna o ambiente potencialmente perigoso para profissionais como os bombeiros, que podem adentrar a sala de exame sem conhecimento prévio das normas de segurança.

5 DISCUSSÃO

A elaboração de um *e-book* como material instrutivo para capacitar Militares das Forças Auxiliares acerca da Segurança em Ressonância Magnética pode se provar uma forma didática e inovadora de capacitar esses profissionais a respeito do tema, levando em consideração a escassez de material sobre o assunto na íntegra, disponível para acesso. Essa percepção é dada pelo fato de que durante a pesquisa, nenhuma ferramenta semelhante, que fosse destinada ao público-alvo, foi localizada.

A modalidade de um *e-book* foi escolhida para acomodar o material instrutivo por facilitar o acesso ao conteúdo por mais pessoas de forma online. Na atual era da tecnologia, é preciso saber usar uma forma de educação inteligente, que é definida por Demir (2021) como quando as informações são associadas à tecnologias de comunicação que permitem um maior entendimento e coerência das informações e do processo de aprendizagem, podendo ser fornecidas em qualquer lugar e a qualquer momento de forma mais autônoma e atrativa ao leitor. Dessa forma, o material instrutivo em questão obedece esses conceitos de educação inteligente, visando uma estética bonita e agradável ao leitor, que fornece, além de informações pertinentes conceitualmente referenciadas, imagens que permitem a associação dos processos, sendo organizadas de forma lógica, apresentando exemplos práticos que facilitam o aprendizado e memorização dos fatos.

O conteúdo técnico abordado segue as recomendações de órgãos nacionais e internacionais que visam a segurança em um setor de Ressonância Magnética como o ACR e a ANVISA, abrangendo assuntos como zonas de segurança, campos magnéticos, dispositivos ferromagnéticos e exemplos de acidentes dentro do setor. Tudo isso garante uma familiarização efetiva dos Militares com o ambiente controlado que envolve o departamento.

Apesar de não terem sido encontrados trabalhos publicados acerca da formulação e produção de materiais instrutivos sobre Segurança em Ressonância Magnética, outros trabalhos com metodologias semelhantes, mas

que abordam outros assuntos envolvendo a saúde e a segurança, foram localizados.

O estudo realizado em Fortaleza, no ano de 2015 intitulado “Elaboração de material didático para processamento de produtos para saúde em unidades de atenção primária à saúde” realizado por Paula *et al.* (2017), contou com uma metodologia semelhante para a elaboração do material desenvolvido, visando uma boa qualidade no conteúdo exposto. Os métodos utilizados para a produção do material, assim como os utilizados neste estudo, contaram com algumas etapas principais e que se assemelham. Ambos os estudos optaram por uma abordagem que iniciou com uma pesquisa em bases de dados para prover de um embasamento científico qualificado, além de sites renomados da internet que possibilitaram a obtenção de informações e ilustrações para o conteúdo. A confecção do material seguiu com a produção do manuscrito e montagem do material instrutivo final em sua estética mais didática possível, sendo montada em uma ordem lógica de informações que foram divididas em capítulos.

Foram observados outros estudos com abordagem metodológica e objetivos semelhantes, como a “Construção de ebook sobre ist como estratégia de ensino na monitoria”, realizado no Ceará em 2020 por Veras *et al*. (2020) e “Construção de ebook sobre amamentação como estratégia de educação em saúde”, realizado em Fortaleza no ano de 2021 por Lino *et al*. (2021)**.** Ambos tiveram como objetivo levar a informação de forma fácil, leve e dinâmica ao público-alvo apresentando em si uma linguagem verbal e não verbal com o uso de imagens e figuras, tornando mais acessível o acesso a estas informações, tendo grande potencial de impacto educacional.

Ademais, em estudos como o de Silva *et al.* (2023) e o de Fedocci *et al.* (2023) observados na literatura, foi possível notar uma fase importante que ainda deverá ser realizada no *e-book* desta pesquisa que foi elaborado com o intuito de capacitar Militares acerca da Segurança em Ressonância Magnética, antes que o mesmo possa ser utilizado em uma capacitação real. Esta fase é a etapa de validação do *e-book* como uma ferramenta educacional. A validação pode acontecer por meio da avaliação do material por profissionais e

especialistas da área, dando ao material mais ênfase teórica e mais credibilidade ao seu conteúdo.

Portanto, assim como no trabalho de Rodrigues *et al.* (2025), o desenvolvimento da pesquisa em questão focou somente na elaboração do ebook e toda sua fundamentação teórica presente íntegra com acesso livre, fazendo um compilado das informações mais importantes e necessárias que possibilitem a capacitação de Militares acerca da segurança em RM, sendo a validação do mesmo realizada em um momento futuro.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o objetivo geral da pesquisa foi atingido com a produção de um material instrutivo em formato de *e-book* que é capaz de capacitar Militares das Forças Auxiliares acerca da temática da Segurança em Ressonância Magnética.

A produção do material foi fundamentada por meio de pesquisas bibliográficas abrangentes acerca dos riscos associados à ressonância magnética, além de outros temas abordados no material como a física envolvendo o método diagnóstico e as normas de segurança em vigência.

Algumas limitações foram encontradas no decorrer da pesquisa, como a ausência de publicações acerca da temática que envolvia a Segurança em Ressonância Magnética para a classe de trabalhadores Militares. Apesar do apontamento da necessidade de capacitação desses profissionais por alguns órgãos internacionais, nenhum material específico sobre o assunto foi encontrado durante as pesquisas realizadas.

Ademais, acredita-se que este material tem potencial de envolver-se em uma capacitação real de Militares servindo como base teórica para treinamentos presenciais ou remotos. Por esse motivo, sugere-se, como trabalho futuro, o desenvolvimento e aplicabilidade de uma capacitação para Militares sobre Segurança em Ressonância Magnética tendo como base teórica o *e-book* produzido nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ACR. **Manual on MR Safety**. 2024. p. 3-144. Disponível em: https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/MR-Safety/Manual-on-MR-Safety.pdf. Acesso em: 01 dez. 2024.

ASRT. Asrt. **Radiologic Technologist Best Practices for MR Safety**. 2018. 25 p. Disponível em: https://www.asrt.org/docs/default-source/research/whitepapers/asrt18_mrsafetywhitepaper.pdf?sfvrsn=ca0222d0_12. Acesso em: 1 dez. 2024.

ANVISA. Constituição (2021). Instrução Normativa nº 97, de 27 de maio de 2021. **Instrução Normativa - In N° 97, de 27 de Maio de 2021**: Dispõe sobre requisitos sanitários para a garantia da qualidade e da segurança em sistemas de ressonância magnética nuclear, e dá outras providências.. Brasil, 31 maio 21. n. 101. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6278817/IN_97_2021_.pdf/2d144a6d-02dc-4f2f-8531-4c8653ab449d. Acesso em: 01 dez. 2024.

ANVISA. Constituição (2022). Resolução da Diretoria Colegiada nº 116, de 09 de março de 2022. **Resolução da Diretoria Colegiada - Rdc Nº 611, de 9 de Março de 2022**: Estabelece os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista e regulamenta o controle das exposições médicas, ocupacionais e do público decorrentes do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas.. Brasil, 16 mar. 2022. n. 51. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407467/RDC_611_2022_.pdf/c552d93f-b80d-408e-92a0-9fa3573f6d46. Acesso em: 01 dez. 2024.

ANVISA. **instrução normativa, n° 97**: INSTRUÇÃO NORMATIVA - IN N° 97, DE 27 DE MAIO DE 2021. Brasil, 2021. 6 p. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6278817/IN_97_2021_.pdf/2d144a6d-02dc-4f2f-8531-4c8653ab449d. Acesso em: 01 dez. 2024.

AZHAR, Syifa *et al*. Clinician's guide to the basic principles of MRI. **Postgraduate Medical Journal**, Cingapura, v. 99, n. 1174, p. 894-903, 2023. Disponível em: https://academic.oup.com/pmj/article/99/1174/894/7148067. Acesso em: 28 out. 2024.

BEITIA, Anton Oscar *et al*. Spontaneous Discharge of a Firearm in an MR Imaging Environment. **Revista Americana de Roentgenologia**, v. 5, n. 178, p. 1092-1094, jun. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/11407157_Spontaneous_Discharge_of_a_Firearm_in_an_MR_Imaging_Environment. Acesso em: 21 nov. 2024.

DEMIR, Kadir Alpaslan Smart education framework. **Smart Learning Environments**, Istanbul, Turkey, v. 29, n. 8, p. 2-36, 2021. Disponível em:

https://slejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40561-021-00170-x. Acesso em: 29 jun. 2025.

FEDOCCI, Elizabete Melo Montanari *et al*. Construção e validação de um e-book sobre risco cardiovascular em pessoas vivendo com o vírus da imunodeficiência humana. **Acta Paul Enferm**, São Paulo, v. 36, p. 1-9, 2023. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ape/a/hvGZLLZ7pCCdDR5qKXHF7tN/?lang=pt. Acesso em: 29 jun. 2025.

FLEURY, Maria Tereza Leme *et al*. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Gv Pesquisa**, São Paulo, 2017. Disponível em: https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/151fc6d5-fcfc-47e4-a899-44a582ef5342/content. Acesso em: 02 fev. 2025.

G1. **Equipamento de ressonância magnética 'suga' arma de PM em SC Caso foi às 4h de quinta, mas revólver continua no local nesta sexta-feira. Segundo PM, é necessário um técnico especialista para fazer a remoção.** 2015. Disponível em: https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2015/08/equipamento-de-ressonancia-magnetica-suga-arma-de-pm-em-sc.html. Acesso em: 20 nov. 2024.

G1. **Campo magnético de máquina de ressonância puxou arma de advogado que morreu após ser baleado**. 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/02/07/campo-magnetico-de-maquina-de-ressonancia-puxou-arma-de-advogado-que-morreu-apos-ser-baleado-entenda.ghtml. Acesso em: 02 out. 2023.

G1. **Aparelho de ressonância 'engole' enceradeira em hospital de Brasília**. 2012. Disponível em: https://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2012/10/aparelho-de-ressonancia-engole-enceradeira-em-hospital-de-brasilia.html. Acesso em: 21 nov. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 129 p. Disponível em: https://www.academia.edu/48899027/Como_Elaborar_Projetos_De_Pesquisa_6a_Ed_GIL

GOMES, Raíssa Cipriano *et al*. ressonância magnética: princípios básicos na formação da imagem com ênfase na utilização do contraste gadolínio. **Connectionline**, Goiás, v. 21, p. 164-176, 2019. Disponível em: https://periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/1406. Acesso em: 17 nov. 2024.

HAGE, Maria Cristina Ferrarini Nunes Soares *et al*. Imagem por ressonância magnética: princípios básicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1287-1295, jul. 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/mmPL6rMp5vmPCRpmYH84Kbm. Acesso em: 18 nov. 2024.

