



**Escola Superior
de Tecnologia
da Saúde**

Politécnico de Coimbra

ANA FILIPA MORAIS MARTINS

**SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA –
AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE FORMAÇÃO,
EM PORTUGAL**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Imagem Médica e Radioterapia, orientada pelo Doutor Vítor Manuel da Fonseca e Silva e pelo Mestre Bruno Ribeiro Esteves e apresentada à Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Instituto Politécnico de Coimbra.

Outubro de 2025



**Escola Superior
de Tecnologia
da Saúde**

Politécnico de Coimbra

**SEGURANÇA EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA – AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES DE
FORMAÇÃO, EM PORTUGAL**

ANA FILIPA MORAIS MARTINS

**Dissertação em Mestrado em Imagem Médica e Radioterapia, orientada pelo Doutor
Vítor Manuel da Fonseca e Silva e pelo Mestre Bruno Ribeiro Esteves e apresentada à
Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Instituto Politécnico de Coimbra para ob-
tenção do grau de Mestre.**

Outubro de 2025

Agradecimentos

Desejo exprimir o meu mais sincero obrigado a todos aqueles que, de alguma forma, permitiram que esta dissertação se concretizasse.

A dissertação só foi possível com o apoio e ajuda dos meus orientadores, familiares, amigos e do meu namorado. Quero agradecer:

Ao meu orientador, Doutor Vítor Silva, pelo empenho, pela orientação e conselhos dados.

Ao meu orientador e colega de trabalho, Mestre Bruno Esteves, por acreditar e motivar-me.

Obrigado, Dr Vítor Silva e Mestre Bruno Esteves, pela disponibilidade, pelo incentivo e pela dedicação a esta dissertação. Todo o trabalho aqui presente não seria possível sem a sua ajuda e motivação constante para fazer melhor.

Agradecer também:

À minha mãe, por ser uma força da natureza, sendo um modelo para mim.

Ao meu pai, por me apoiar em todas as etapas e todos os meus sonhos.

Ao Hugo, pelo apoio, motivação e ajuda, por estar sempre presente, ao meu lado.

À minha avó, pela sua proteção e amor.

Aos meus colegas de trabalho, aos meus colegas de curso, a todos os Técnicos de Radiologia, obrigada pela vossa participação e dedicação.

Ao Professor João Paulo Figueiredo, pela sua importante colaboração na estatística de dados.

Resumo

Introdução: A Ressonância Magnética (RM) é um meio complementar de diagnóstico cada vez mais utilizado na prática clínica. Com o avanço da tecnologia em RM e nos dispositivos médicos implantáveis, aumentaram as questões sobre segurança em RM, impondo exigências ao Técnico de Radiologia (TR), sendo necessário uma constante atualização dos desenvolvimentos da tecnologia, para a realização de um exame seguro.

Objetivos: Avaliar as competências de segurança em RM dos Técnicos de Radiologia, que trabalhem em RM, analisar quais as áreas de segurança onde há maior necessidade de formação e promover a consciencialização dos Técnicos de Radiologia relativamente à importância da segurança em RM.

Métodos utilizados: O estudo do tipo qualitativo e transversal, conta com um questionário de autorresposta. Procedeu-se à recolha dos dados das respostas ao questionário, classificando a pontuação de cada participante. Cruzaram-se esses dados com anos de experiência profissional, a formação adicional em RM e formação em segurança em RM.

Resultados: No âmbito da formação adicional em RM, constatou-se que 25 inquiridos detêm uma Pós-graduação ou Mestrado na área. Quanto à formação em segurança em RM, 30 inquiridos têm formação nesta área. Os participantes com mais anos de experiência em RM, tem melhor classificação no questionário. Relativamente ao impacto da formação em segurança em RM, esta mostrou-se significativa. Verificámos que em algumas áreas específicas há necessidade de formação em segurança em RM.

Conclusões: Os resultados demonstram que, embora exista uma base sólida de conhecimento entre os TR, persistem lacunas críticas em áreas essenciais de segurança em RM. Essas fragilidades podem comprometer não apenas a qualidade do diagnóstico, mas sobretudo, a segurança dos doentes e profissionais. Portanto, é fundamental investir em formação contínua, certificação padronizada e supervisão institucional por profissionais especializados.

Palavras-chave: segurança, campos magnéticos, formação, acidentes

Abstract

Introduction: Magnetic Resonance Imaging (MRI) is a complementary means of diagnosis that is increasingly used in clinical practice. With the advancement of the technology of MRI and medical devices, the questions of safety increased. Radiographer must know the advanced technology for the safety of the examination.

Objectives: Assess the MRI safety skills of radiographer who work in MRI, analyse which safety areas require training, and promote radiographers' awareness of the importance of MRI safety.

Methods: The qualitative and cross-sectional study uses a self-response questionnaire. Data from responses to the questionnaire were collected, and each participant's score was classified. This data was cross-referenced with years of professional experience, additional training in RM and safety training in RM.

Results: In the context of additional training in RM, it was found that 25 respondents hold a Postgraduate degree or a Master's degree in the field. Regarding safety training in RM, 30 respondents have training. Participants with more years of RM experience scored higher on the survey. Regarding the impact of RM safety training, this is more significant. We found that in some specific areas, there is a need for RM safety training.

Conclusions: The results demonstrate that, although there is a solid knowledge base among radiographer, critical gaps persist in essential areas of MRI safety. These weaknesses can compromise not only diagnostic quality but, above all, the safety of patients and professionals. It is therefore imperative to invest in ongoing training, standardized certification and institutional supervision through specialized professionals.

Key words: safety, magnetic fields, training, accidents

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract	iii
Lista de Abreviaturas	vi
Lista de Símbolos	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Gráficos.....	x
Índice de Tabelas.....	xi
Introdução	1
Fundamentação teórica	3
Princípios Básicos de construção subjacentes à segurança em Ressonância Magnética	4
Campo Magnético Estático	4
Campos variáveis no tempo ou gradientes de campo	7
Estimulação Nervosa Periférica	8
Ruído acústico	9
Campos de Radiofrequência	10
Taxa de absorção específica	12
Parâmetro B_1+rms	13
Aquecimento dos implantes.....	13
Acidentes em RM	14
Gestão de Segurança	16
Zonas de segurança em RM	18
Definição pessoal e profissional dos utilizadores de RM	22
Dispositivos médicos implantáveis	25
Triagem dos doentes	26
Agentes de Contrastes	28
Fibrose Sistémica Nefrogénica	30
Retenção de contraste no cérebro	30
Gravidez e amamentação	30
Importância da formação em RM	32
Materiais e métodos	35
Resultados	39

Discussão	45
Limitações do estudo	56
Conclusão	57
Referências Bibliográficas	59
Anexos	67

Lista de Abreviaturas

ABMRS - *American Board of Magnetic Resonance Safety*

ACR - *American College of Radiology*

ASTM – *American Society of Testing Materials*

ATARP – Associação Portuguesa dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear

C - Celsius

CQ – Controlo de Qualidade

dB – Decibéis

dB/dt – Tempo de variação do campo de gradientes

DGS – Direção Geral de Saúde

DMI – Dispositivos médicos implantáveis

ECG – Eletrocardiograma

ECISO-MRI - *European Curriculum for Safety Officers in Magnetic Resonance Imaging*

EFRS – European Federation of Radiographer Societies

EQF – *European Qualifications Framework*

EPI – Sequência Ecoplanar

ENP – Estimulação Nervosa Periférica

ESR – *European Society of Radiology*

FDA – *Food and Drug Administration*

FOV – *Field of view*

FSN – Fibrose Sistémica Nefrogénica

G - Gauss

GBCA – *Gadolinium – based contrast agents*

GQ – Garantia de Qualidade

IEC – International Electrotechnical Commission

IBM – *International Business Machines*

MD – Médico Radiologista

mm – Milímetros

MRMD – *Magnetic Resonance Medical Director*

MRSE – *Magnetic Resonance Safety Expert*
MRSO – *Magnetic Resonance Safety Officer*
mT – Militesla
n - amostra
RF – Radiofrequência
RM – Ressonância Magnética
rms – *root mean square*
SAR – *Specific Absorption Rate*
SFG – *Spatial field gradient*
SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*
T – Tesla
TAS – Técnico Auxiliar de Saúde
TE – Tempo de eco
TR – Técnico de Radiologia
Tr – Tempo de repetição
W/kg – Watt por quilograma
μT – micro-Tesla
2D – Bidimensional
3D – Tridimensional

Lista de Símbolos

B_0 – Campo magnético estático

B_1 – Campo magnético de radiofrequência variável no tempo

% - percentagem

Índice de Figuras

Figura 1: Exemplos de acidentes causados pelo efeito míssil	5
Figura 2: Representação da força de atração	6
Figura 3: Traçado do Eletrocardiograma	7
Figura 4: Uso de roupas com metal ou fibras metálicas durante o exame de RM, que resultaram em queimaduras de RF na região abdominal.	11
Figura 5: Posicionamento correto e incorreto dos doentes num exame de RM.	11
Figura 6: Queimadura em criança após exame de RM.....	14
Figura 7: Representação das linhas de isocampo numa RM 3T	20
Figura 8: Exemplo de esquema ilustrado de uma instalação de RM.	22
Figura 9: Categorias de segurança dos dispositivos.	26

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Eventos adversos em RM, reportados para a FDA.....	15
Gráfico 2: Avaliação do desempenho dos participantes em Segurança em RM.....	41
Gráfico 3: Pontuação total dos 101 participantes em cada questão.	43

Índice de Tabelas

Tabela 1: Modos de operação do SAR, segundo a IEC	12
Tabela 2: Tópicos de segurança que os profissionais de nível 1 e nível 2 têm de saber.	23
Tabela 3: Tópicos de segurança em RM dos profissionais de nível 2, segundo a sua categoria profissional	24
Tabela 4: Caracterização biográfica da amostra.....	40
Tabela 5: Teste de Qui-quadrado de <i>Pearson</i>	41
Tabela 6: Índice de conhecimento relativamente aos anos de experiência.	42
Tabela 7: Perfil do TR e o impacto nas respostas ao questionário.....	43

Introdução

A Ressonância Magnética (RM) é um meio complementar de diagnóstico cada vez mais utilizado na prática clínica e em constante desenvolvimento. Uma das grandes vantagens da RM é a alta capacidade de diferenciação dos tecidos em todas as partes do corpo⁽¹⁾. Este meio de diagnóstico utiliza radiação não ionizante, em conjunto com os campos eletromagnéticos na aquisição das imagens. No entanto, esta conjugação tem os seus riscos e perigos próprios e alguns desses podem resultar em morte ou ferimentos graves. Devido ao avanço da tecnologia na prática clínica, a segurança em RM, torna-se ainda mais complexa. Os Técnicos de Radiologia (TR), têm de ter uma constante atualização dos conhecimentos relacionados com segurança em RM para garantir que eventos adversos sejam evitados. A formação em segurança em RM deve ser continuamente atualizada, para garantir um ambiente seguro em RM⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾.

Os profissionais de saúde, que desempenham funções na RM, devem ter formação adequada em segurança em RM, uma vez que a segurança do doente é da responsabilidade desses profissionais. De realçar, que a segurança dos doentes é também a segurança dos profissionais de saúde.

Devido as características físicas da RM, a exposição aos campos magnéticos estáticos, campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo e campos de radiofrequência (RF), podem ter como consequência o efeito de atração, efeito de torção, efeito de Zeeman, efeitos magneto hidrodinâmico, efeitos biológicos, como o térmico, estimulação nervosa periférica, náuseas, cefaleias, tonturas, magnetofosfenos e gosto metálico na boca, entre muitos outros. Para além destes efeitos e riscos, durante a realização do exame pode ser necessário administração de contraste intravenoso para complementar o diagnóstico, nomeadamente o gadolínio. No entanto, deste podem resultar reações não alérgicas, reações alérgicas, fibrose sistémica nefrogénica (nos casos mais graves, em doentes com insuficiência renal crónica em estadios mais graves), bem como a deposição do gadolínio nos núcleos denteados do cerebelo e núcleos da base do cérebro em indivíduos com função renal normal que realizaram exames de RM ao longo dos anos⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

Existem inúmeros incidentes/acidentes reportados e não reportados em RM (sendo esses a maioria) como queimaduras, acidentes mecânicos, projéteis, qualidade de imagem, relacionados com o ruído acústico, entre outros. Em Portugal não existe registo de incidentes ou acidentes, nem registo de efeitos biológicos causados pela RM durante e após término do exame, uma vez que não existe qualquer plataforma de reporte deste tipo de incidentes/acidentes. A subnotificação de incidentes/acidentes pode ser um problema, uma vez que um dos objetivos da notificação é agir para prevenir ocorrência de futuros incidentes/acidentes. A importância de as instituições de saúde reportarem os incidentes/acidentes é uma forma de aprenderem com os incidentes relacionados com a RM, podendo adaptar políticas hospitalares de forma a mitigar os incidentes/acidentes⁽²⁾.

Os TR, assumem maior responsabilidade na tomada de decisões relacionadas com a segurança em RM, com base no conhecimento adquirido expansivamente. Com os rápidos avanços da tecnologia em RM e nos dispositivos médicos implantáveis (DMI), quer ativos, quer passivos, aumentaram as questões sobre segurança em RM, impondo exigências ao TR, uma vez que é necessária uma constante atualização dos desenvolvimentos da tecnologia e novos DMI que vão surgindo no mercado diariamente.

Com este trabalho pretende-se avaliar os conhecimentos de segurança em RM por parte dos TR portugueses, que trabalhem em RM, analisar quais as áreas de segurança onde há uma necessidade maior de formação e promover a consciencialização dos TR relativamente à importância da segurança em RM, garantindo assim um exame seguro para os doentes e profissionais expostos aos campos eletromagnéticos, para melhorar a sua confiança dos TR na realização de um exame de RM, focando-se na segurança dos doentes, dos próprios profissionais que trabalham numa unidade de RM e do próprio departamento.

Fundamentação teórica

Num ambiente de RM, existem potenciais riscos e efeitos, não só para os doentes, mas para todos os profissionais de saúde que trabalhem na RM, bem como os acompanhantes dos doentes, familiares e outros profissionais de saúde que possam acompanhar algum doente à unidade de RM. Existem riscos também para agentes de segurança, pessoal da limpeza, responsáveis pelas infraestruturas e manutenção das mesmas, bombeiros entre outros, nomeadamente relacionados com o campo magnético estático⁽⁵⁾. O Colégio Americano de Radiologia ou *American College of Radiology* (ACR) fornece recomendações específicas para a educação de bombeiros e outros socorristas, por exemplo⁽⁵⁾.

As interações em RM são diferentes e individuais para cada pessoa. Os doentes com biótipo diferente (ectomorfo, mesomorfo e endomorfo) tem dissemelhantes características, que ao realizarem um exame de RM, podem sentir diferentes interações com os campos eletromagnéticos. Para além dos diferentes biótipos, existem outros doentes que requerem maior atenção, tais como os doentes internados nas Unidades de Cuidados Intensivos, nas instituições de saúde, uma vez que são acompanhados de dispositivos médicos (de monitorização na sua maioria), muitos deles não compatíveis com a RM.

Os doentes com DMI (ativos ou passivos), também podem sofrer diferentes interações consoante as características dos DMI, que sob a influência dos campos eletromagnéticos podem comprometer o seu funcionamento e posicionamento, aquecimento do DMI e indução de correntes elétricas, pondo em causa a segurança do doente.

Existem diferentes efeitos e riscos, mecânicos ou biológicos, para os profissionais de RM, doentes e outros colaboradores das instituições. Os objetos ferromagnéticos do quotidiano, tais como tesouras, moedas, chaves entre outros, podem transformar-se em projéteis, algumas roupas podem causar queimaduras uma vez que podem conter componentes metálicas e ligas condutoras de eletricidade, assim como os campos de RF causam a deposição de calor. Os campos magnéticos variáveis no tempo que podem causar estimulação nervosa periférica e os elevados níveis de exposição a ruído acústico podem levar à perda auditiva, temporária ou permanente⁽⁷⁾.

Princípios Básicos de construção subjacentes à segurança em Ressonância Magnética

Campo Magnético Estático

O campo magnético estático, da RM, também conhecido como B_0 , é um campo bastante intenso tipicamente entre 1.5 Tesla (T) – 7.0T para uso clínico atualmente, o que corresponde a 15000 a 70000 vezes superior ao campo magnético terrestre, respetivamente. Em Portugal, os equipamentos existentes na prática clínica são, maioritariamente de intensidade de campo de 1.5 e 3T. Os magnetos mais fortes têm potencial de proporcionar maior eficiência e maior qualidade de imagem. No entanto, introduzem riscos adicionais de segurança⁽⁴⁾. Cada vez mais, encontramos doentes com DMI encaminhados para realizar exame de RM, que, quando expostos aos campos magnéticos da RM, podem sofrer forças físicas, como translacionais e rotacionais⁽⁷⁾.

A segurança em RM começa nas instalações da RM e respetivo projeto de instalação. O campo magnético estático está sempre ligado. Assim sendo, é necessário garantir que o diagrama de linhas de isocampo seja respeitado. Este varia de acordo com cada equipamento de RM, independentemente da intensidade de campo usado, marca ou modelo do equipamento.

Os fornecedores de equipamentos de RM, fornecem os mapas das linhas de isocampo e de *Spatial field gradient* (SFG) ou gradiente espacial para cada equipamento, onde está demonstrada a mudança do campo magnético estático ao longo da distância ao equipamento e representam o ponto do seu máximo. Cada equipamento tem o seu mapa de gradiente espacial. Os TR, devidamente formados, devem saber interpretar os mapas de SFG, para determinarem a segurança dos implantes, e respetivas limitações de gradiente espacial aquando da exposição desses implantes ao longo da realização de um exame de RM⁽⁴⁾.

A linha isocampo de valor 9 Gauss (G) (ou 0.9 mT) (anterior linha de 5 Gauss), linha a partir da qual a exposição inadvertida de DMI ou equipamentos sensíveis a campos magnéticos pode desregular ou comprometer o funcionamento destes, como por exemplo dispositivos cardíacos implantáveis, deve estar contida dentro das paredes da

sala de exame⁽⁵⁾. No entanto, em campos mais intensos, esta linha poderá ultrapassar os limites da sala de exames (zona IV), dependendo das dimensões desta.

Esta área também denominada por *Fringe Field* (campo periférico), é onde perigosos acidentes podem ocorrer⁽⁸⁾. O acesso a esta área deve ser restrito, deve evitar-se a introdução de materiais não seguros nesta zona e evitar a exposição de dispositivos ou equipamentos sensíveis a campos magnéticos.

Qualquer objeto ferromagnético pode ser atraído pelo B_0 transformando-se num projétil perigoso, ocorrendo o chamado efeito míssil⁽⁹⁾. Este traduz-se na capacidade do campo magnético de RM atrair um objeto ferromagnético em direção ao magneto com uma força e velocidade considerável (Figura 1). A influência que B_0 tem sobre o objeto depende de vários fatores: forma, massa, conteúdo ferromagnético, distância à entrada do magnete e intensidade de campo magnético. Este pode representar um risco significativo para qualquer pessoa que esteja no caminho do objeto atraído.



Figura 1: Exemplos de acidentes causados pelo efeito míssil⁽⁴⁾.

As forças de atração são máximas nas entradas das aberturas do magneto (Figura 2) e vão ser maiores⁽⁴⁾:

- quanto maior a quantidade de material ferromagnético;
- quanto maior a intensidade de campo magnético presente;
- quanto menor a distância entre o objeto ferromagnético e o campo magnético.

Assim sendo, este efeito projétil é uma das maiores preocupações nas unidades de RM, causando muitos dos acidentes e incidentes em RM. Contudo, podem ser evitados, mediante uma triagem do doente correta.

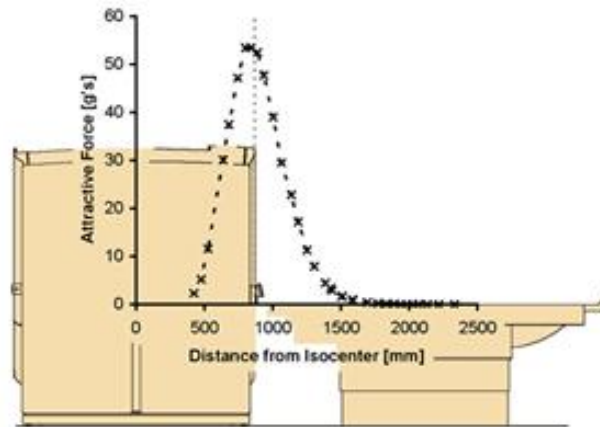


Figura 2: Representação da força de atração, máxima à entrada do magneto e 0 no centro do magneto⁽¹⁰⁾.

A força de torção ou torque traduz-se no alinhamento dos objetos com a direção do campo magnético⁽⁵⁾. É maior quanto:

- Maior a intensidade de campo;
- Centro do magneto (isocentro);
- Eixo mais longo do objeto tende a alinhar-se com a linhas de força do campo magnético;
- Objetos mais longos;

O torque é perigoso na presença de DMI. Por exemplo, clips aneurismáticos ferromagnéticos muito antigos, podem torcer causando danos nos tecidos ou hemorragia. Os fragmentos ou limalhas de metal nos olhos, podem mover-se ou torcer e danificar a área circundante, podendo resultar lesões oculares. Os implantes cocleares não compatíveis, podem torcer ou deslocar-se dentro do campo magnético, causando danos no ouvido interno e danos ao próprio dispositivo. Alguns implantes, dispositivos cardíacos implantáveis (como pacemakers, por exemplo) e válvulas cardíacas, podem mover-se podendo resultar danos em tecidos ou vasos⁽¹⁰⁾.