KANAL, Emanuel *et al*. ACR guidance document for safe MR practices: 2007. **American Journal Of Roentgenology**, p. 1447-74, jun. 2007. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17515363/. Acesso em: 02 out. 2024.

KLEIN, Hans Martin. Low-Field Magnetic Resonance Imaging. **Thieme**, v. 192, p. 537-548, 2020. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8505165/. Acesso em: 18 nov. 2024.

KÜSTNER, Thomas *et al*. The intelligent imaging revolution: artifcial intelligence in MRI and MRS acquisition and reconstruction. **Biology And Medicine**, [*s. l*], v. 37, p. 329-333, 17 2024. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10334-024-01179-2. Acesso em: 17 nov. 2024.

LIMA, Anderson Nunes *et al*. The role of the magnetic resonance imaging safety supervisor: what we should know? **J. Health Med. Sci.**, v. 1, n. 7, p. 59-66, 2021. Disponível em: https://revistas.uta.cl/pdf/57/johamsc-oliveira-058-2017-05.pdf. Acesso em: 01 dez. 2024.

LINO, Maria Kécia Rufino et al. **construção de ebook sobre amamentação como estratégia de educação em saúde.** In: Conexão Unifametro 2021 - Fortaleza - CE, 2021. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/conexaounifametro2021/trabalho/215850>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 117-129, 2009. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/51/v3n1p117. Acesso em: 30 set. 2024.

MAZZOLA, Alessandro A. *et al*. Segurança em Imagem por Ressonância Magnética. **Revista Brasileira de Física Médica**, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 76-91, 2019. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/519. Acesso em: 02 out. 2024.

PAULA, Fabia Maria Souza *et al*. elaboração de material didático para processamento de produtos para saúde em unidades de atenção primária à saúde. **Sobecc**, São Paulo, v. 3, n. 22, p. 165-170, set. 2017. Disponível em: https://revista.sobecc.org.br/sobecc/article/view/220. Acesso em: 29 jun. 2025.

ROBAINA, José Vicente Lima *et al* (org.). **fundamentos teóricos e metodológicos da pesquisa em educação em ciências**. Bagai, 2020. 157 p. Disponível em: https://editorabagai.com.br/product/fundamentos-teoricos-e-metodologicos-da-pesquisa-em-educacao-em-ciencias/. Acesso em: 20 jan. 2025.

RODRIGUES, Any Mikaelle Alexandre *et al*. relactação e translactação: construção de um e-book educativo para gestantes e puérperas. **Revista da Faculdade Paulo Picanço,**, Não Tem, v. 5, n. 1, p. 1-18, 2025. Disponível em: https://revista.facpp.edu.br/index.php/rfpp/article/view/147. Acesso em: 29 jun. 2025.

SAMMET, Steffen; SAMMET, Christina L.. Implementation of a Comprehensive MR Safety Course for Medical Students. **Journal Of Magnetic Resonance Imaging**, Usa, v. 42, n. 6, p. 1478-1486, dez. 2015. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26172156/. Acesso em: 18 nov. 2024.

SAMMET, Steffen *et al*. Magnetic Resonance Safety. **Abdom Radiol**, Nova York, v. 3, n. 41, p. 444-451, mar. 2016. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4848040/. Acesso em: 20 nov. 2024.

SHAH, Aren; ARAN, Shima. A Review of Magnetic Resonance (MR) Safety: The Essentials to Patient Safety. **Cureus**, v. 10, n. 15, p. 1-9, out. 2023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10657250/. Acesso em: 18 nov. 2024.

SILVA, Hárinna Carla Oliveira da *et al*. Elaboração e validação de ferramenta educativa sobre instrumentais cirúrgicos. **Research, Society And Development**, Pará, v. 12, n. 8, p. 1-9, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373619309_Elaboracao_e_validacao_de_ferramenta_educativa_sobre_instrumentais_cirurgicos. Acesso em: 29 jun. 2025.

UOL. **Mulher é baleada pela própria arma durante exame de ressonância nos EUA**. 2023. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/internacional/ultimas-noticias/2023/12/08/mulher-tiro-nadegas-eua.htm. Acesso em: 21 nov. 2024.

VERAS, Larissa Torres et al. **construção de ebook sobre ist como estratégia de ensino na monitoria: relato de experiência.** In: Conexão Unifametro 2020 - Fortaleza- CE , 2020. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/conexaounifametro2020/trabalho/169099>. Acesso em: 29 jun. 2025.

VIDOTTO, Marina M. *et al*. Análise das diretrizes nacionais e internacionais para sistemas de diagnóstico de Ressonância Magnética e da conformidade de serviços de saúde com a legislação brasileira. **Revista Brasileira de Física Médica**, São Paulo, v. 17, n. 669, p. 1-8, 2023. Disponível em: https://rbfm.org.br/rbfm/article/view/669. Acesso em: 28 out. 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A

INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina



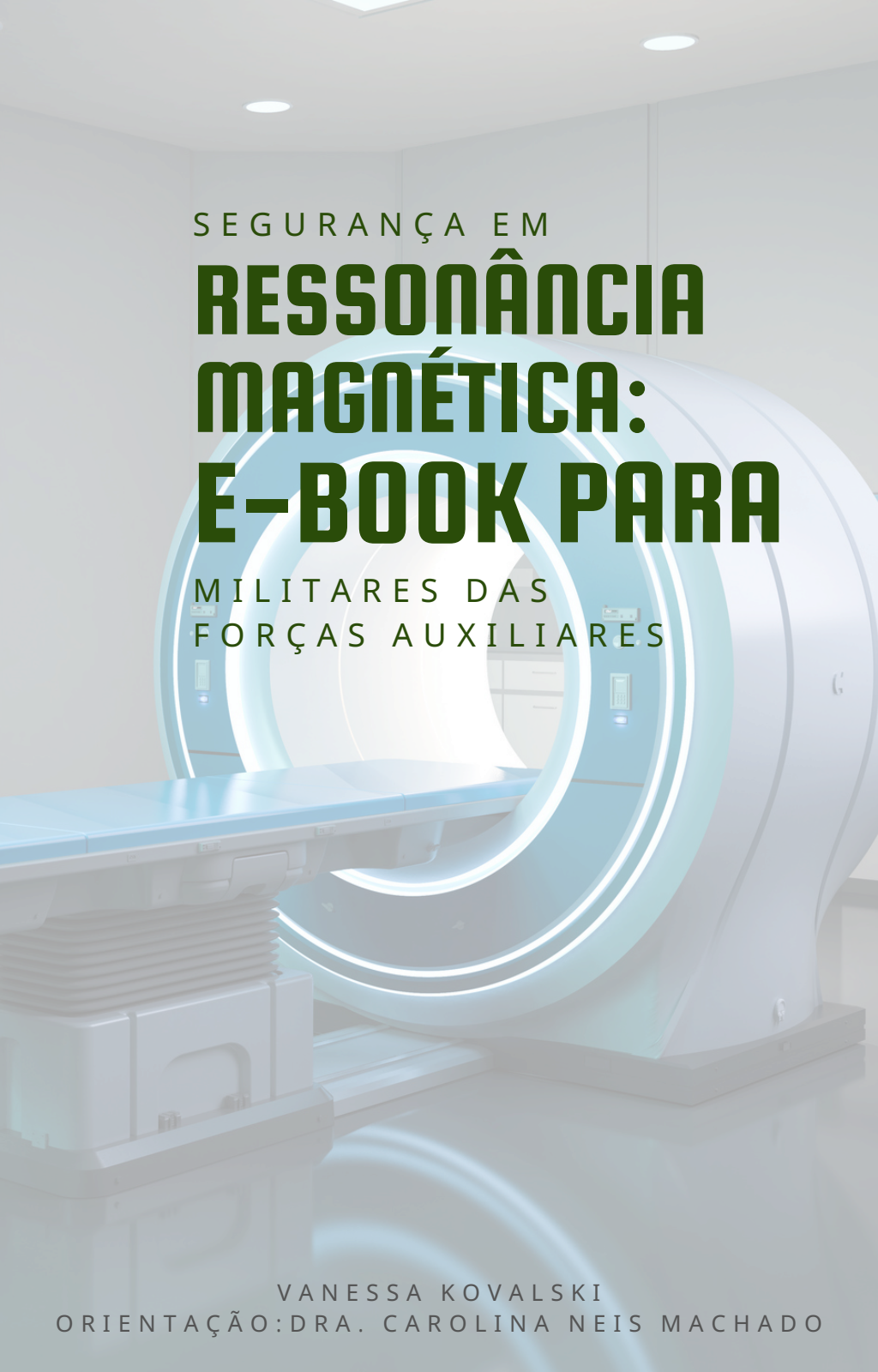
SEGURANÇA EM

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA:

E-BOOK PARA

MILITARES DAS FORÇAS AUXILIARES

VANESSA KOVALSKI



SEGURANÇA EM

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: E-BOOK PARA

MILITARES DAS FORÇAS AUXILIARES

VANESSA KOVALSKI
ORIENTAÇÃO: DRA. CAROLINA NEIS MACHADO

PREFÁCIO

Este material instrutivo foi idealizado a partir de uma aula sobre Segurança em Ressonância Magnética, na qual foi destacada pela professora Carolina Neis Machado a ausência de conteúdos voltados à capacitação de militares das Forças Auxiliares nesse contexto. A partir dessa reflexão, surgiu a proposta de desenvolver um e-book que abordasse, de forma didática e fundamentada, os principais riscos e normas de segurança em setores de RM.

O conteúdo foi construído com base em referências nacionais e internacionais, visando oferecer um recurso acessível, técnico e direcionado a profissionais que, embora não atuem diretamente na área da saúde, frequentemente acessam esses ambientes em situações emergenciais.