O risco de lesão é elevado se objetos ferromagnéticos entrarem inadvertidamente no ambiente de RM.

O comitê de Segurança em RM do ACR, recomenda que a porta da sala de exames de RM se mantenha sempre fechada, exceto para o acesso ao doente ou manutenção. Assim, evita-se a entrada inadvertida de profissionais e doentes, não autorizados na sala de exames.

As forças eletromagnéticas do campo magnético estático interagem com o corpo humano, podendo ocorrer efeitos reversíveis. Estes estão associados à movimentação ou trabalho em redor dos campos eletromagnéticos, podendo surgir náuseas, tonturas, nistagmo, vertigens, magnetofosfenos e/ou sabor metálico. Estes efeitos podem ser minimizados através de movimentação mais lenta, em redor dos campos eletromagnéticos⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾.

O efeito magnetohidrodinâmico é outro efeito da exposição aos campos magnéticos. Traduz-se, visualmente, no aumento temporário da onda T do eletrocardiograma (ECG), uma vez que os tecidos biológicos como o sangue, possuem correntes iónicas (Figura 3). No conteúdo endolinfático e na retina também ocorrem este tipo de forças, provocando tonturas e magnetofosfenos, respetivamente. Este efeito é maior quando o fluxo é perpendicular à direção do campo magnético⁽⁷⁾.



Figura 3: Traçado do Eletrocardiograma (ECG). Linha 1 – traçado do ECG fora do ambiente de RM, linha 2 – traçado dentro do ambiente de RM⁽¹⁰⁾.

Campos variáveis no tempo ou gradientes de campo

Os campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo são três bobinas de gradientes ortogonais que são ligados e desligados para selecionar a região anatómica de interesse e codificam espacialmente os sinais de RM⁽⁵⁾. A aceleração e a

desaceleração contínua dos campos de gradientes levam à sua definição padrão como campos magnéticos variáveis no tempo. A rápida variação das correntes das bobinas de gradiente origina elevado ruído acústico durante a RM, bem como a estimulação nervosa periférica(ENP)⁽⁹⁾⁽¹¹⁾. Os principais riscos dos gradientes de campo são o ruído acústico, arritmia cardíaca não intencional, ENP e mau funcionamento dos DMI. Este campo está presente apenas durante a aquisição ativa da imagem em RM.

Estimulação Nervosa Periférica

Os gradientes de campo são os responsáveis pela ENP, uma vez que induzem um campo elétrico nos tecidos do doente e estes agem como condutores, ocorrendo despolarização das membranas celulares e excitação nervosa periférica (pele e gordura subcutânea). Verifica-se uma indução/alteração da corrente do axónio quando sujeito ao campo magnético, os gradientes ao ligar e desligar vão fazer variar a corrente, alterando a corrente no axónio. Sentem-se nos membros porque estão alinhados com o eixo Z. Doentes magros com menor massa muscular têm maior ENP⁽⁶⁾.

A ENP aumenta com *slew rate* do equipamento de RM, nas sequências eco planares (EPI), usadas na difusão e RM funcional por exemplo, *Field of view,s* (FOV's) mais pequenos, cortes com espessura de corte mais fina, cortes oblíquos e em, doentes com materiais ferromagnéticos e implantes de instrumentação de grande dimensão existe um risco maior de poder sofrer vibrações mecânicas ao longo do exame devido ao tamanho do material de instrumentação, como por exemplo o material de correção de escoliose⁽⁴⁾⁽⁶⁾.

O *slew rate* corresponde a taxa de aceleração de um gradiente, desde zero até a sua amplitude máxima. Assim, quanto menor o tempo de subida, mais rápidos são os gradientes, maior probabilidade de ocorrência de ENP.

O gradiente de campo pode provocar efeitos térmicos e não térmicos. Os efeitos térmicos, a energia é depositada pelas correntes induzidas, mas são negligenciáveis⁽⁶⁾.

Os efeitos não térmicos são a ENP da pele e da gordura subcutânea, estimulação muscular, cefaleias, vertigens, arritmias, potencial epileptógeno e magnetofosfenos.

Ruído acústico

A RM está associada a níveis elevados de ruído acústico. Este tem a sua origem maioritariamente pelas forças de *Lorentz* e *Laplace*, que são geradas pelas rápidas alterações de corrente elétrica nas bobinas de gradiente⁽⁴⁾. Contudo, o ruído também podem ter origem noutros fatores como: a correntes de *Eddy* (devido à lei de Faraday, onde há indução elétrica nas estruturas metálicas envolventes aos gradientes); ondas de RF (pressão gerada pelas ondas de RF, no entanto negligenciável); ruído ambiente (sistema de refrigeração de hélio e compressor); *Chiller* (sistema de água) e ar condicionado⁽¹²⁾⁽¹³⁾.

Devido as forças físicas que se desenvolvem entre as correntes desenvolvidas e B_0 , que deformam e vibram as bobinas gradiente produzindo forças de “compressão” que dão origem ao ruído acústico. Estas forças são proporcionais à intensidade de campo magnético e à intensidade dos gradientes⁽⁶⁾.

Na prática os níveis de ruído acústico podem exceder 110-130 decibéis (dB). O ruído acústico aumenta com a redução da espessura de corte, diminuição do FOV, diminuição do tempo de repetição (T_r), diminuição do tempo de eco (TE) e uso de sequências mais rápida⁽¹⁴⁾. Dependendo dos níveis de ruído, pode acontecer zumbidos, acufenos, deterioração auditiva, surdez temporária e ansiedade.

Em Portugal, não há limite de exposição ao ruído acústico em RM. No entanto, a *International Electrotechnical Commission* (IEC) exige o uso de proteção auditiva quando os limites de exposição acústica excedem os 99 dB⁽¹⁵⁾. Num exame de RM, o TR tem de garantir que o uso dos abafadores e/ou com tampões auditivos para diminuir o ruído. É recomendado o uso simultâneo de proteções auditivas e abafadores para maior eficácia de proteção auditiva, uma vez que esta depende do ajuste e aplicação correta da proteção auditiva⁽⁴⁾⁽⁵⁾. Contudo, na legislação nacional, para os trabalhadores, a exposição o ruído acústico tem como limite de ação inferior o valor de 80 dB, sendo que se ultrapassado, requer a implementação de medidas preventivas de proteção⁽¹⁶⁾.

Pode-se reduzir o ruído acústico através dos seguintes parâmetros: uso de sequências bidimensional (2D), em detrimento das tridimensionais (3D); maior espessura de corte; pulsos *low SAR*; maior FOV; matrizes de imagem mais grosseiras; aumentar o TE;

diminuir *bandwidth*; aumentar o TR; usar valores de *b* menores nas sequências de difusão e selecionar sequências do tipo “*Quiet*” ou “*Whisper*”⁽⁶⁾.

Campos de Radiofrequência

O campo de radiofrequência (RF), também denominado B_1 , consiste num campo eletromagnético gerado pelas bobinas de RF, para transferir energia aos prótons e induzir a RM à frequência de *Larmor*. O impulso de RF vai excitar os prótons, fazendo com que estes saiam temporariamente do alinhamento de B_0 . Quando o impulso de RF é desligado, os prótons vão alinhar-se novamente com B_0 , libertando energia. Esta é convertida em sinal pelas bobinas de RF que será processado para gerar a imagem de RM. Este campo, caracterizado pela sua amplitude, frequência, duração e forma do pulso, é o responsável pelos riscos de aquecimento de materiais e tecidos humanos, durante a aquisição de imagem em RM⁽¹⁰⁾.

A distribuição da RF não é uniforme. A absorção de energia dos campos de RF resulta na oscilação das moléculas, gerando calor. No corpo humano, há uma dilatação dos vasos sanguíneos, que aumenta o fluxo sanguíneo de modo a dissipar o calor pela pele. As características eletromagnéticas e térmicas variam nos diferentes órgãos e regiões anatómicas. O olho, os testículos e útero têm uma dissipação de calor lenta. Os membros superiores e inferiores dissipam o calor rapidamente em comparação com os órgãos abdominais⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾.

Os principais riscos do campo B_1 são: o aquecimento geral do doente; aquecimento localizado que pode resultar em queimaduras; aquecimento dos DMI; indução de correntes elétricas e o mau funcionamento dos DMI.

As queimaduras de RF são o efeito adverso mais comum reportado em RM. Estas são causadas predominantemente pelos cabos das antenas, contato direto com o cabo da bobina de RF, ou através do circuito elétrico formado pelo corpo do paciente⁽¹⁴⁾⁽¹⁷⁾.

São várias as situações que podem causar queimaduras: o contato pele a pele pode levar a uma alta concentração de corrente, onde resulta um aquecimento concentrado e localizado; o posicionamento inadequado do doente pode resultar em queimaduras; uso de roupas com microfibras com componentes metálicos invisíveis podem produzir correntes eletromagnéticas parasitas (Figura 4), e por consequência causar

queimaduras. Daí a importância de todos vestirem batas fornecidas pelas instituições de saúde, onde a sua composição é algodão; certos tipos de adesivos, como os utilizados para aliviar a dor, podem ter suporte metálico, que pode induzir corrente elétrica na superfície da pele e atuar como condutor, aumentando o risco de aquecimento e queimaduras⁽¹⁸⁾.

Para evitar estes acidentes, os TR devem tomar medidas preventivas como: indicar que o doente retire as suas roupas e vista roupa hospitalar⁽¹⁹⁾; evitar contacto pele com pele e pele com o magnete, se necessário colocar almofadas de impedância elétrica no mínimo com 5 milímetros (mm) de espessura (Figura 5); verificar o posicionamento dos membros superiores e inferiores como por exemplo o entrelaçar os dedos das mãos e o cruzar de pernas; garantir que nenhum eléctrodo ou monitor entre em contato com a pele do doente. Os eléctrodos não compatíveis, outros materiais ferromagnéticos e eletrónicos não compatíveis deverão ser retirados antes do doente entrar na sala⁽⁶⁾⁽⁸⁾.

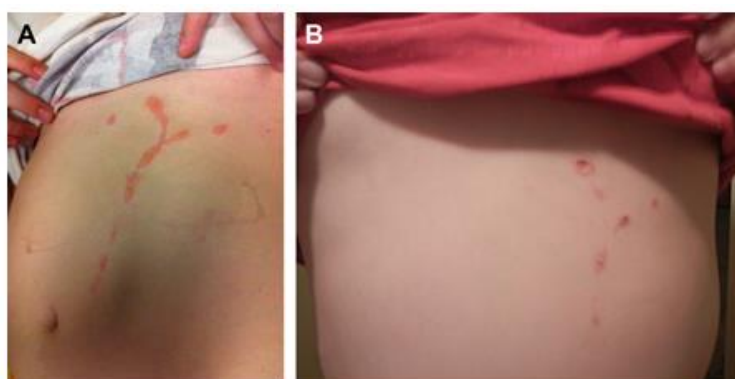


Figura 4: Uso de roupas com metal ou fibras metálicas durante o exame de RM, que resultaram em queimaduras de RF na região abdominal. A) 2 horas após exame; B) 2 semanas após exame⁽¹⁹⁾.