Por fim, agradeço à professora Carolina pela orientação dedicada e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pelo apoio ao longo desta trajetória.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - HISTÓRIA DA RADIOLOGIA: GRANDE ÁREA MÉDICA QUE INTEGRA A RESSONÂNCIA MAGNÉTICA COMO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEM 4

1.1 Introdução a radiologia e a proteção radiológica.....4

1.2 Métodos de diagnóstico por imagem.....8

CAPÍTULO 2 - HISTÓRICO E PROCESSO DE FORMAÇÃO DA IMAGEM POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA 12

2.1 História da ressonância magnética.....12

2.2 A física do equipamento de ressonância magnética.....15

2.2.1 Processos físicos na formação da imagem em ressonância magnética.....15

2.2.2 Aplicação do pulso de radiofrequência (RF).....17

2.2.3 Relaxação longitudinal e transversal (T1 e T2).....18

2.2.4 Formação da imagem.....19

CAPÍTULO 3 - SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: RISCOS, ACIDENTES E NORMAS.....21

3.1 Riscos em ressonância magnética.....21

3.1.1 Gradiente de campo.....22

3.1.2 Radiofrequência 23

3.1.3 Líquidos criogênicos.....25

3.1.4 Meios de contraste a base de gadolínio.....27

3.1.5 Campo magnético.....28

ÍNDICE

3.2 Acidentes envolvendo o efeito míssil na ressonância magnética..33

3.2.1 Arma de policial militar arremessada contra o magneto (2015).....34

3.2.2 Mulher baleada pela própria arma nos EUA (2023).....35

3.2.3 Arma de policial à paisana é atraída pelo equipamento de ressonância magnética.....35

3.2.4 Enceradeira fica presa a equipamento de ressonância magnética..36

3.2.5 Homem fica preso entre um cilindro de oxigênio e o magneto por mais de 4 horas (2014).....37

3.2.6 Cilindro de oxigênio atraído pelo magneto causa morte de acompanhante (2018).....38

3.2.7 Trauma ocular e fratura orbital causada pelo efeito míssil.....39

3.2.8 Advogado morre por disparo em abdome após arma ser atraída pelo equipamento de ressonância magnética.....39

3.3 Legislação acerca da segurança em ressonância magnética.....40

REFERÊNCIAS.....43

CAPÍTULO I – HISTÓRIA DA RADIOLOGIA: GRANDE ÁREA MÉDICA QUE INTEGRA A RESSONÂNCIA MAGNÉTICA COMO MÉTODO DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEM

1.1 Introdução a radiologia e a proteção radiológica

Para introduzir o estudo de ressonância magnética, é indispensável falar sobre a história de uma especialidade médica que atualmente é conhecida como sendo os "olhos da medicina" e que abriu as portas desta área para os mais diversos tipos de diagnóstico por imagem, incluindo a ressonância magnética, mesmo que esta utilize para formação da imagem outro tipo de energia que não é classificada como radiação ionizante (principal fonte de formação da imagem nas outras modalidades de diagnóstico). Esta especialidade é a radiologia, que teve início no dia 8 de novembro do ano de 1895, quando o cientista e físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (figura 1) descobriu o raio X durante experimentos em seu laboratório. (figura 2) Essa nova forma de energia descoberta por Röntgen nada mais é do que um tipo de radiação eletromagnética com baixo comprimento de onda e alta energia que se faz capaz de atravessar tecidos humanos e formar imagens. (Lima et al. 2021; Carvalho 2006)

Figura 1 - Wilhelm Conrad Röntgen



Fonte: Carvalho (2006)

Figura 2 - laboratório de Wilhelm Conrad Röntgen



Fonte: Carvalho (2006)

Tal descoberta revolucionou completamente o mundo da medicina diagnóstica. Logo após a descoberta dessa forma de energia antes desconhecida, cerca de um mês depois, o próprio Röntgen realizou na mão de sua esposa Anna Bertha a primeira radiografia do mundo, a qual pode ser observada na figura 3. (Lima et al. 2021; Carvalho 2006)

Figura 3 - mão de Ana Bertha



Fonte: Carvalho (2006)

O raio X despertou muito a curiosidade da população, pois era algo inusitado e nunca antes visto. A energia, até então desconhecida, instigou as pessoas e fez com que muitas a usassem de forma indevida associando-a até mesmo a algo místico, que permitia "ver por dentro". Alguns comércios da época como sapatarias utilizaram os raios X como uma sacada publicitária criando o "pedoscópio" (figura 4), onde faziam imagens dos pés de seus clientes dentro dos sapatos para verificar o encaixe perfeito entre os pés e os sapatos, ainda utilizavam slogans como: "ver é mais confiável do que sentir". (ESR 2012)

Figura 4 - "pedoscópio"



Fonte: Carvalho (2006)

A popularidade do raio X logo após sua descoberta foi muito bem aproveitada pelos comerciantes da época que usavam da energia e do termo “X ray” nos mais diversos produtos como bebidas, cigarros, lâminas de barbear, bolas de golfe e até mesmo espremedores de limão (figura 5) a fim de valorizá-los no mercado. (Carvalho, 2006)

Figura 5 - objetos que utilizavam o raio X como estratégia de marketing



Fonte: Carvalho (2006)

No ano seguinte da descoberta do raio X, em 1896 foi descoberta a radioatividade pelo casal Curie, onde Marie e Pierre descobriram os elementos polônio e rádio, que também foram muito usados pela indústria sendo utilizados desde a produção de cremes de beleza até a tintura de ponteiros de relógios com os materiais radioativos que brilhavam no escuro. (Carvalho 2006)

Por consequência desse uso exacerbado da radiação ionizante pela população da época, alguns efeitos nocivos da radiação começaram a aparecer nas pessoas, principalmente em forma de queimaduras seguidas de vermelhidão e inchaço das áreas expostas. Como este tipo de energia era algo novo, somente após a aparição desses

efeitos é que começou-se a desconfiar de que a radiação poderia fazer mal à saúde humana se usada de forma indevida. (ESR, 2013)

Foi por conta dessa nova percepção que uma ciência chamada proteção radiológica surgiu, tendo suas primeiras recomendações no ano de 1896. Esse novo parâmetro de estudo visa conhecer os efeitos nocivos da radiação ionizante no corpo humano, assim como as maneiras de se proteger deles. A partir desse período, estudiosos e cientistas da época começaram a se organizar em congressos internacionais de radiologia a fim de definir padrões seguros para o uso da radiação ionizante. Destes congressos iniciais surgiu a Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP). A ICRP é um órgão internacional independente que atua até os dias atuais no desenvolvimento, manutenção e elaboração de diretrizes, normas, legislação e programas que garantam o exercício da proteção radiológica. (Kang, 2016)

1.2 Métodos de diagnóstico por imagem

Após a descoberta da radiação ionizante, os avanços na medicina diagnóstica foram notáveis. Diversos métodos de diagnóstico por imagem foram criados, dentre eles: mamografia, para avaliação de neoplasias mamárias; raio X para avaliação bidimensional de estruturas ósseas; densitometria óssea, para quantificação do cálcio nos ossos; tomografia computadorizada, para uma avaliação tridimensional das estruturas do corpo humano, dentre outras. Todas as modalidades de exames citados anteriormente utilizam radiação ionizante para a formação da imagem. Porém, na radiologia temos duas especialidades que não utilizam esse tipo de energia, sendo elas a ultrassonografia, que utiliza ondas sonoras de alta frequência e a ressonância magnética que

emprega o uso de campo magnético e ondas de radiofrequência para a formação da imagem. (ESR, 2013)
Embora a tomografia computadorizada (figura 6) e a ressonância magnética (figura 7) tenham finalidades e princípios de funcionamento distintos, elas são frequentemente confundidas devido à semelhança no design físico de seus equipamentos.

Figura 6 - equipamento de tomografia computadorizada



fonte: Siemens (2025)

Figura 7 - equipamento de ressonância magnética



fonte: Philips (2025)

No entanto, enquanto a tomografia utiliza radiação ionizante para gerar imagens, a ressonância magnética se baseia em campos magnéticos e ondas de radiofrequência. Essa diferença fundamental implica em riscos distintos para o ser humano e, consequentemente, em cuidados específicos para cada modalidade diagnóstica. Por isso, é essencial compreender essas particularidades para garantir a segurança ao entrar em contato com esses equipamentos. Neste material instrutivo, iremos abordar todos os aspectos necessários para manter a segurança dentro de um setor de ressonância magnética. (Kijowski e Fritz, 2023)

Resumindo o capítulo...

A radiologia, conhecida como os "olhos da medicina", teve seu início em 1895 com a descoberta dos raios X pelo físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen. Ele realizou a primeira radiografia na mão de sua esposa, revelando uma nova forma de visualizar o interior do corpo humano. A novidade chamou atenção e foi usada de forma inadequada por comérciantes e indústrias, até mesmo em produtos como cigarros e espremedores de limão.

No ano seguinte, o casal Curie descobriu a radioatividade, também explorada comercialmente. Com o tempo, o uso excessivo da radiação mostrou efeitos nocivos à saúde, como queimaduras e inchaços. Isso levou ao surgimento da proteção radiológica, com a criação de normas de segurança por órgãos como a ICRP.

Diversas modalidades de diagnóstico por imagem foram desenvolvidos por meio da radiação ionizante, dentre eles: mamografia, raio X, densitometria óssea e tomografia. Porém, alguns métodos de diagnóstico como a ultrassonografia e a ressonância magnética, não utilizam radiação ionizante na formação da imagem. A ressonância magnética, por exemplo, usa um campo

magnético e ondas de radiofrequência para formar as imagens.

Apesar de terem a estrutura externa parecida, os aparelhos de tomografia e ressonância funcionam de formas diferentes e consequentemente apresentam riscos diferentes à segurança. Por conta disso, é importante conhecer o funcionamento da ressonância magnética, a fim de se proteger dos riscos à segurança que ela apresenta.

CAPÍTULO 2 – HISTÓRICO E PROCESSO DE FORMAÇÃO DA IMAGEM POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

2.1 História da ressonância magnética

A história da ressonância magnética é fundamentada por diversas descobertas de físicos famosos na área da física quântica, que os levaram a receber diversos prêmios Nobel. Neste segmento do capítulo, as principais descobertas e suas contribuições para a medicina diagnóstica serão abordadas.

Em 1922 Wolfgang Pauli (figura 8) percebeu que os números usados para descrever os elétrons nos átomos não explicavam tudo. Ele propõe usar valores meio-inteiros, como 1/2, para resolver o mistério. Ele sugere que os átomos tem um tipo de rotação interna (spins) e então em 1925, cria o princípio da exclusão que sugere que dois elétrons não poderiam ocupar o mesmo espaço com os mesmo valores quânticos, explicando como os elétrons se organizam dentro de um átomo. Por meio dessa descoberta, permitiu a criação da ressonância magnética nuclear e alguns anos depois, em 1945, recebeu o prêmio Nobel. (Minsky e Yáñez, 2019)

Figura 8 - Wolfgang Pauli



fonte: Minsky e Yáñez (2019)

Já em 1930, o físico Isidor Isaac Rabi (figura 9) dedicou-se a estudar as propriedades magnéticas de átomos e núcleos atômicos, buscando entender como eles "giravam" quando expostos a um forte campo magnético. Para descobrir mais sobre isso, usou um campo magnético e ondas de radiofrequência para realizar seus experimentos, cujos quais desvendaram inúmeras questões sobre o magnetismo dos prótons. Em 1944 também foi premiado com um prêmio Nobel. (Minsky e Yáñez, 2019)

Figura 9 - Isidor Isaac Rabi



fonte: Minsky e Yáñez (2019)

Em 1945 Eduard M. Purcell (figura 10), detecta pela primeira vez a ressonância de prótons de hidrogênio em materiais sólidos por meio de ondas de radiofrequência e um campo magnético forte, conseguindo também medir o momento magnético e a constante giromagnética (propriedades fundamentais para a formação da imagem). Na mesma época, porém de forma independente, o físico Felix Bloch (figura 11), realizava estudos de forma semelhante, estudando o comportamento das moléculas de hidrogênio mas em água líquida (H_2O). Embora os físicos tenham

trabalhado de forma independente, em 1952 receberam juntos o prêmio Nobel. (Minsky e Yáñez, 2019)

Figura 10 - Eduard M. Purcell



fonte: Minsky e Yáñez (2019)

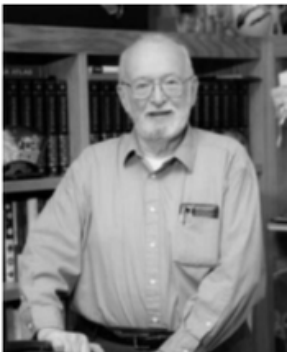
Figura 11 - Felix Bloch



fonte: Minsky e Yáñez (2019)

Após mais algumas descobertas, no ano de 1973, teve início a imagem por ressonância magnética quando Paul Lauterbur (figura 12) utilizou gradientes de campo para produzir imagens e Peter Mansfield (figura 13) desenvolveu uma fórmula matemática que possibilitou a reconstrução das imagens. Essas descobertas enfim possibilitaram o uso da ressonância magnética como método de diagnóstico por imagem. Ambos receberam o Nobel em 2003. (Minsky e Yáñez, 2019)

Figura 12 - Paul Lauterbur



fonte: Minsky e Yáñez (2019)

Figura 13 - Peter Mansfield



fonte: Minsky e Yáñez (2019)

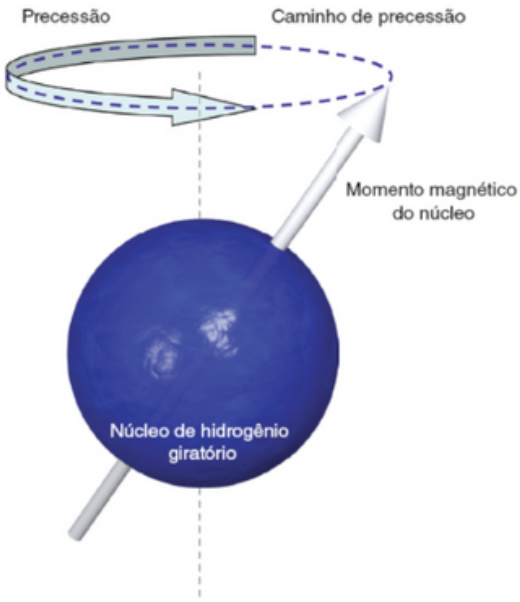
2.2 A física do equipamento de ressonância magnética

De maneira geral, em sua forma primária, o hardware (componentes externos) do equipamento de ressonância magnética é composto por um imã principal presente no magneto, bobinas de radiofrequência, bobinas de gradiente e um sistema especializado de computadores. O scanner de ressonância magnética utiliza imãs supercondutores para gerar um campo magnético forte, que é responsável pelo alinhamento dos prótons de hidrogênio do corpo humano no eixo longitudinal do paciente. Este intenso campo magnético é produzido através de uma corrente elétrica que passa por fios de uma liga metálica que estão imersos em Hélio líquido. Este fio não possui resistência elétrica, o que resulta em uma supercondutividade que gera o campo magnético forte. A intensidade do campo magnético é medida em tesla (T), e a grande maioria dos equipamentos médicos varia entre intensidades de 1,5 T e 3 T, resultando em uma intensidade de 50.000 a 100.000 vezes maior que a do campo magnético da Terra. (Azhar, et al., 2023; Klein 2020)

2.2.1 Processos físicos na formação da imagem em ressonância magnética

A física na qual se baseia a ressonância magnética parte do princípio de que um átomo ao interagir com um campo magnético externo ao seu ambiente, estando sob a influência dele se encontrará em movimento de precessão, onde o núcleo do átomo responde a força magnética externa na tentativa de alinhar-se na mesma direção do campo magnético ao qual está submetido. O movimento assemelha-se ao de um peão no momento que começa a perder sua força de giro e cambalear. (figura 14)

Figura 14 - Movimento de precessão

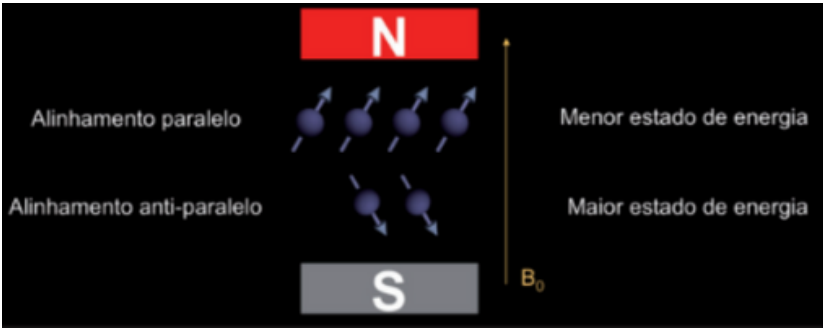


fonte: Westbrook e Talbot (2021)

Para formar a imagem na ressonância magnética, o átomo que responde ao estímulo magnético produzido é o hidrogênio (H), pois seus prótons tem o maior momento magnético (tendência do próton a interagir) e são os mais abundantes no corpo humano, o que resulta em uma maior sensibilidade ao campo. (Mazzola, 2009)

Cada próton possui um momento magnético respectivo, agindo no corpo humano como se fossem um imã de barra, com uma orientação aleatória. Quando ocorre a aplicação de um campo magnético intenso (B0) e externo ao seu meio, os prótons tendem a se alinhar na direção do campo aplicado. Esse alinhamento pode variar de acordo com seus níveis energéticos, podendo ser paralelo (baixa energia) e antiparalelo (alta energia) em relação ao campo (figura 15). (Mazzola, 2009; Azhar et al., 2023)

Figura 15 - Alinhamento paralelo e antiparalelo dos prótons



Fonte: Mazzola (2009)

2.2.2 Aplicação do pulso de radiofrequência (RF)

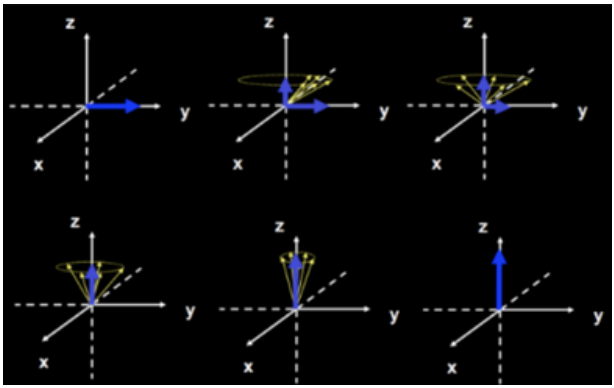
Para localizar corretamente os espaços que definem o eixo longitudinal e o plano transversal do paciente existem coordenadas, sendo elas: x,y e z. O eixo longitudinal é representado pela coordenada z e o plano transversal pelas coordenadas x e y. Através da aplicação de um pulso de radiofrequência (RF), a magnetização sai do eixo longitudinal do paciente e vai para o plano transversal em 90°. Nesse momento os prótons precessam (movimento de rotação) em fase (na mesma direção) fazendo com que seja possível emitir um sinal para a bobina, sinal esse que fará parte da formação da imagem. É possível também aplicar um pulso de RF de 180° ao em vez de 90°, que manterá a magnetização no plano longitudinal, porém em direção oposta, este é conhecido como pulso de inversão. A emissão e detecção desses pulsos são feitas por bobinas e têm por finalidade a transferência de energia para o vetor de magnetização, o induzindo a ir ao plano transversal e fazer com que os prótons precessem em fase (na mesma direção) no mesmo plano. No momento em que é cessado o pulso RF, o sinal decai e volta ao seu estado de equilíbrio em

alinhamento com o B0, que representa o sinal de indução livre (SIL). (Mazzola, 2009; Azhar et al., 2023; Gomes et al., 2019)

2.2.3 Relaxação longitudinal e transversal (T1 e T2)

A volta do vetor de magnetização ao estado de equilíbrio (figura 16), quando o mesmo se alinha novamente ao B0 é definido por duas constantes exponenciais de tempo, sendo elas: T1 e T2.

Figura 16 – Retorno do vetor de magnetização ao estado de equilíbrio



Fonte: Mazzola (2009)

Em T1 é definido o tempo que o núcleo leva para voltar a 63,2% da magnetização longitudinal após a aplicação de um pulso de RF de 90°. Na imagem de ressonância magnética, essa ponderação se apresenta com a **gordura** ficando em evidência e **"brilhando"** na imagem. Em T2, é definido o tempo necessário para que a magnetização transversal atinja 37% da magnetização inicial. No diagnóstico, a ponderação T2 deixa tecidos com grande concentração de **água** em evidência, os fazendo **"brilhar"** na imagem. A relaxação (tempo para voltar ao equilíbrio) varia de acordo com o tipo de tecido, o que é uma vantagem na

ressonância magnética, pois gera um contraste ótimo entre as substâncias. Sendo que, cada tempo de relaxação gera um tom de cinza diferente na imagem, facilitando assim a diferenciação das estruturas do corpo humano. (Mazzola, 2009; Hage et al., 2009)

2.2.4 Formação da imagem

Por meio da codificação espacial do sinal emitido pelas bobinas, é possível identificar de que local do corpo aquele sinal está sendo enviado. Para que isso aconteça são utilizados gradientes de campo magnético (variações do campo). A partir desses gradientes, cada pixel da grande matriz que forma a imagem tem uma intensidade de sinal diferente que consequentemente gera a ele um tom de cinza distinto. Através dessa longa escala de tons de cinza dos pixels é que conseguimos visualizar a imagem final. (Mazzola, 2009)

Três processos principais participam da formação da imagem final, são eles: seleção de corte, codificação de fase e codificação de frequência. Na seleção do corte, um pulso de RF é emitido com a mesma frequência da localização que se quer visualizar, dessa forma, somente os prótons dessa região irão ressonar e formar a imagem. Na codificação de fase ocorre a mudança de direção dos spins para que sejam proporcionais a sua localização. Já a codificação de frequência determina a posição dos prótons nos outros eixos permitindo localizar o sinal nos mesmos. (Mazzola, 2009; Hage et al., 2009)

Através da transformada de Fourier, após as informações serem armazenadas no espaço K (local não físico do equipamento que armazena os ecos) essas informações passam do domínio do tempo para o domínio de frequências, sendo reorganizadas de forma que cada pixel representa a intensidade do sinal de um local específico do corpo, obtendo assim a imagem de ressonância

magnética com seus devidos contrastes. (Mazzola, 2009; Azhar et al., 2023)

Resumindo o capítulo... 