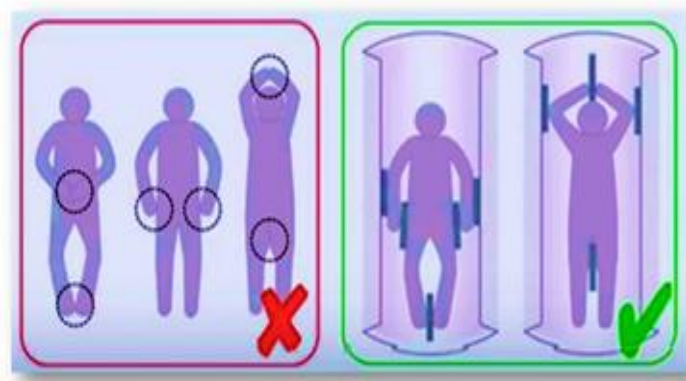


Figura 5: Posicionamento correto e incorreto dos doentes num exame de RM. Assinalado a vermelho estão indicados os posicionamentos dos doentes que podem causar queimaduras. A verde está indicado o correto posicionamento com uso de almofadas de impedância elétrica⁽⁴⁾.

Taxa de absorção específica

A taxa de absorção específica ou *Specific Absorption Rate* (SAR) é o termo utilizado para estimar a taxa de absorção de energia da RF pelo corpo humano na RM. É expressa em Watts por quilograma (W/kg). O SAR é uma estimativa da taxa de absorção de energia pelo doente e não a dose total. A tabela 1 representa os três modos de operação⁽⁵⁾.

Tabela 1: Modos de operação do SAR, segundo a IEC⁽¹³⁾.

Modos de operação	Descrição
Modo normal	Limita o SAR de corpo inteiro a menos de 2 W/kg; Representa risco negligenciável; É o mais utilizado na prática clínica;
1º nível controlado	Limite do SAR inferior a 4 W/kg; Necessária supervisão médica; Probabilidade de efeitos biofísicos devido a exposição aos campos eletromagnéticos; Representando risco mais elevado comparativamente ao modo normal;
2º nível controlado	Valor de SAR superior a 4 W/kg; Elevado risco de efeitos biofísicos; Obrigatória supervisão médica; Normalmente não é usado na prática clínica, mas sim para investigação; Requer aprovação de conselhos éticos.

A carga térmica é preocupante em doentes com o sistema de termorregulação descompensada, doentes em estado febril, doentes com cardiopatia descompensada e grávidas. O uso de medicamentos como os diuréticos, beta-bloqueantes, bloqueadores de cálcio anfetaminas e sedativos podem alterar a resposta termorreguladora do doente. Sugere-se a avaliação individualizada⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

É importante manter o SAR no nível mais baixo possível, de maneira a minimizar possíveis efeitos adversos. Na presença de um doente em estado febril, a temperatura

pode aumentar até 1 ° Celsius (C), podendo agravar o seu estado clínico. É importante a medição da temperatura corporal antes da realização do exame em doentes em estado febril e avaliar o risco benefício da realização do exame de RM.

Parâmetro B_1+rms

O B_1+rms caracteriza a exposição ao campo B_1 . O *root mean square* (rms) é uma média da raiz quadrada transmitida pela RF ao longo de 10 segundos, medida em micro-Tesla (μT)⁽⁵⁾. É o parâmetro mais preciso na medição da exposição à RF, difere de sequência para sequência e é independente do biótipo do doente.

A IEC considera, B_1+rms importante para a avaliação do potencial aquecimento dos DMI⁽⁶⁾.

Aquecimento dos implantes

Fios condutores, cateteres e elétrodos, com comprimento específico podem apresentar um alto risco de aquecimento. A corrente potencial induzida pode gerar o chamado efeito antena nos objetos mencionados quando expostos ao RF pode causar aquecimento nos tecidos biológicos em redor das extremidades desses objetos⁽²⁰⁾. É muito importante ter em consideração o comprimento do implante e a frequência da onda de RF do equipamento de RM em questão. Tendo em conta alguns casos, pode ser mais seguro realizar um exame em 3T do que 1,5T, devido ao comprimento do implante⁽²⁰⁾.

O aquecimento dos DMI depende do comprimento de onda da água no vazio de acordo com a intensidade de campo e o comprimento de onda de RF nesse mesmo campo onde se está a trabalhar. O comprimento de onda do implante terá de ter metade do comprimento de onda da água. Assim, num equipamento 3T o comprimento de onda da água é de 26 cm, a metade deste é 13 cm, o que significa que o aquecimento do DMI pode ser crítico em DMI com 13 cm. Num equipamento 1,5T, o comprimento de onda da água é 52 cm, a metade deste é 26cm o que implica que DMI com comprimento de 26 cm pode ser crítico⁽²⁰⁾.

Acidentes em RM

Os campos eletromagnéticos usados em RM representam sérios riscos de segurança. É importante haver uma triagem dos doentes, dos profissionais de saúde e de outras pessoas que possam ter de entrar no ambiente de RM, como é o caso dos familiares dos doentes, agentes de segurança, equipa de manutenção, bombeiros, pessoal de limpeza, entre outros.

Em 2001, 2018 e 2021, registaram-se 3 mortes, uma delas de uma criança de 6 anos (2001), devido a garrafas de oxigénio que foram atraídas pelo campo magnético estático, tornando-se projéteis letais⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾.

Em 2023, no Brasil, um doente trazia consigo uma arma de fogo e ao entrar no ambiente de RM, o campo magnético provocou a descarga da arma⁽²⁴⁾. Muitas outras lesões não letais estão relacionadas com projéteis. No mesmo ano, desta vez nos Estados Unidos da América, uma cama hospitalar que entrou no ambiente de RM, foi atraída pelo magneto, ficando presa uma enfermeira entre a cama e o equipamento de RM, resultando em ferimentos graves, na profissional de saúde⁽²⁵⁾. No entanto, todos os eventos de projéteis, força de atração, são evitáveis. Existem ferimentos graves e até mesmo morte por realização de exames inadequados a doentes com DMI.

Uma criança de 5 anos, foi-lhe amputado o antebraço, devido à colocação de um oxímetro com componentes metálicas, resultando numa queimadura térmica (Figura 6)⁽²⁶⁾.



Figura 6: Queimadura em criança após exame de RM. A) oxímetro que terá sido colocado no punho da criança; B) queimadura após a realização da RM; C) Antebraço e punho antes da amputação⁽²⁶⁾.

Segundo a *Food and Drug Administration* (FDA), os acidentes mais frequentemente reportados na RM são as queimaduras causadas pelo campo de RF⁽¹⁷⁾.

No gráfico 1, podemos verificar que, a seguir às queimaduras, o evento mais reportado é o mecânico, não específico da RM, por exemplo traumatismos e quedas. Os acidentes com projéteis e os eventos diversos (não estão inseridos em nenhuma das outras categorias) representam 9% dos acidentes reportados. Os eventos relacionados com o ruído acústico causado durante a realização de um exame de RM, representam 6% dos acidentes reportados. A estimulação nervosa periférica, não tem registos de acidentes, podendo estar situados nos acidentes não definidos ou categorizados (Gráfico 1)⁽¹⁷⁾.

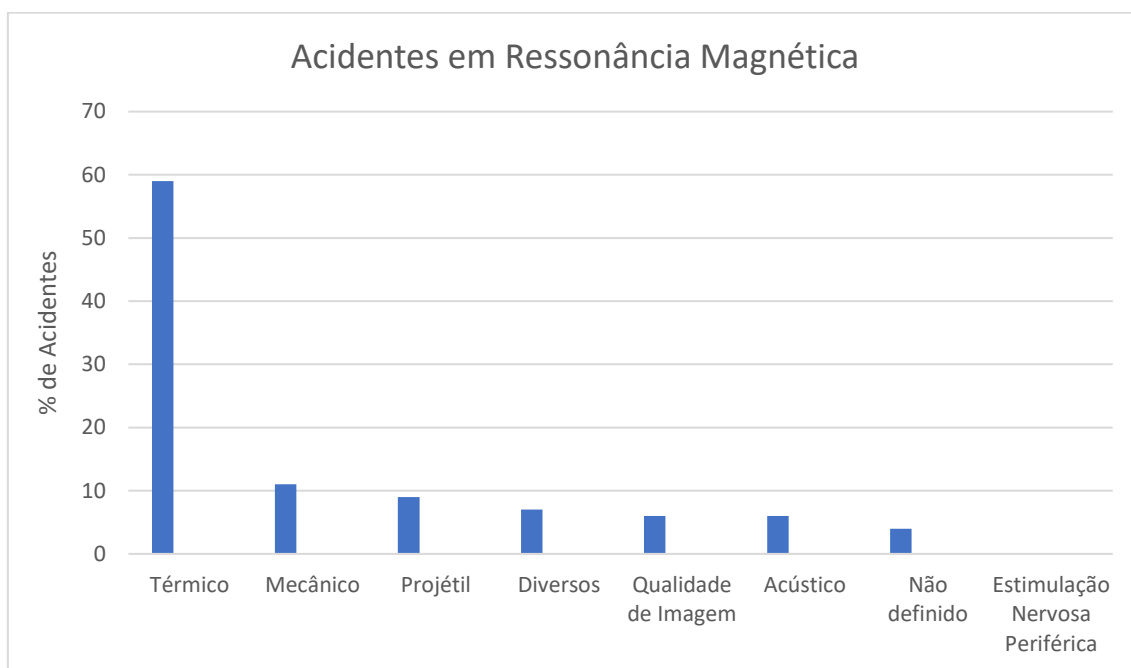


Gráfico 1: Eventos adversos em RM, reportados para a FDA⁽¹⁷⁾.

Na RM, haverá sempre possibilidade de erro humano. Assim, é essencial que serviços de Radiologia com equipamentos de RM elaborem políticas e procedimentos criteriosos de segurança, de forma a prevenir, evitar e registar situações de risco e acidentes. Em simultâneo é muito importante, uma vez que a RM tem desafios contínuos associados à tecnologia em constante evolução, que os TR e outros profissionais que trabalhem num departamento de RM tenham formação constante e contínua, devido aos desafios no quotidiano profissional e de haver um número crescente de doentes com DMI e respetivos desenvolvimentos tecnológicos nos mesmos, com cada vez mais DMI a poderem ser sujeitos à exposição dos campos eletromagnéticos em RM.

Gestão de Segurança

No âmbito da segurança na RM, em 2021, um grupo de especialistas de RM da *European Federation of Radiographer Societies* (EFRS) criaram funções distintas, para serem assumidas pelos profissionais que tivessem formação e treino em segurança em RM. Assim, definiram-se três funções profissionais: *Magnetic Resonance Medical Director* (MRMD), *Magnetic Resonance Safety Officer* (MRSO) e *Magnetic Resonance Safety Expert* (MRSE)⁽⁵⁾.

O MRMD é o médico responsável pela instalação da RM, pelo desenvolvimento, implementação, manutenção de políticas e práticas seguras dos serviços de RM. Este deve ter formação adequada em segurança em RM, é responsável por supervisionar a segurança operacional global das instalações de RM e garantia de qualidade da mesma. O MRMD nomeia o MRSO e o MRSE, e concomitantemente, desenvolvem um sistema apropriado para a manutenção de registos e análise de eventos adversos⁽⁵⁾⁽²⁷⁾.

O MRSE pode ser um elemento externo à instituição, normalmente um físico de RM, e apoia, aconselhando, o MRMD e MRSO na utilização segura dos equipamentos de RM. Tem como funções, fornecer conselhos de segurança relativos a procedimentos de RM, questões que possam surgir sobre os DMI e analisar causas, soluções relacionadas com os eventos adversos. É responsável pela assistência técnica e a física do equipamento, como a quantificação de energia, força e exposição ao risco⁽⁵⁾⁽²⁷⁾.

O MRSO é atribuído ao TR, podendo haver vários no departamento. No entanto, apenas existirá um único responsável, o que será nomeado pelo MRMD. Segundo o documento, "*Magnetic Resonance Safety Officer (MRSO) Role Descriptor: Na European Qualifications Framework (EQF) benchmarking document*", o MRSO, na maioria dos países europeus, continua a ter um papel informal e ainda não é bem definido no seio das instituições⁽²⁷⁾. Assim, sugere-se que o MRSO deva assumir as seguintes funções e responsabilidades:

- Desenvolvimento, documentação e execução, em conjunto com MRMD de procedimentos de trabalho seguros para o ambiente de RM;
- Garantir acessibilidade permanente aos operadores de instalações de RM;

- Garantir que as políticas e procedimentos adequados do MRMD são implementados de forma contínua;
- Garantir que os procedimentos de segurança, emergência e instruções de operação, em consulta com o MRMD e MRSE, estão escritos e são aplicados conforme o necessário;
- Garantir a implementação e monitorização de medidas adequadas para minimizar os riscos da RM para os profissionais e os doentes, cooperação com o MRMD;
- Gerir os perigos representados pelos equipamentos de RM e monitorizar as medidas tomadas para proteção contra os perigos;
- Discutir o protocolo de exame de RM/modificação/otimização de sequências em colaboração com MRMD/MRSE para otimizar a segurança (doentes de risco, doentes com DMI, doentes com capacidades de termorregulação prejudicada);
- Garantir, em cooperação com o MRMD, que os profissionais, médicos, técnicos, enfermeiros e todo o pessoal relevante que possam estar expostos ao ambiente de RM tenham formação em segurança em RM adequada e contínua conforme o necessário;
- Fornecer e/ou garantir educação e treino em segurança em RM em cooperação e de acordo com as políticas do MRMD;
- Consultar o MRMD e/ou MRSE quando necessário para aconselhamento adicional sobre segurança em RM;
- Comunicar atempadamente ao MRMD todas as questões relacionadas com a segurança em RM;
- Fornecer conhecimentos especializados, em colaboração com o MRMD e MRSE, na aquisição de novos equipamentos de RM;
- Assegurar que existe uma política clara para testes e uma marcação clara de todos os equipamentos que serão levados para as Zonas III e IV;

- Manter contacto com outros grupos ou comités relevantes responsáveis pela segurança e bem-estar dos profissionais locais;
- Fornecer experiência em avaliação de risco e análise de causa raiz, soluções, relativamente a eventos adversos em RM;
- Registrar e reportar acidentes e fornecer orientação sobre como os reportar;
- Contribuir para reuniões de comité de segurança local, no departamento e organizacional;
- Garantir, como o MRMD, que sejam implementadas políticas pessoais adequadas para evitar situações de stress e perigosas para profissionais e doentes;
- Liderar auditorias clínicas anuais, avaliação de serviços e projetos de melhoria de qualidade em relação à segurança em RM;
- Realizar teste de Controlo de Qualidade (CQ) como parte de um programa de Garantia de Qualidade (GQ) da RM.

A *European Curriculum for Safety Officers in Magnetic Resonance Imaging* (ECSO-MRI) é um consórcio europeu desenvolvido por diferentes universidades europeias, em parceria com a EFRS. O objetivo do projeto é garantir que os TR têm acesso a formação padronizada e acreditada pela universidade que aborde os mais recentes protocolos de segurança e avanços tecnológicos⁽²⁸⁾.

A ECSO-MRI procura colmatar lacunas existentes na formação em segurança em RM e apoiar uma abordagem coesa à segurança em RM em todos os países e instituições⁽²⁹⁾.

Zonas de segurança em RM

A definição de áreas em RM está dividida em três⁽⁵⁾:

Área de acesso controlado por RM: área em torno do sistema de RM, onde está contido o ambiente de RM, sendo o seu acesso controlado.

Ambiente de RM: é o volume tridimensional em redor do sistema de RM, que está protegido pela gaiola de Faraday e as várias linhas de isocampo, sendo uma das mais importantes a linha de 0.9 mT (antiga linha de 0.5 mT). É nesta área que um DMI,

nomeadamente ativo, como um pacemaker, pode representar perigo devido à exposição aos campos eletromagnéticos dos equipamentos, podendo-se desconfigurar, caso não esteja programado em modo próprio de RM. É uma área que deverá ter acesso controlado por parte dos profissionais, nomeadamente TR, de modo a mitigar riscos e incidentes⁽⁵⁾.

Área projétil: é delimitada pela linha de 3 mT (Figura 7), sendo uma área em redor do equipamento de RM, onde o campo magnético é suficientemente intenso para exercer forças sobre os objetos ferromagnéticos, tendo um maior efeito de atração, representando perigo para o doente e profissional caso estes objetos sejam levados para o interior da sala de exames. Na presença da presença de DMI, os campos magnéticos podem interagir com estes causando mau funcionamento ou até mesmo lesões para os doentes. Relativamente aos materiais ferromagnéticos, estes podem ser atraídos, podendo torna-se projéteis. A influência de B_0 sobre o objeto depende da forma, massa, conteúdo ferromagnético, distância à entrada do magnete e intensidade do campo magnético, como já referido anteriormente. O rigoroso controlo de acesso e rastreio é essencial para manter a segurança nesta área, para todos⁽⁶⁾.

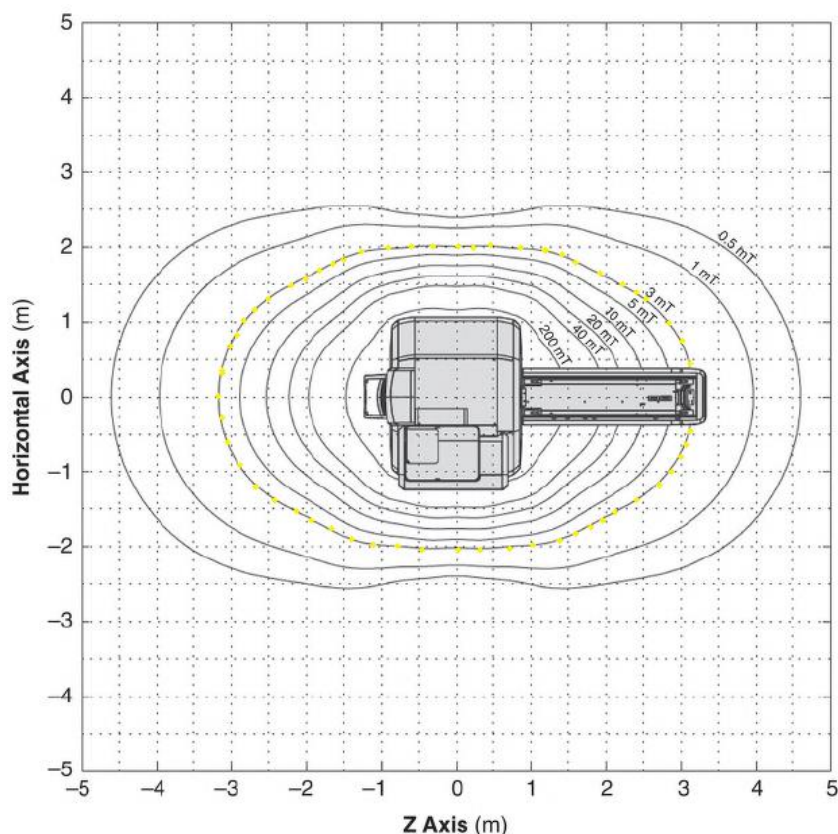


Figura 7: Representação das linhas de isocampo numa RM 3T. Área projétil representada pela linha 3 mT⁽⁶⁾.

Para reduzir danos e evitar acidentes o ACR elaborou um documento de orientação sobre práticas seguras em RM, onde surgem quatro zonas diferentes em torno do equipamento. O acesso as zonas é restrito e o limite de cada zona é definido pela sua finalidade e distância ao isocentro do magneto (Figura 8)⁽⁵⁾.

Zona I – inclui todas as áreas de livre acesso ao público em geral. Fica fora do ambiente de RM e é a área através do qual os pacientes, pessoal de saúde e outros funcionários da instalação de RM acedem ao departamento de RM. Existem *guidelines* que não consideram esta zona⁽⁵⁾.

Zona II – área de interface entre a zona I e Zona III. Os pacientes são recebidos na zona II sob supervisão do pessoal da RM. É nesta área que ocorre a preparação do paciente para realização do exame. Nesta zona localiza-se a área de espera dos doentes, área de preparação, vestiários e casas de banho⁽⁵⁾.

Zona III – o acesso e a supervisão de pessoal não pertencente à RM, é controlado inteiramente por pessoal da RM de nível 2. As regiões da zona III devem ser fisicamente

restritas ao acesso do público em geral por fechaduras com chave, sistemas de bloqueio com chave ou qualquer outro método confiável e de restrição física que possa diferenciar entre pessoal da RM e pessoal não pertencente à RM. Somente pessoal da RM deve ter acesso permitido, por meios de métodos como chaves de acesso ou código, à zona III. Nas entradas das zonas III devem estar sinalizadas através de sinais a incluir “Cuidado”, “Acesso restrito”, “Apenas doentes e pessoal de RM examinados” ou “Acesso apenas para pessoal devidamente autorizado”⁽⁵⁾.

A linha de 9G representa o limite do campo periférico e pode estender-se até à zona III. É definida como área de perigo de B_0 , uma vez que pode existir interação com os DMI a quando estes estiverem expostos na área da linha de 9G⁽⁵⁾.

Zona IV - corresponde à sala de exames de RM. É uma área de acesso controlado. Deve ter claras indicações, painéis ilustrativos, como sendo potencialmente perigosa devido à presença de campos magnéticos muito fortes. Deveria estar marcada por uma placa bem visível, a vermelho, informando “O campo magnético está sempre ligado”. A porta de entrada da zona IV deve estar fechada, exceto quando há necessidade de permanecer aberta para atendimento ao doente ou manutenção da sala/equipamento de RM. O acesso local às zonas III e IV deve ser realizado por pessoal da RM de nível 2⁽⁵⁾.