A história da ressonância magnética foi marcada por grandes descobertas na física quântica que moldaram esse método de diagnóstico por imagem tão aclamado na atualidade. A grande maioria delas, tiveram tanta relevância que receberam o prêmio Nobel.

A ressonância funciona com base em dois princípios físicos fundamentais para a formação da imagem, sendo eles: o campo magnético gerado por um ímã supercondutor, que tem como principal função alinhar os prótons de H para que eles possam responder a estímulos; e a radiofrequência, que por meio de impulsos eletromagnéticos tiram os prótons de seu alinhamento e quando eles voltam ao equilíbrio emitem um sinal, que será captado por bobinas. Esses sinais após o processamento dos dados formam a imagem de ressonância magnética.

CAPÍTULO 3 – SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA: RISCOS, ACIDENTES E NORMAS

3.1 Riscos em ressonância magnética

A ressonância magnética é um dos métodos de diagnóstico por imagem que está inserido dentro da grande e abrangente área da radiologia. Apesar de muitas pessoas subestimarem os riscos e os cuidados com a segurança dentro deste setor devido ao fato de não haver radiação ionizante no processo de formação da imagem, outros riscos sérios são apresentados pelo equipamento e suas condições físicas de funcionamento. Dentre os principais riscos estão: **Gradientes de campo, radiofrequência, líquidos criogênicos, meio de contraste a base de Gadolínio e o intenso campo magnético**. Devido a todas as diferenças existentes nas instalações de ressonância magnética, é muito importante que os princípios gerais de funcionamento de um equipamento e os principais perigos associados a essa tecnologia sejam compreendidos pelas pessoas que um dia possam vir a entrar em contato com o setor. Por isso, é importante realizar treinamentos e simulações com o intuito de proteger pacientes, a equipe de ressonância magnética e também eventuais socorristas, policiais e bombeiros, que possam vir a atuar em situações emergenciais dentro do setor. Visto que, nem todo serviço dispõe de alguém especializado para orientar esses profissionais sobre os riscos presentes no ambiente. (Mazzola et al., 2019; ACR, 2024)

Neste capítulo abordaremos os principais riscos associados à ressonância magnética, a fim de saber reconhecê-los e como agir frente a situações emergenciais neste setor. Além de, inteirar-se com alguns exemplos de acidentes que já aconteceram e conhecer os principais

órgãos regulamentadores nacionais e internacionais acerca da segurança em ressonância magnética.

3.1.1 Gradiente de campo

Gradientes de campo são rápidas variações lineares na intensidade do campo magnético principal durante o processo da aquisição da imagem. Quando uma pessoa é submetida ao campo magnético do ressonador, uma corrente elétrica pode ser induzida por essas variações nos tecidos do corpo, ocasionando uma estimulação nervosa periférica, causando certos "formigamentos" nas extremidades. Somente a estimulação periférica não é preocupante, porém quando a estimulação nervosa começa a afetar o músculo cardíaco e o diafragma, passa a ser considerado um risco do ponto de vista da segurança. Para que isso não aconteça, existem normas de segurança que devem ser seguidas pelos fabricantes de equipamentos que restringem as taxas de variação das bobinas de gradiente a níveis seguros (até 200 T/m/s). (Mazzola et al., 2019; Westbrook e Talbot, 2021)

Ademais, outro risco associado aos gradientes de campo é o alto ruído produzido quando a corrente flui através da bobina e interage com o campo magnético estático no ato de ligar-se e desligar-se para emitir o sinal. Este ruído produzido pode atingir valores maiores do que 100 dB e causar prejuízos à audição do paciente, visto que, a grande maioria dos exames exigem um tempo de máquina elevado. Por conta disso, a legislação vigente tornou obrigatório o fornecimento de proteção auditiva tanto para pacientes e acompanhantes, quanto para membros da equipe que porventura estejam dentro da sala durante a realização do exame, que é quando a poluição sonora acontece. (Shah; Aran, 2023, Westbrook e Talbot, 2021)

3.1.2 Radiofrequência

A radiofrência deposita sua energia no corpo humano em forma de calor, podendo causar sobreaquecimento de regiões ou mesmo queimaduras. Para que fosse possível haver um limiar da quantidade de radiofrequência depositada sobre uma pessoa, foi criada uma taxa de absorção específica (SAR). O SAR é definido em Watts por quilograma (W/kg), e seus limites reiteram que a temperatura do corpo inteiro do paciente não deve ultrapassar nem mesmo 1° Celsius (C) dos limites já pré estabelecidos para cada região do corpo como tronco, cabeça e extremidades, que tem diferentes suscetibilidades ao aquecimento. (Sammet et al., 2016; Westbrook e Talbot, 2021)

Para que a segurança seja mantida em relação ao aquecimento durante a realização das imagens, três modos de operação do equipamento de ressonância magnética foram estabelecidos, sendo eles:

1. **modo de operação normal**, quando todos os níveis estão dentro da normalidade e o exame pode seguir sem problemas envolvendo aquecimento;
2. **modo de primeiro nível de operação controlado**, quando os níveis de calor ultrapassam os limites pré estabelecidos, porém o exame ainda pode ter sua continuidade desde que o operador assuma o risco e redobre o cuidado e atenção sobre aquele paciente que está sendo exposto;
3. **modo de segundo nível de operação controlada**, onde a liberação só ocorre por meio de aviso prévio ao fabricante e excluindo o uso clínico, usando-o apenas para pesquisa. (Mazzola et al., 2019; Sammet et al., 2016)

Algumas recomendações são feitas a fim de evitar que queimaduras e sobreaquecimentos aconteçam, dentre elas: o paciente não deve adentrar a sala com roupas e objetos inadequados que possam induzir o aquecimento, devem informar corretamente o seu peso (para calcular o SAR), a sala deve ser mantida na temperatura correta indicada pelo fabricante do equipamento e bem ventilada, não cobrir o paciente em excesso para evitar altos níveis de sudorese e dar atenção redobrada a pacientes que possuem tatuagens recentes, pois algumas tintas tem em sua composição óxido de ferro e outros componentes ferromagnéticos que aumentam a chance de aquecimento na região tatuada. (Shah; Aran, 2023; Mazzola et al., 2019)
Ademais, outro cuidado importante a ser tomado está no posicionamento do paciente, pois o mesmo não deve encostar em diferentes partes do corpo como por exemplo apoiar as mãos na lateral da coxa. (figura 17)

Figura 17 - contato entre regiões do corpo que geram aquecimento



fonte: Westbrook e Talbot (2021)

Essa ação cria uma "corrente biológica" e pode fazer com que a corrente induzida flua por ali e se concentre, causando um aquecimento intenso na região. (Westbrook e Talbot, 2021)

3.1.3 Líquidos criogênicos

Líquidos criogênicos como nitrogênio e hélio são gases liquefeitos que cumprem no equipamento de ressonância magnética a função de extinguir a resistência elétrica e gerar a supercondutividade que dará origem ao intenso campo magnético usado na formação das imagens. O criogênico mais comum usado para essa função é o hélio, em quantidades que vão de 1.400 L a 2.000 L. Existem 4 principais preocupações quanto à segurança acerca desse material, sendo elas: sensibilidade térmica, asfixia, resfriamento e explosão. (Mazzola et al., 2019; Westbrook e Talbot, 2021)

O hélio líquido possui uma temperatura de ebulição de 4 Kelvin (K) abaixo de zero, o equivalente a -269,15°C. Devido a esta temperatura extremamente congelante, representa um sério perigo relacionado à sensibilidade térmica ao manuseá-lo. O contato direto dessa substância com a pele pode causar sérios danos ao tecido biológico, há relatos de casos em que foram necessários enxertos de pele pelas queimaduras. O armazenamento deste material quando fora do sistema do equipamento de ressonância magnética deve ser feito somente dentro de dewars, um recipiente de paredes duplas e evacuadas entre elas que é altamente pressurizado para manter esse armazenamento seguro. Caso haja contato desse material com alguma região do corpo como as mãos, é necessário procurar ajuda médica, e como medida de primeiros socorros, deixar o membro em contato com água em temperatura ambiente. (Westbrook e Talbot, 2021)

Apesar de ser inodoro, sem sabor, inerte, não corrosivo e não tóxico, o hélio líquido é capaz de deslocar o oxigênio, substituir o ar ambiente e causar asfixia. Para condições normais de existência é necessário que os níveis de oxigênio estejam entre 19,5% e 23,5%, se o hélio reduzir o nível de oxigênio para baixo de 19,5% riscos à saúde da equipe já são apresentados, pois é prejudicada algumas funções cerebrais como a percepção e o julgamento. Se a concentração do oxigênio cair para 8% com a substituição, é provável que a pessoa dentro da sala perca completamente a consciência, se for abaixo de 6% levam apenas 10 segundos para a perda de consciência e no máximo 4 minutos para uma parada cardíaca. No ano de 2000, um engenheiro responsável pela instalação de um equipamento de ressonância magnética morreu após ser asfixiado por um vazamento de nitrogênio líquido que também pode ser utilizado como criogênico nos equipamentos e apresenta os mesmos riscos do hélio líquido em relação ao deslocamento de oxigênio. (Westbrook e Talbot, 2021)

Para diminuir o risco de asfixia existe uma válvula que permite a drenagem do criogênico em forma gasosa por um tubo de resfriamento, essa válvula é acionada pelo botão de emergência, o quench (extingue o campo magnético). Porém, a taxa de expansão do hélio é muito grande tendo a proporção de que 1 L de hélio líquido se tornará 754 L de gás. Devido ao alto volume de gás, há um grande risco de que esse tubo venha a se romper se estiver em mau estado de manutenção. Caso isso aconteça, o material pode se espalhar por toda a sala ou mesmo por todo o prédio, por isso é necessário que haja uma evacuação. Se houver alguém preso na sala, a equipe deve atentar-se ao salvamento, pois poucos segundos em contato com o gás podem causar graves prejuízos à saúde do socorrista. Além disso, a abertura da porta da sala deve ser sempre para o lado de fora, pois em caso de vazamento de criogênicos a pressão existente dentro da

sala não permite que a porta seja aberta se a mesma tiver a abertura para o lado de dentro. (Westbrook e Talbot, 2021)

Por fim, o criostato é um dispositivo pressurizado utilizado no equipamento de ressonância para manter a temperatura do hélio líquido em 4 K, temperatura em que ele apresenta a supercondutividade necessária para a geração do campo magnético. Durante a execução do quench uma válvula é aberta para permitir que todo gás seja liberado, se houver um problema nessa válvula e o ar ambiente entrar em contato com o vácuo no criostato, um possível aumento de pressão pode acontecer dentro da câmara criogênica (local onde o hélio líquido é armazenado) causando uma explosão. (Westbrook e Talbot, 2021)