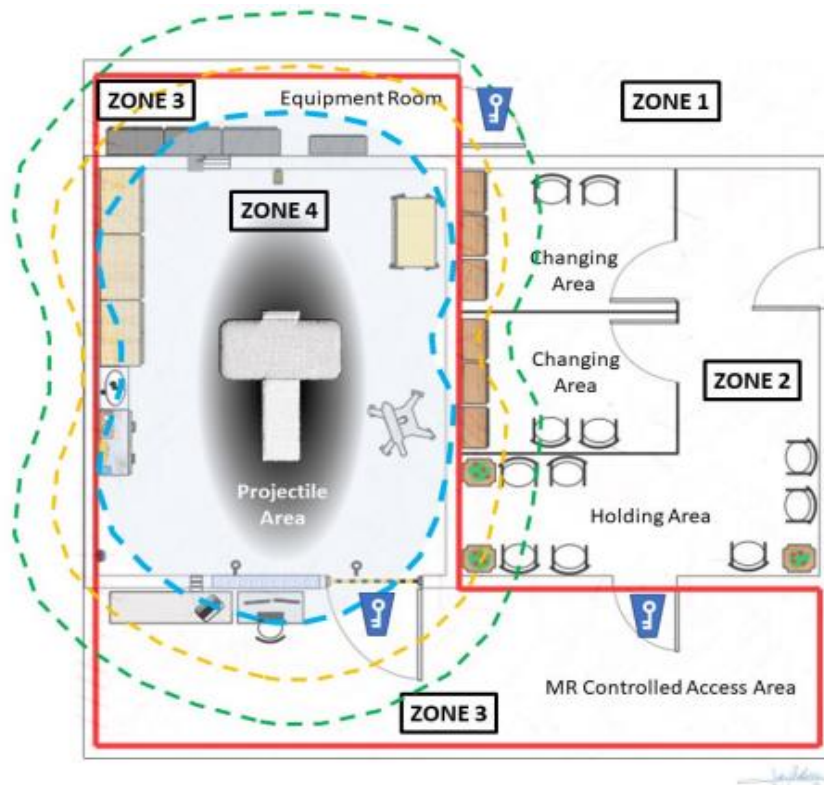


Figura 8: Exemplo de esquema ilustrado de uma instalação de RM, com representações das 4 zonas de segurança (zone 1, zone 2, zone 3 e zone 4), assim como as áreas de acesso controlado por RM (delimitado pela linha vermelha), ambiente de RM (delimitado pela linha de tracejada azul), linha 3 Gauss (linha tracejada verde), linha 5 Gauss (linha de tracejada amarela), linha 9 Gauss (linha de tracejada azul) e Área projétil (*Projectile Area*)⁽⁵⁾.

Definição pessoal e profissional dos utilizadores de RM

A RM é também utilizada por profissionais não pertencentes à unidade de RM, isto é, profissionais que não tem formação em segurança em RM (exemplo de enfermeiros, médicos e técnicos auxiliares de saúde que acompanham doentes à unidade de RM pertencentes a outros serviços hospitalares) assim como os doentes, acompanhantes e ainda outros profissionais, por exemplo pessoal da manutenção. Todos eles são denominados por Pessoal não-RM, uma vez que não trabalham na RM.

É essencial que os profissionais que trabalhem na RM tenham formação suficiente em segurança em RM. Segundo o ACR, existem dos grupos de profissionais, os de nível 1 e os de nível 2 em segurança em RM. O MRMD tem a responsabilidade de determinar a formação específica do local de trabalho, para os profissionais de nível 1 e de nível 2. É recomendado que todos os profissionais de RM, nível 1 e nível 2, inclusive o MRMD, tenham formação anual de segurança em RM⁽⁵⁾.

Os enfermeiros, técnicos auxiliares de saúde (TAS), cardiologistas, profissionais que trabalhem na zona III, devem ter formação nível 1, para terem conhecimentos básicos suficientes sobre segurança em RM de modo a garantir a própria segurança e que não representem ameaça para eles próprios ou para os outros. O pessoal nível 1 deve trabalhar regularmente na zona III⁽⁵⁾.

Tabela 2: Tópicos de segurança que os profissionais de nível 1 e nível 2 têm de saber.

1	Riscos dos projéteis ferromagnéticos;
2	Segurança geral – saber que o campo magnético está sempre ligado;
3	Importância da proteção e vigilância das portas de entrada da Zona III e IV;
4	Procedimentos e responsabilidades de emergência no ambiente de RM;
5	Importância do rastreio de segurança em RM antes de entrar na Zona III e IV;
6	Compreender as funções do MRMD, MRSO e MRSE e como contactar se necessário;
7	Compreender a importância dos eventos de segurança e dos relatórios de acidentes e mecanismos específicos do local;
8	Procedimentos para proteger equipamentos potencialmente inseguros na zona III;
9	Precauções/procedimentos apropriados para operação em ambientes alternativos de RM;
10	Segurança criogénica e de temperatura;
11	Utilização e funcionamento adequados de todos os interruptores de segurança;
12	Compreensão dos símbolos em RM (RM Seguro, RM Condicional, RM Inseguro).

Os TR, Médicos Radiologistas (MD), Médicos Anestésistas e Enfermeiros Anestésistas e TAS pertencentes à RM devem ter formação nível 2, adequada a cada função e suas responsabilidades.

Os TR necessitam de treino mais intenso e educação em diferentes aspetos da RM como mapas e linhas de isocampo do campo magnético estático, efeitos deste último campo,

dos gradientes de campo e campos de RF, consciência do ruído acústico, limites do SAR e B1+rms, efeitos criogénicos, efeitos dos agentes de contraste, perfil de segurança dos implantes específicos (passivos e ativos) e consequente modificação/otimização dos parâmetros das sequências de modo a minimizar os riscos e aumentar os benefícios do exame e conhecimento especializado de cuidados centrados no doente. O acesso à zona III e zona IV é controlado sob supervisão dos profissionais de RM de nível 2.

Segundo o ACR, existem 12 tópicos de segurança em RM, que os profissionais de RM, tanto de nível 1 como de nível 2 têm de saber, descritos na tabela 2⁽⁵⁾. Os profissionais de nível 2 tem mais 9 tópicos de segurança em RM que devem ser capazes de responder, mediante a sua categoria profissional (Tabela 3)⁽⁵⁾.

Tabela 3: Tópicos de segurança em RM dos profissionais de nível 2, segundo a sua categoria profissional

Quem desempenha	Tópicos de Segurança em RM
TR, TAS e MD	Elementos do rastreio de segurança para RM antes de entrar na zona III e zona IV, incluindo a utilização adequada de sistemas de deteção ferromagnética e compreensão das condições de segurança dos DMI;
TR	Segurança sobre os campos de RF;
TR	Ruído acústico relacionado com os campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo e estimulação nervosa periférica;
TR e MD	Segurança relacionada com DMI (passivos e ativos);
TR e MD	Segurança relacionada com a administração de agentes de contraste;
TR	Segurança do campo magnético estático, gradientes espaciais e forças de <i>Lenz</i> ;
TR	Prevenção de queimaduras térmicas;
TR e MD	Procedimentos para garantir a capacidade de comunicação com o doente/participante na investigação durante a digitalização;
TR e MD	Fatores relacionados com o exame de doentes únicos (grávidas, pediátricos, claustrofóbicos, reclusos, entre outros).

Os ambientes de RM tornam-se cada vez mais desafiantes e por isso, é importante que os TR que trabalham em RM tenham formação avançada em segurança em RM, nível 2, pois tem um papel central na gestão do ambiente de RM e são os principais defensores de segurança em RM para o doente.

Dispositivos médicos implantáveis

Os DMI podem ser classificados como ativos ou passivos. Nos DMI ativos, o seu funcionamento depende de uma fonte de energia, como por exemplo dispositivos cardíacos implantáveis, implantes cocleares, neuroestimuladores, neuromoduladores, entre outros. Em relação aos DMI passivos não dependem de nenhuma fonte de energia para o seu funcionamento, como é o caso das próteses da anca, material de osteossíntese, stents, entre outros⁽⁶⁾.

Na presença de campos eletromagnéticos, os riscos dos DMI ativos são: mau funcionamento do DMI, avarias no DMI, inibição terapêutica, estimulação excessiva, aquecimento excessivo dos elétrodos, indução de correntes elétricas, descarga da bateria e mudanças imprevistas⁽⁶⁾.

Os DMI passivos, na presença dos campos eletromagnéticos, têm como riscos: o movimento do implante por translação ou rotação, deslocamento do implante, aquecimento, vibrações e indução de correntes elétricas⁽⁵⁾.

Os TR têm de reconhecer e nunca presumir que os DMI que não tenham informações escritas documentadas sobre os mesmos, são seguros para realizar RM. As informações escritas sobre segurança em RM para os DMI aplicam-se apenas em condições específicas testadas como: a intensidade de campo magnético estático; a intensidade do gradiente de campo magnético estático; a intensidade e a duração da energia de RF transmitida e a taxa de variação dos gradientes variáveis no tempo, entre muitas outras.

Apesar dos riscos, é importante que doentes com DMI não sejam excluídos da realização de exames em RM. É necessário que o TR tenha conhecimentos sobre a composição dos DMI e seu comportamento no ambiente de RM⁽⁴⁾. Para ajudar na compreensão e comportamento dos objetos, a *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, identificou três categorias de segurança para RM cada uma com o seu ícone: RM segura, RM condicional e RM insegura (Figura 8).

RM seguro - dispositivos seguros para a RM, não representam perigo de segurança para o ambiente da RM. Não têm restrições para serem examinados⁽⁵⁾.

RM Condicional - podem entrar com segurança na sala de exame apenas em condições específicas, disponibilizadas pelos fabricantes. As condições para utilização serão diferentes conforme o exame a realizar. Assim para realizar o exame o fabricante descreve quais as condições a que o dispositivo pode ser exposto e como realizar o exame. São elas: intensidade de campo estático, gradiente máximo de campo espacial, limitações dB/dt ou slew rate (implantes ativos), limites do SAR e B1+rms, restrições nos tipos de antena de RF, restrição do posicionamento do doente a quando a localização do dispositivo, tempo de exposição de cada aquisição/ exame de RM e centragem, entre muitas outras que poderão ser mais específicas⁽⁵⁾.

Para realizar RM a um doente com um DMI, classificado como RM condicional, o TR tem de seguir as condições específicas de realização do exame, sugeridas pelo fabricante e/ou aceder a páginas *web* devidamente reconhecidas na área, onde existe a descrição dos tipos de condicionalismos de diferentes DMI e características de utilização.

RM inseguro - não podem entrar na sala de exame. Pacientes com dispositivos perigosos para a realização de RM e não devem realizar exame⁽⁵⁾.



Figura 9: Categorias de segurança dos dispositivos. A) RM Seguro; B) RM Condicional; C) RM Inseguro⁽³⁰⁾.