3.1.4 Meios de contraste a base de gadolínio

O gadolínio é um metal paramagnético por ter como característica ser magnetizado apenas quando está sob influência de um campo magnético externo. Tal elemento atua como um contraste na ressonância magnética por acelerar os processos de relaxação T1 eT2, produzindo um aumento de sinal na estrutura do corpo que está sendo estudada. Apesar de trabalhar como um ótimo contrastador, o gadolínio é um metal pesado que apresenta alto nível de toxicidade aos tecidos biológicos, podendo se acumular neles e causar danos ao longo do tempo. Por conta disso, o material só é administrado nos pacientes quando ligado a um quelante que o encapsula e impede que interaja diretamente com os tecidos, reduzindo sua toxicidade. (Mazzola et al., 2019)

O contraste a base de gadolínio pode causar reações adversas a saúde dos pacientes, sendo divididas em três grupos distintos:

1. **agudos**, com maior recorrência, envolvem sensação de frio ou calor após a injeção, náusea, tontura, dor de cabeça, dormência ou coceira no local da administração do meio de contraste, sendo relatados em 0,07% a 2,4% das injeções;
2. **graves**, envolvendo urticárias, erupções cutâneas e broncoespasmos, incidindo em 0,004% a 0,7% das administrações e;
3. **fatais**, que são extremamente raras e envolvem apenas 0,001% a 0,01% dos casos. (Sammet et al., 2016)

Entretanto, em casos onde o paciente já tem a função renal comprometida, o gadolínio tende a piorar ainda mais a condição com o desenvolvimento de outra doença causada exclusivamente por ele que é a fibrose nefrogênica sistêmica (FNS). A FNS pode se manifestar dias ou anos após a administração do contraste se apresentando com dor, edema, prurido e eritema de pele, depois evolui para uma fibrose de órgãos como coração e pulmão resultando na insuficiência de diversos sistemas. (Mazzola et al., 2019)
Por fim, não há relatos de FNS em pacientes saudáveis e sem a função renal previamente comprometida. A Food and Drug Administration (FDA) impõe que os fabricantes do contraste devem demonstrar nos rótulos e bulas os riscos que correm os pacientes com problemas renais já estabelecidos. (Sammet et al., 2016)

3.1.5 Campo magnético

Os equipamentos de ressonância magnética disponíveis no mercado para uso clínico possuem uma variação de campo entre 1,5 T e 3,0 T, enquanto os de 7,0 T são usados para pesquisas. Tanto um, quanto o outro funcionam como grandes imãs supercondutores que tem uma insubstituível função na formação da imagem. Apesar de parecer inofensivo, o campo magnético apresenta 3

principais riscos em potencial em relação a segurança, sendo eles: Efeitos biológicos transitórios, risco de projéteis (efeito míssil) e o torque em dispositivos implantados (marca passos, clipe de aneurisma). (Mazzola et al., 2019; Westbrook e Talbot, 2021)

Quando submetidos a um campo magnético alto de 3,0 T a 7,0 T, alguns pacientes, funcionários e membros da equipe experimentam passar por alguns efeitos biológicos transitórios (somem quando cessada a exposição). À medida que a intensidade do campo aumenta, aumentam também esses efeitos biológicos, que na grande maioria das vezes se apresentam em forma de vertigem, gosto metálico na boca e *flashes* que são distúrbios ópticos no campo de visão. A vertigem causa náusea, tontura, movimento involuntário dos olhos, e uma instabilidade postural, sendo induzida principalmente por campos acima de 7,0 T. A vertigem é considerada um risco sério por cada pessoa poder apresentar uma sensibilidade diferente ao campo, assim como a intensidade deste efeito biológico. Por conta disso, é indicado que as pessoas que tiveram esse problema transitório sob a ação do campo magnético não operem máquinas ou mesmo dirijam seus automóveis até que os efeitos desapareçam por completo. O tempo para que o efeito cesse e tudo volte ao normal é de aproximadamente 15 minutos. (Westbrook e Talbot, 2021)

Outro risco sério e um dos que mais causa acidentes é a atração de objetos ferromagnéticos pelo campo magnético estático do equipamento. Essa atração pode ser chamada de “efeito míssil”, que tem sua definição quando um objeto ferromagnético é atraído com força pelo magneto (ímã da ressonância) podendo causar um choque mecânico violento contra o próprio equipamento, membros da equipe e pacientes. Esse risco é levado muito a sério pela equipe de ressonância e por conta disso, todo paciente deve trocar suas roupas antes de realizar o exame por um pijama que de preferência não tenha bolsos

para que não seja possível esconder objetos ferromagnéticos, além de passar por um "questionário de metais" onde informa se está portando algum objeto de natureza metálica, ou mesmo se tem algum dispositivo implantado em seu corpo. A atração do campo faz com que o objeto assuma a função de um projétil e sua colisão pode trazer inúmeros ferimentos ou mesmo induzir a uma morte provocada pelo trauma. Com relação a esta atração de objetos é importante ressaltar que tanto objetos pequenos como clips, moedas, tesouras e armas de fogo, quanto objetos maiores como cilindros de oxigênio, macas, cadeira de rodas e extintores de incêndio podem ser atraídos pelo magneto. (figura 18) Pois, ao contrário do que o senso comum nos faz deduzir, quanto maior é o objeto, maior é a força de atração que o campo exerce sobre ele. (Sammet e Sammet, 2015; Westbrook e Talbot, 2021)

Figura 18 - cadeira de rodas atraída pelo magneto

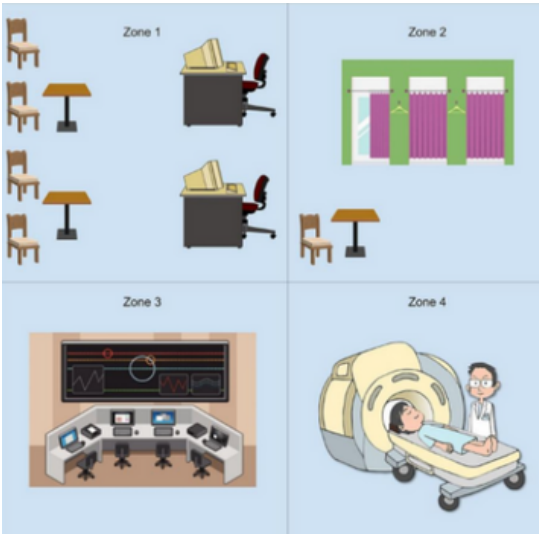


fonte: Westbrook e Talbot (2021)

A fim de manter a segurança dentro do setor de ressonância magnética, ele é dividido em zonas que possibilitam determinar uma organização e o controle de acesso às áreas mais críticas e perigosas. Esses ambientes são divididos em zonas I, II, III e IV. (figura 19)

1. **Zona I**: também conhecida como zona livre, refere-se ao local onde está condicionada a recepção e áreas adjacentes que permitem o livre acesso de pessoas do público e pacientes.
2. **Zona II**: local em que está condicionado o corredor de acesso à sala do magneto. Neste espaço o paciente nunca deve estar sozinho, é onde acontece o questionário de metais e a troca de roupas.
3. **Zona III**: área na qual se tem acesso livre ao magneto (sala de comando), neste local há somente a circulação de pessoas autorizadas e pacientes supervisionados.
4. **Zona IV**: a sala do magneto, onde os riscos envolvendo o campo magnético são ainda maiores. (Shah; Aran, 2023; Mazzola *et al*., 2019)

figura 19 - Zonas I, II, III e IV de um setor de ressonância magnética



Fonte: Shah e Aran (2023)

Ademais, o campo magnético ainda pode afetar dispositivos médicos implantados como stents, neuroestimuladores, clipes de aneurisma, implantes cocleares e marca-passos. Além da possibilidade desses dispositivos serem atraídos pelo campo magnético, eles podem sofrer torque, uma grandeza física que mede a tendência de uma força em fazer um objeto girar em torno do seu eixo, ou seja, o campo magnético pode "movimentar" esses dispositivos implantados nos pacientes. Entretanto, para evitar que acidentes aconteçam, existe um sistema que classifica os dispositivos como seguros para RM, inseguros para RM ou condicionais para RM (podem entrar em contato com o campo somente sob condições específicas de segurança). (figura 20) A compatibilidade desses dispositivos pode ser confirmada por meio do site mrisafety.com, que contém um banco de dados com todas as informações, recomendações e classificações de quase todos os tipos de dispositivos médicos. (Shah; Aran, 2023)

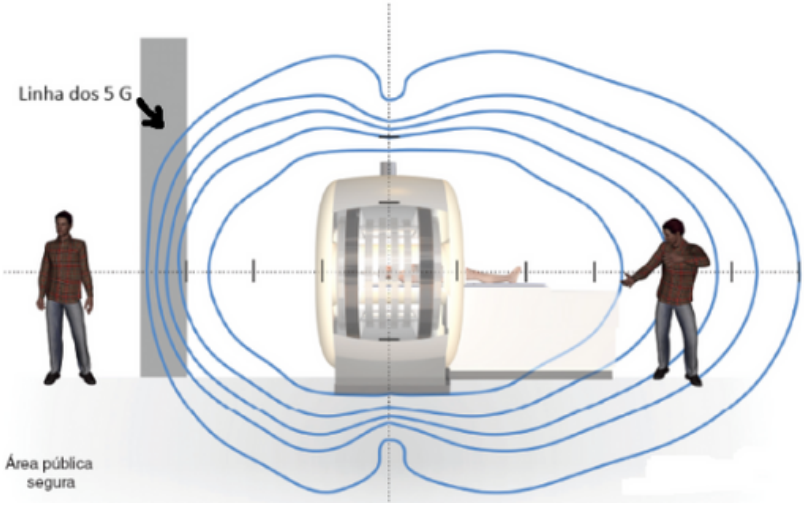
Figura 20 - Classificação de segurança para dispositivos implantados



Fonte: Shah e Aran (2023)

Por fim, para garantir uma segurança a mais acerca do campo magnético da ressonância, uma linha imaginária mas que deve estra demarcada no setor é traçada e ela se chama linha de 5 gauss (G). (figura 21) Essa linha está representada por que a partir dela, seguindo na direção contrária do magneto é considerado um ambiente seguro para as pessoas no que diz respeito ao campo magnético e aos dispositivos implantados. (Westbrook e Talbot, 2021)

Figura 21 - Linha dos 5 gauss



fonte: Adaptado de Westbrook e Talbot (2021)