Triagem dos doentes

Dado que a RM tem riscos específicos, é essencial haver uma triagem completa e eficaz de todos os doentes que entram na zona III e IV, sendo a comunicação eficaz essencial. Os questionários de triagem dos doentes permitem evitar exposições inseguras no ambiente de RM.

Os doentes conscientes, devem preencher questionários escritos de rastreio de segurança em RM antes de entrarem na zona III. Estes questionários devem ser revistos

oralmente na totalidade com o doente, assinados pelo mesmo e pelo TR. Todas as questões têm de ser respondidas, com “Sim” ou “Não” ou informações adicionais específicas. A obtenção do histórico médico completo do doente é extremamente importante para identificar qualquer cirurgia e/ou lesões anteriores que precisem de ser avaliadas. Na presença de quaisquer DMI, o TR deve estar ciente das diretrizes internacionais e das políticas locais do local de trabalho, de modo a garantir boas práticas e segurança máxima. A passagem para a zona III, só deve ser feita quando não houver nenhuma preocupação, dúvida de segurança.

Os doentes inconscientes, não responsivos, com alterações do estado de consciência, diminuídos intelectualmente, incapazes de comunicar, são inábeis de fornecer historial clínico seguro, nomeadamente cirurgias, traumas ou lesões anteriores causadas por corpos estranhos ou reações ao agente de contraste. Para garantir a segurança do doente e dos profissionais é necessário obter informações fiáveis para a realização da RM. Deve-se consultar os registos hospitalares, exames anteriores, e questionar os familiares ou cuidadores do doente, preenchendo o questionário de segurança. No caso de não ser possível obter o historial clínico e a realização do exame não poder ser adiada, é recomendado inspeção visual por parte do TR ou outro profissional devidamente capacitado (enfermeiro ou médico radiologista) de cicatrizes, locais de trauma e/ou DMI⁽⁵⁾.

Os acompanhantes, familiares, cuidadores que tenham de entrar na zona IV, têm de ser sujeitos a um questionário de triagem, onde deve ser interrogado a presença de DMI e, antecedentes de cirúrgicos. Têm de ser informados sobre o risco da entrada na zona IV. O uso de proteção auditiva é recomendado⁽⁵⁾.

Qualquer doente que seja submetido a RM, deve remover todos os pertences e dispositivos pessoais metálicos removíveis, tais como: relógios, jóias, *piercings*, diafragma contraceptivo, adesivos metálicos para administração de medicamentos, aparelhos auditivos removíveis, cosméticos que contenham partículas metálicas (maquilhagem para os olhos, pestanas magnéticas) e artigos de vestuário que possam conter fechos magnéticos, ganchos, fechos/fios metálicos soltos, materiais condutores de eletricidade, sendo que algumas roupas, podem conter ligas metálicas na sua constituição, assim recomenda-se o uso de roupa hospitalar, como a bata de algodão⁽¹⁸⁾.

Alguns tipos de maquilhagem que podem produzir artefactos no exame de RM crânio-encefálica, ou até irritação ocular. Desta forma, todos os doentes submetidos a RM devem retirar a maquilhagem⁽⁶⁾.

As tatuagens também apresentam possibilidade de condicionar sensação de irritação por aquecimento, devendo por isso colocar-se compressas frias sobre as mesmas e em caso de tatuagem realizada 48 horas antes da RM, é preferível adiar o exame, uma vez que nessas horas subsequentes à realização da tatuagem, há risco de esta ficar com manchas⁽¹⁾⁽⁵⁾.

O doente só entra na zona III/IV após triagem do mesmo por profissionais de nível 2.

Agentes de Contrastes

Os agentes de contraste usados em RM, normalmente agentes de contraste à base de gadolínio ou *Gadolinium-based contrast agentes* (GBCA), são utilizados para auxiliar no diagnóstico. No entanto, sendo um produto farmacêutico, tem os seus riscos e efeitos adversos associados⁽³¹⁾. A administração de contraste tem de ter em conta os seguintes objetivos:

1. Assegurar que administração de contraste é adequada ao doente e informação clínica;
2. Avaliar o risco da administração do contraste versus o benefício do mesmo para o exame;
3. Promover um diagnóstico e tratamento eficientes e precisos;
4. Preparação em caso de ocorrência de uma reação.

A administração de contraste depende da história clínica do doente, uma vez que podem existir contraindicações à administração do mesmo, aumentando a probabilidade de evento adverso⁽³¹⁾. Para reduzir a probabilidade de reação adversa, são feitas questões de triagem:

- Tem alguma alergia, historial de reações alérgicas anteriores – na presença de uma reação alérgica anterior ao contraste, o risco de reação aumenta até 5 vezes mais;

- Tem asma – não é contraindicação, no entanto aumenta a probabilidade de desenvolver reações alérgicas como broncospasmo. É necessário maior cuidado na administração de contraste nestes doentes;
- Tem insuficiência renal – antes de administrar o contraste, é necessário avaliar a função renal, através do cálculo da taxa de filtração glomerular (TFG). Este cálculo é feito a partir do valor da creatinina, idade, sexo e raça, recorrendo a fórmula CKD-EPI. Se o valor TFG for inferior a 30 mL/min/1,73m², administração do agente de contraste só deve ser feita se o benefício for superior ao risco, uma vez que a função renal esta comprometida, a capacidade do corpo eliminar o contraste é reduzida, aumentando a probabilidade de desenvolvimento de fibrose sistémica nefrogénica⁽⁶⁾⁽³²⁾;
- Tem doença cardíaca grave – não é contraindicação, mas apresenta risco de algum evento cardíaco não alérgico;
- Ansiedade – estudos indicam que os doentes ansiosos têm maior probabilidade de ocorrência de reações. É importante tranquilizar o doente, para atenuar a probabilidade de reação ao contraste.

A taxa de eventos adversos para o GBCA é baixa - 0,07% a 2,4%. A maioria destas reações são ligeiras e são consideradas reações fisiológicas, tais como náuseas, vômitos, cefaleias, tonturas e reações adversas no local de punção (frio, calor ou dor no local da injeção). Assim, são classificadas como do tipo não alérgico⁽³¹⁾.

As reações do tipo alérgico classificam-se como ligeiras, moderadas e graves. Os sinais e sintomas das reações alérgicas ligeiras são urticária, edema cutâneo, sensação de comichão na garganta, espirros e congestão nasal. No caso de reações alérgicas moderadas temos como sinais e sintomas a urticária difusa, o eritema difuso, o edema facial, o aperto ou rouquidão na garganta, o broncospasmo e a hipoxia ligeira⁽³²⁾.

A ocorrência de reações graves com risco de vida é extremamente rara, aproximadamente 0,04%⁽³¹⁾. São reações anafiláticas, onde podem evoluir a partir de uma reação moderada não tratada, podendo ocorrer paragem cardiorrespiratória.

Fibrose Sistémica Nefrogénica

A Fibrose Sistémica Nefrogénica (FSN) é uma condição fisiopatológica que envolve, primariamente, a pele e o tecido subcutâneo, além de também poder envolver outros órgãos, como pulmões e sistema musculoesquelético. Os sintomas iniciais envolvem o espessamento da pele e prurido, mas existe a possibilidade de progredir rapidamente, com contraturas e imobilização articular. Em alguns casos, essa doença pode ser fatal⁽³¹⁾.

Segundo o ACR, os seguintes pacientes devem fazer avaliação da sua taxa de filtração glomerular, previamente à administração dos GBCA: pacientes com mais de 60 anos; história de doença renal (diálise, transplante renal, rim único, neoplasia ou cirurgia renal prévia); história de hipertensão arterial a requerer terapêutica médica; história de diabetes *mellitus*⁽⁵⁾.

Retenção de contraste no cérebro

Estudos realizados, detetaram GBCA no cérebro, nomeadamente nos núcleos denteados do cerebelo e nos núcleos da base do cérebro, em doentes que receberam múltiplas doses de contraste. O depósito de gadolínio no cérebro pode dar-se em doentes com insuficiência renal, ou patologias neurológicas nomeadamente alterações da barreira hematoencefálica, mas ainda não há prova de dano clínico direto. O uso de GBCA com estrutura linear têm maior probabilidade de retenção de contraste do que os agentes macro cíclicos. Assim, nos exames de RM, o uso de GBCA deve ter em conta o benefício clínico⁽⁶⁾.

Gravidez e amamentação

No serviço de Radiologia, as TR que trabalhem em ambiente de RM, que estejam grávidas, podem continuar a trabalhar no ambiente da RM, desde que não permaneçam na sala de exame durante a aquisição “ativa” das sequências e ação dos gradientes⁽⁶⁾.

A realização de RM a uma grávida tem como indicações clínicas dor aguda abdominal ou pélvica, suspeita de doença pancreatobiliar, cefaleia grave de início súbito, convulsões, diagnóstico de doença oncológica, avaliação adicional de anomalias fetais a quando detetadas por ecografia⁽³³⁾.

A maioria dos estudos realizados não demonstra que a exposição à RM tem efeitos adversos para o desenvolvimento do feto. No entanto, na presença de gravidez, a realização da RM deve ter em conta os benefícios e os riscos do exame. As preocupações maior da realização RM a uma grávida são os campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo e os campos de RF⁽⁵⁾.

A energia da RF absorvida causa aquecimento dos tecidos. Segundo estudos, a temperatura fetal pode ser elevada para cima de 38°C após exposição à RF, uma vez que o líquido amniótico não possui mecanismos de arrefecimento⁽⁶⁾. Se a temperatura do feto subir acima de 2°C, a termogénese pode ser teratogénica⁽³⁴⁾. Para limitar o aquecimento dos tecidos a IEC recomenda que o limite de SAR de 2 W/kg para grávidas, o que se traduz a um possível aumento de 0,5°C da temperatura corporal (modo normal de exposição). Considera-se seguro realizar RM até 3T em modo normal⁽⁵⁾.

O ruído acústico, provocado pelos gradientes de campo, é uma importante consideração para a segurança do feto, uma vez que podem causar dano nos órgãos auditivos fetais. Até as 24 semanas de gestação, os ouvidos do feto estão em desenvolvimento, onde a exposição excessiva ao ruído pode lesar. Estudos mostram que, no final do segundo e ao longo do terceiro trimestre, é improvável efeitos morfológicos adversos no aparelho auditivo do feto. O ruído acústico é atenuado pelos tecidos maternos e pelo líquido amniótico. Relativamente à intensidade de campo, não se encontram diferenças significativas no potencial auditivo na realização de RM em 1.5T e 3T⁽³⁴⁾.

A Academia Americana de Pediatria recomenda que o limite de 90 dB não deve ser ultrapassado pois há risco de perda auditiva permanente. Estudos realizados a recém-nascidos, que foram expostos a um exame de RM, a quando a gravidez, não mostram evidência de perda auditiva⁽³³⁾. À grávida tem de ser sempre facultado tampos auditivos e/ou abafadores para a realização do exame.