3.2 Acidentes envolvendo o efeito míssil na ressonância magnética

Nesta seção do capítulo, será possível observar alguns exemplos de acidentes que já aconteceram envolvendo o campo magnético intenso da ressonância magnética, uma das fontes de risco que mais causa acidentes dentro do setor. Todos esses acidentes poderiam ter sido evitados se os profissionais ou mesmo as pessoas envolvidas tivessem o conhecimento e um treinamento sobre os riscos que o

campo magnético apresenta à segurança do ambiente. A seguir temos breves relatos de acidentes envolvendo o campo magnético. (Sammet e Sammet, 2015)

3.2.1 Arma de policial militar arremessada contra o magneto (2015)

Policiais da Polícia Militar (PM) de Santa Catarina (SC) realizavam uma ronda de rotina durante a madrugada do ano de 2015 na cidade de Florianópolis - SC. Durante a ronda perceberam uma movimentação estranha dentro de uma clínica de radiologia e diagnóstico por imagem e resolveram entrar para averiguar a situação. Enquanto realizavam a ronda dentro da clínica, um dos policiais adentrou a sala do magneto e teve sua arma atraída pelo aparelho de ressonância magnética (figura 22) ficando presa no mesmo por um tempo considerável até que um responsável técnico especializado da clínica conseguisse retirá-la. (Mazzola et al., 2019; G1, 2015)

Figura 22 - arma presa ao equipamento de ressonância magnética



Fonte: G1 (2015)

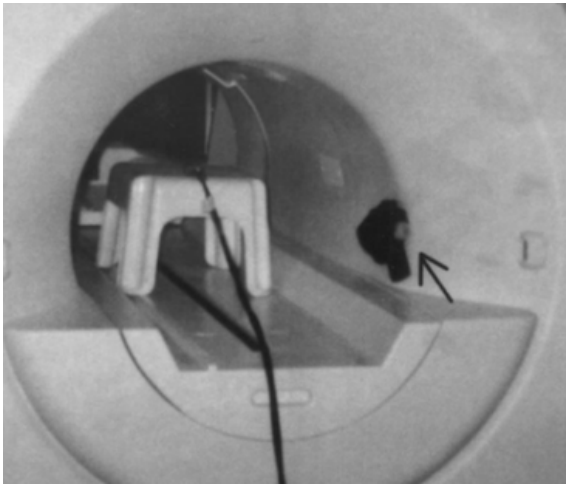
3.2.2 Mulher baleada pela própria arma nos EUA (2023)

Uma mulher de 57 anos, no dia 28 de junho de 2023, adentrou a sala do magneto para a realização de um exame portando uma arma de fogo que estava escondida em contato com seu corpo, mesmo que antes, no questionário de metais, tenha dito que não estava com nada proibido e afirmado ter compreendido os riscos de adentrar a sala com metais não compatíveis com o campo magnético. Ao entrar na sala, a arma que estava escondida foi atraída pelo campo magnético e efetuou disparos que atingiram a mulher em sua nádega direita. (Uol, 2023)

3.2.3 Arma de policial à paisana é atraída pelo equipamento de ressonância magnética

Um policial à paisana em seu dia de folga na cidade de Nova York foi até um centro de diagnóstico por imagem para realizar um exame de ressonância magnética. Quando respondeu ao questionário de metais, o policial avisou ao tecnólogo em ressonância que portava uma pistola semiautomática de calibre 45. Dessa forma, o mesmo recebeu as orientações sobre os riscos envolvendo o campo magnético do profissional responsável, porém, devido a informações repassadas com pouca clareza, o paciente adentrou a sala com a arma mesmo sabendo dos riscos, pois achou que se entrasse e a tirasse do contato com seu corpo antes de se aproximar do equipamento nada aconteceria. Quando o policial pegou a arma para apoiá-la em um armário na entrada da sala, a pistola foi atraída pelo equipamento (figura 23) e efetuou um disparo que atingiu a parede do local. (Beitia et al., 2002)

Figura 23 - arma presa ao equipamento de ressonância após ser atraída



Fonte: Beitia et al. (2002)

Para que a arma fosse retirada, o campo magnético do equipamento precisou ser extinto. (Beitia et al., 2002)

3.2.4 Enceradeira fica presa a equipamento de ressonância magnética

Um funcionário responsável pela limpeza do hospital de base de Brasília adentrou a sala de ressonância magnética com uma enceradeira, a fim de realizar a manutenção e higienização do ambiente. Quando o funcionário andou em direção ao magneto, a enceradeira foi prontamente atraída pelo equipamento (figura 24) e ficou presa lá por horas até que um pessoal especializado conseguisse realizar a retirada. (G1, 2012)

Figura 24 - enceradeira presa ao equipamento de ressonância magnética



Fonte: G1 (2012)

O choque mecânico da enceradeira contra o equipamento de ressonância magnética causou alguns problemas em seu funcionamento, fazendo com que o equipamento ficasse alguns dias sem funcionar. (G1, 2012)

3.2.5 Homem fica preso entre um cilindro de oxigênio e o magneto por mais de 4 horas (2014)

Este acidente aconteceu na cidade de Nova Deli, na Índia, em 2014. Na ocasião, dois funcionários do hospital ficaram gravemente feridos. O técnico em ressonância magnética solicitou ao porteiro do setor que trouxesse para dentro da sala uma máscara de oxigênio, o porteiro não cpmpreendeu a solicitação e entrou na sala com um cilindro de oxigênio que não era compatível com a ressonância magnética. Ao entrar na sala o cilindro foi

prontamente atraído pelo campo magnético (figura 25) prendendo tanto o porteiro, quanto o técnico ao magneto. (Mazzola et al., 2019)

Figura 25- homens presos entre o cilindro de oxigênio e o equipamento de ressonância magnética



Fonte: Mazzola et al. (2019)

Para agravar ainda mais a situação dos dois funcionários envolvidos, o botão de quench da ressonância, que tem como função extinguir o campo magnético, não funcionou. Os homens só foram liberados após 4 horas presos ao equipamento quando um engenheiro especializado da empresa fabricante conseguiu reduzir o campo magnético manualmente. (Mazzola et al., 2019)

3.2.6 Cilindro de oxigênio atraído pelo magneto causa morte de acompanhante (2018)

O caso aconteceu em 2018 no hospital Nair, em Mumbai, na Índia. Um homem de 32 anos estava no setor de ressonância acompanhando um parente que estava prestes a realizar um exame. Por mera falta de conhecimento um funcionário solicitou ao homem que

trouxesse para a sala de exames um cilindro de oxigênio, afirmando que o equipamento estaria desligado. Ao se aproximar do magneto com o cilindro ele foi fortemente atraído pelo equipamento, e devido ao choque mecânico liberou uma grande quantidade de oxigênio líquido sobre o rapaz. A grande quantidade de oxigênio acabou causando um pneumotórax e levando o homem à morte. (Mazzola et al., 2019)

3.2.7 Trauma ocular e fratura orbital causada pelo efeito míssil

O acidente aconteceu em 2014, na Nova Zelândia. Na ocasião, o paciente estava realizando um exame de ressonância na região do crânio. Ao dar início ao exame, um canivete que estava no bolso do paciente foi fortemente atraído pelo equipamento dando origem a um choque mecânico violento contra seu rosto fraturando-o na região orbital. A instituição em que o homem realizava o exame não seguia a recomendação de segurança da troca de roupas, por isso o paciente estava com suas próprias roupas e um canivete no bolso. (Mazzola et al., 2019)

3.2.8 Advogado morre por disparo em abdome após arma ser atraída pelo equipamento de ressonância magnética

O caso aconteceu na cidade de São Paulo no ano de 2023. Um advogado que estava acompanhando a mãe idosa em um exame, adentrou a sala do magneto portando uma arma carregada com 30 munições. Ao ajudar a equipe técnica a posicionar sua mãe na mesa de exames, a arma foi atraída e efetuou um disparo que o atingiu na região do abdome, após 21 dias internado o advogado teve sua morte registrada. A equipe da clínica em que o acidente aconteceu afirma que tanto a mãe, quanto o advogado

estavam cientes dos riscos e haviam assinado os termos de consentimento para a realização do exame. (G1, 2023)

3.3 Legislação acerca da segurança em ressonância magnética

A legislação brasileira e de outros países como os Estados Unidos da América (EUA) se diferem de diversas formas. A legislação acerca da segurança em ressonância magnética em outros países é mais antiga, e por consequência disso, mais ampla e abrangente em algumas questões. Dentre as diferenças estão os órgãos regulamentadores responsáveis por criar as normas que garantem a segurança tanto dos pacientes, quanto dos profissionais. No Brasil, o órgão responsável é a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), na América o órgão responsável é a Food and Drug Administration (FDA) e ambas seguem diversas recomendações do Colégio Americano de Radiologia (ACR). (Vidotto et al., 2023; ASRT, 2018)

A atual publicação da ANVISA sobre segurança em ressonância magnética é a Instrução Normativa (IN) n°. 59, de 20 de dezembro de 2019, que logo foi revogada e substituída pela n°. 97, de 27 de maio de 2021. (ANVISA, 2021) Nessa IN são abordados os requisitos sanitários necessários para que se mantenha a qualidade e a segurança em serviços de ressonância magnética, além de, abordar outros aspectos como a relação de testes e controle de qualidade e suas respectivas tolerâncias e periodicidades. Outro documento que norteia as instalações de ressonância magnética é a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) n°. 611, de 9 de março de 2022. (ANVISA, 2022) Apesar de relacionar-se mais com equipamentos de radiodiagnóstico que utilizam radiação ionizante, possui alguns aspectos condizentes com as instalações dos serviços de ressonância magnética. No

que diz respeito a normas internacionais, um dos documentos mais utilizados para incorporar as necessidades nacionais é o manual da ACR sobre práticas de segurança em ressonância magnética. (ACR, 2024) O mesmo vem sendo revisado e atualizado a cada ano para se adequar às novas tecnologias emergentes. (Vidotto et al., 2023)

Na IN n°. 97 que está em vigência no Brasil, alguns requisitos básicos de segurança estão instaurados, dentre eles: a classificação das zonas (I, II, III e IV) pelo serviço; a necessidade de sinalização de risco nas portas; sistema de detecção de metais; sistema para evacuação dos líquidos criogênicos, assim como abertura da porta da sala para o lado de fora; o programa de educação permanente sobre aspectos de segurança deve abranger toda a equipe do setor; disponibilização pelo serviço de proteção auditiva para pacientes, acompanhantes e profissionais. (Vidotto *et al*., 2023; ANVISA, 2021)

Para assegurar a relevância da necessidade dos cuidados acerca dos riscos em ressonância magnética, algumas organizações como o Conselho Americano de Segurança em Ressonância Magnética (ABMRS) recomendam que se tenha e certifica novos profissionais que desempenham a função de supervisor de ressonância magnética. A certificação acontece por meio de uma avaliação formal específica e tem validade de 10 anos. O profissional, após certificado, desempenha funções acerca da segurança do paciente e dos profissionais. Garante que estratégias e procedimentos de segurança rotineiros sejam cumpridos, realiza o gerenciamento de riscos, desenvolve e introduz procedimentos de trabalho mais seguros, treina as equipes do setor no que se refere a riscos e segurança em ressonância magnética, dentre outras atribuições. Apesar da grande relevância dessa certificação, visto que, possivelmente diminuiria casos de acidentes envolvendo a ressonância magnética, no Brasil ela ainda não é

regulamentada, sendo abordada somente por órgãos internacionais como o ABMRS. (Lima et al., 2021)

Resumindo o capítulo... 

A ressonância magnética (RM) é um método de diagnóstico por imagem seguro em relação à radiação ionizante, mas apresenta outras fontes de risco como gradientes de campo, radiofrequência, líquidos criogênicos, contraste a base de gadolínio e o forte campo magnético.

Os gradientes de campo podem causar formigamentos e ruídos intensos, exigindo proteção auditiva. A radiofrequência aquece os tecidos, podendo levar a queimaduras, e seu controle é feito pela Taxa de Absorção Específica (SAR). Já os líquidos criogênicos, como o hélio, apresentam perigos de queimaduras extremas, asfixia e até explosões em caso de vazamentos. O contraste a base de gadolínio pode causar reações adversas, que vão desde náuseas até complicações graves em pacientes com problemas renais e o campo magnético intenso representa riscos como atração de objetos metálicos (efeito míssil), deslocamento de implantes e efeitos transitórios como tontura.

Acidentes graves já aconteceram, incluindo ferimentos por armas, cilindros de oxigênio e objetos metálicos atraídos pelo equipamento. Para a prevenção, normas como as da ANVISA (IN nº 97/2021) definem requisitos de segurança, como zonas de acesso restrito e proteção auditiva a pacientes e acompanhantes. Internacionalmente, órgãos como o ACR e FDA estabelecem diretrizes mais amplas acerca da segurança.

Em resumo, a segurança em ressonância magnética depende de treinamento, fiscalização e cumprimento de protocolos para evitar que aconteçam acidentes com pacientes, profissionais e visitantes.

REFERÊNCIAS

ACR. Manual on MR Safety. 2024. p. 3-144. Disponível em: https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/Radiology-Safety/MR-Safety/Manual-on-MR-Safety.pdf. Acesso em: 01 dez. 2024.

ANVISA. Constituição (2021). Instrução Normativa nº 97, de 27 de maio de 2021. Instrução Normativa - In N° 97, de 27 de Maio de 2021: Dispõe sobre requisitos sanitários para a garantia da qualidade e da segurança em sistemas de ressonância magnética nuclear, e dá outras providências.. Brasil, 31 maio 21. n. 101. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6278817/IN_97_2021_.pdf/2d144a6d-02dc-4f2f-8531-4c8653ab449d. Acesso em: 01 dez. 2024.

ANVISA. Constituição (2022). Resolução da Diretoria Colegiada nº 116, de 09 de março de 2022. Resolução da Diretoria Colegiada - Rdc Nº 611, de 9 de Março de 2022: Estabelece os requisitos sanitários para a organização e o funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista e regulamenta o controle das exposições médicas, ocupacionais e do público decorrentes do uso de tecnologias radiológicas diagnósticas ou intervencionistas.. Brasil, 16 mar. 2022. n. 51. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6407467/RDC_611_2022_.pdf/c552d93f-b80d-408e-92a0-9fa3573f6d46. Acesso em: 01 dez. 2024.

ASRT - AMERICAN SOCIETY OF RADIOLOGIC TECHNOLOGISTS. Asrt. Radiologic Technologist Best Practices for MR Safety. 2018. 25 p. Disponível em: https://www.asrt.org/docs/default-source/research/whitepapers/asrt18_mrsafetywhitepaper.pdf?sfvrsn=ca0222d0_12. Acesso em: 1 dez. 2024.

AZHAR, Syifa et al. Clinician's guide to the basic principles of MRI. Postgraduate Medical Journal, Cingapura, v. 99, n. 1174, p. 894-903, 2023. Disponível em: https://academic.oup.com/pmj/article/99/1174/894/7148067. Acesso em: 28 out. 2024.

BEITIA, Anton Oscar et al. Spontaneous Discharge of a Firearm in an MR Imaging Environment. Revista Americana de Roentgenologia, v. 5, n. 178, p. 1092-1094, jun. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/11407157_Spontaneous_Discharge_of_a_Firearm_in_an_MR_Imaging_Environment. Acesso em: 21 nov. 2024.

CARVALHO, Antonio Carlos Pires. O mundo ao redor dos raios X. Imagem, Rio de Janeiro, v. 3, n. 28, p. 209-217, 2006. Disponível em: http://www.imagenologia.com.br/dow/upload%20historia/O-Mundo-ao-Redor-dos-Raios-X.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

ESR. THE STORY OF RADIOLOGY. Viena: 2012. 96 p. Disponível em: http://www.bshr.org.uk/The_Story_of_Radiology_Vol1.pdf. Acesso em: 11 maio 2025.

ESR. THE STORY OF RADIOLOGY. 2. ed. Viena: 2013. 53 p. Disponível em: http://www.bshr.org.uk/The_Story_of_Radiology_Volume_2_LR.pdf. Acesso em: 12 maio 2025.

GOMES, Raíssa Cipriano et al. ressonância magnética: princípios básicos na formação da imagem com ênfase na utilização do contraste gadolínio. Connectionline, Goiás, v. 21, p. 164-176, 2019. Disponível em: https://periodicos.univag.com.br/index.php/CONNECTIONLINE/article/view/1406. Acesso em: 17 nov. 2024.

G1. Campo magnético de máquina de ressonância puxou arma de advogado que morreu após ser baleado. 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/02/07/campo-magnetico-de-maquina-de-ressonancia-puxou-arma-de-advogado-que-morreu-apos-ser-baleado-entenda.ghtml. Acesso em: 02 out. 2023.

REFERÊNCIAS

G1. Equipamento de ressonância magnética 'suga' arma de PM em SC Caso foi às 4h de quinta, mas revólver continua no local nesta sexta-feira. Segundo PM, é necessário um técnico especialista para fazer a remoção. 2015. Disponível em: https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2015/08/equipamento-de-ressonancia-magnetica-suga-arma-de-pm-em-sc.html. Acesso em: 20 nov. 2024.

HAGE, Maria Cristina Ferrarini Nunes Soares et al. Imagem por ressonância magnética: princípios básicos. Ciência Rural, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1287-1295, jul. 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/cr/a/mmPL6rMp5vmPCRpmYH84Kbm. Acesso em: 18 nov. 2024.
KANG, Keon Wook. History and Organizations for Radiological Protection. J Korean Med Sci, Seul, Coreia, v. 31, p. 4-5, 2016. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4756341/. Acesso em: 13 maio 2025.

KIJOWSKI, Richard; FRITZ, Jan. Emerging Technology in Musculoskeletal MRI and CT. Radiology, Nova York, v. 306, n. 1, p. 6-19, 2023. Disponível em: https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.220634. Acesso em: 13 maio 2025.

KLEIN, Hans Martin. Low-Field Magnetic Resonance Imaging. Thieme, v. 192, p. 537-548, 2020. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8505165/. Acesso em: 18 nov. 2024.
LIMA, Pedro Thadeu Brainer et al. Brasileiros que contribuíram na história da Radiologia. Avanços em Medicina, Recife, v. 1, n. 1, p. 41-44, mar. 2021. Disponível em: https://jornalavancosmedicina.com/index.php/am/article/view/19. Acesso em: 11 maio 2025.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. Revista Brasileira de Física Médica, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 117-129, 2009. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/51/v3n1p117. Acesso em: 30 set. 2024.

MAZZOLA, Alessandro A. et al. Segurança em Imagem por Ressonância Magnética. Revista Brasileira de Física Médica, Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 76-91, 2019. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/519. Acesso em: 02 out. 2024.

MINSKY, Noemí Waksman; YÁÑEZ, Alma Saucedo. BREVE HISTORIA DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR: DESDE EL DESCUBRIMIENTO HASTA LA APLICACIÓN EN IMAGENOLOGÍA. Educación Química, México, v. 30, n. 2, p. 129-139, abr. 2019. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2019000200129. Acesso em: 18 maio 2025.

PHILIPS. Ingenia Ambition 1.5T X. 2025. Disponível em: https://www.philips.com.br/healthcare/product/HC781356/ingenia-ambition-15t-x-excelncia-em-seus-servios-dirios-de-rm-livre-de-hlio. Acesso em: 18 maio 2025.

SAMMET, Steffen; SAMMET, Christina L.. Implementation of a Comprehensive MR Safety Course for Medical Students. Journal Of Magnetic Resonance Imaging, Usa, v. 42, n. 6, p. 1478-1486, dez. 2015. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26172156/. Acesso em: 18 nov. 2024.

SAMMET, Steffen et al. Magnetic Resonance Safety. Abdom Radiol, Nova York, v. 3, n. 41, p. 444-451, mar. 2016. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4848040/. Acesso em: 20 nov. 2024.

SHAH, Aren; ARAN, Shima. A Review of Magnetic Resonance (MR) Safety: The Essentials to Patient Safety. Cureus, v. 10, n. 15, p. 1-9, out. 2023. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10657250/. Acesso em: 18 nov. 2024.
SIEMENS. SOMATOM go.Top com myExam Companion. 2025. Disponível em: https://www.siemens-healthineers.com/br/computed-tomography/somatom/somatom-go-platform/somatom-go-top. Acesso em: 18 maio 2025.

REFERÊNCIAS

UOL. Mulher é baleada pela própria arma durante exame de ressonância nos EUA. 2023. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/internacional/ultimas-noticias/2023/12/08/mulher-tiro-nadegas-eua.htm. Acesso em: 21 nov. 2024.

VIDOTTO, Marina M. et al. Análise das diretrizes nacionais e internacionais para sistemas de diagnóstico de Ressonância Magnética e da conformidade de serviços de saúde com a legislação brasileira. Revista Brasileira de Física Médica, São Paulo, v. 17, n. 669, p. 1-8, 2023. Disponível em: https://rbfm.org.br/rbfm/article/view/669. Acesso em: 28 out. 2023.

WESTBROOK, Catherine; TALBOT, John. Ressonância Magnética - Aplicações Práticas. 5. ed. Cambridge: Gen, 2021. 383 p. Disponível em: https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788527737937/epubcfi/6/42[%3Bvnd.vst.idref%3Dbm01]!/4/4/2/4. Acesso em: 18 maio 2025.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM RADIOLOGIA



VANESSA KOVALSKI
VANESSA.K08@ALUNO.IFSC.EDU.BR

FLORIANÓPOLIS, 2025