Aquando da realização de RM, podem surgir dúvidas e necessidade de GBCAs para complementar o diagnóstico clínico. A administração de contraste a uma grávida deve ser de acordo com a política institucional, o médico radiologista e o médico prescritor, uma vez que têm de se analisar o risco-benefício, na doente em particular. O contraste contém uma molécula paramagnética de gadolínio que é tóxica. As principais

preocupações do uso de GBCA na gravidez são a exposição fetal uma vez que GBCA podem atravessar a placenta, e haver retenção de gadolínio e respetiva deposição⁽³¹⁾⁽³⁴⁾. Porém, por norma na rotina clínica diária, não é administrado agentes de contraste à base de GBCA a uma doente grávida.

Ainda existem poucos estudos em humanos. No primeiro trimestre da gravidez acredita-se que a exposição aos GBCA possa ter efeitos teratogénicos ou mutagénicos durante a organogénese⁽³⁵⁾.

No segundo e terceiro trimestre, embora não existam efeitos agudos fatais ou graves, não se consegue avaliar as complicações subagudas, pode haver risco de retenção do gadolínio⁽³⁵⁾.

Na amamentação, estudos demonstram que a ligação dos GBCA as proteínas plasmáticas e o leite é mínima, o que implica que a excreção dos GBCA é baixa pelo leite materno, levando a que a quantidade de GBCA ingerida pelos lactentes seja inferior a 1%⁽³⁴⁾.

Assim, aquando da amamentação, não existem contra-indicações para o uso de contraste no exame de RM⁽³²⁾. No entanto a mãe, após uma decisão informada pode interromper temporariamente a amamentação, num período de 12 a 24 horas após a injeção de contraste. Nesta situação a mãe tem de descartar o leite materno de ambas as mamas⁽⁵⁾⁽³²⁾.

Importância da formação em RM

A RM apresenta riscos específicos que exigem cuidados rigorosos com a segurança dos doentes, profissionais de saúde e equipamentos. Dada a complexidade e os potenciais riscos e perigos envolvidos, a segurança em RM exige conhecimento especializado e rigoroso cumprimento de normas e protocolos.

Os TR assumem o papel central na gestão da segurança, uma vez que são responsáveis pela preparação dos doentes, avaliação pré-exame, operação dos equipamentos, monitorização durante o exame e execução de protocolos com contraste. A atuação do TR tem impacto direto na segurança do doente e na qualidade de diagnóstico dos exames realizados⁽²⁹⁾.

Os incidentes, acidentes e as falhas de segurança estão diretamente associados às lacunas na formação. Um estudo multicêntrico, concluiu que os incidentes em RM são gravemente subnotificados e que muitos deles poderiam ter sido prevenidos com formação adequada dos profissionais. O estudo destaca ainda que a cultura de segurança nos serviços de RM depende fortemente do nível de conhecimento dos TR e da existência de protocolos regulares educativos⁽³⁶⁾.

De forma semelhante, revisões recentes mostram que serviços que implementam programas de formação em equipa, envolvendo os TR, médicos e TAS, apresentam não apenas menos incidentes, mas também melhorias operacionais, resultando em maior taxa de exames concluídos e redução do número de cancelamentos por motivos de segurança. Estes resultados sugerem que a formação impacta tanto a segurança como a eficiência do serviço⁽³⁷⁾.

Diversos estudos evidenciam que a formação contínua em segurança em RM contribui significativamente para o aumento da competência e a consciência dos TR. Segundo os estudos, os TR com formação regular apresentaram melhor desempenho em testes de conhecimento e aplicaram com maior consciência as boas práticas de segurança, assim como o aumento significativo na confiança e capacidade de resposta dos TR após formação estruturada sobre segurança em RM⁽⁴⁾⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾.

Do mesmo modo, a *European Society of Radiology* (ESR) identificou uma grande variabilidade entre países no que diz respeito à formação em segurança, propondo a criação de um currículo harmonizado de quatro níveis, que abrange desde formação básica para profissionais em contacto indireto com o ambiente de RM até ao nível avançado destinado a especialistas responsáveis pela gestão de riscos. Esta proposta reforça a ideia de que a segurança em RM depende não apenas da infraestrutura, mas sobretudo da competência técnica e formativa dos profissionais⁽⁴⁰⁾.

Alguns autores, defendem a presença de guias práticos que ajudem os TR na aplicação da segurança no quotidiano profissional, com enfoque na triagem rigorosa, na gestão dos DMI e no plano de situações de emergência⁽⁹⁾. O facto de o número de DMI ter vindo a crescer coloca novos desafios à segurança, exigindo atualização constante do conhecimento técnico e maior capacidade de decisão por parte dos profissionais⁽⁴⁾.

A crescente complexidade dos equipamentos e a atualização constante das recomendações internacionais, como o ACR, reforçam a necessidade de que os TR não acompanhem apenas essa evolução, mas que se posicionem como agentes ativos na cultura de segurança das instituições⁽⁵⁾. Tal envolvimento é reconhecido por entidades como EFRS, que destaca o papel dos TR na liderança e disseminação das práticas seguras em RM⁽²⁷⁾.

Em Portugal, segundo o Decreto Lei n.º 64/2017, que regula o exercício profissional dos TR, valoriza o desenvolvimento profissional contínuo como pilar da qualidade na prestação de cuidados⁽⁴¹⁾. Contudo, ainda persiste uma heterogeneidade na oferta de formação específica em segurança em RM, o que justifica a necessidade de reforçar e estruturar programas de formação contínua obrigatória, com certificação reconhecida para os TR que trabalhem na RM.

Assim, a formação estruturada não é apenas desejável, mas essencial para garantir a qualidade e a segurança em RM em diferentes contextos hospitalares.

Materiais e métodos

O trabalho consistiu num estudo observacional e descritivo correlacional, incidindo numa amostra (n) de conveniência de voluntários, recolhida por via dos canais formais de comunicação, para divulgação do inquérito, como a Associação Portuguesa dos Técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear (ATARP), a rede profissional *LinkedIn* e pelo contacto eletrónico dos coordenadores dos serviços de Imagem Médica, entre 15 de janeiro de 2024 e 29 de março de 2024.

Os objetivos desta dissertação foram:

1. avaliar as competências de Segurança em RM de TR, que trabalhem em RM;
2. analisar as áreas de segurança onde há uma necessidade maior de formação;
3. promover a consciencialização dos TR relativamente à importância da Segurança em RM, garantindo assim um exame seguro para os doentes e profissionais expostos ao campo eletromagnético.

Foi elaborado um questionário pela autora sendo o mesmo de autorresposta. A estrutura do mesmo instrumento era a seguinte:

- Primeira parte constituída por questões de natureza profissional;
- Segunda parte referente à segurança em RM.

O questionário foi composto por 25 itens, com questões de escolha múltipla tendo só uma opção correta em cada (Anexo I e II), organizado em 6 áreas (princípios básicos de construção subjacentes à segurança em RM, ambiente em RM, considerações específicas de segurança de DMI, agentes de contraste à base de gadolínio, considerações de segurança para RM na gravidez e considerações de triagem) e avalia quais as necessidades de formação de segurança em RM dos Técnicos de Radiologia. As referidas 6 áreas, integram as seguintes questões:


Área 1 - Princípios Básicos de Construção subjacentes à Segurança em Ressonância Magnética

1. O efeito de deslocamento de objetos em direção ao equipamento de RM é denominado por?
2. O efeito de atração está diretamente relacionado com que campos magnéticos?
3. Quais os efeitos biológicos que estão relacionados com a ação dos campos magnéticos variáveis no tempo em RM?
4. Qual o efeito dos campos magnéticos no traçado do Eletrocardiograma (ECG)?
5. A alteração da onda T no ECG é causada por que campo magnético?
6. Quais são os campos eletromagnéticos utilizados em RM?
7. Qual o principal efeito dos campos de Radiofrequência?
8. O que é “Specific Absorption Rate” (SAR)?
9. Qual dos seguintes parâmetros influencia o SAR?
10. Em que unidades é medido o SAR?

Área 2 – Ambiente em RM

11. Qual o número de zonas de segurança definidas em RM pelo *American College Radiology (ACR)*?
12. Qual das seguintes zonas de segurança deve ser de acesso restrito?

Área 3 – Considerações específicas de segurança em dispositivos médicos implantáveis

13. Em RM, os dispositivos marcados como o seguinte símbolo  são classificados como?
14. A afirmação seguinte é verdadeira ou falsa “Um doente com um dispositivo médico implantável que já tenha feito RM num campo de intensidade 3T, pode realizar exames em equipamentos com intensidades inferiores, sem quaisquer cuidados adicionais”?
15. O ambiente de RM é “o volume tridimensional do espaço ao redor do magneto de RM”. Este volume é a região na qual um dispositivo médico

implantável/acessório pode representar perigo devido à exposição aos campos magnéticos produzidos pelo equipamento. Qual é o contorno do campo?

16. Qual o parâmetro mais indicado no sentido de orientar as recomendações em RM, em relação ao aquecimento dos dispositivos médico implantáveis?

17. Um doente sujeito a cirurgia, onde foi necessário, colocação de um *stent* ou *coils* intravasculares, não ferromagnéticas, pode fazer RM quando?

Área 4 – Agentes de contraste à base de gadolínio

18. Qual a complicação associada à utilização de agentes de contraste paramagnéticos em RM?

19. Relativamente à administração de contraste, quais são os efeitos adversos de curto prazo, do tipo não alérgico?

Área 5 – Considerações de Segurança para RM na gravidez

20. A RM a grávidas deve ser realizada em que situações?

21. Qual o modo de scanner nas grávidas?

22. Se a Técnica de Radiologia estiver grávida pode exercer a sua atividade profissional na RM?

Área 6 – Considerações de triagem

23. A afirmação seguinte é verdadeira ou falsa “Os acompanhantes dos doentes que tenham de entrar na sala de exames, é necessário realizar, explicar e assinar o questionário”?

24. Um doente com temperatura corporal de 39°C pode fazer RM?

25. Um doente com uma tatuagem recente pode realizar um exame de RM quando?

O questionário utilizado no estudo está presente nos anexos I e anexo II com sinalização das respostas corretas.

A recolha de dados realizou-se com recurso a uma plataforma digital (*online*) plataforma *Google Forms*, onde foram introduzidos dados para caracterização biográfica,

nomeadamente género, idade, tempo de exercício profissional, formação adicional e formação em segurança em RM, bem como as questões que serviram de suporte ao presente trabalho.

Os critérios de inclusão para participação no estudo foram:

1. ser TR que exerça funções na área da RM, independentemente do tempo de serviço;
2. trabalhar numa instituição de saúde portuguesa (pública ou privada);
3. ter nível de compreensão da língua Portuguesa que possibilite o preenchimento do instrumento da recolha de dados.

A amostra do estudo foram 101 participantes, todos TR, com experiências profissionais entre os [0 a 2] anos,]2 a 5],]5 a 10] e para além dos 10 anos, de diferentes instituições de saúde das regiões Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo, Algarve, Açores e Madeira. Foram excluídos profissionais em exercício no estrangeiro e TR que não desempenham funções na área da RM.

A avaliação do desempenho dos TR no questionário, consistiu na soma das respostas corretas dada por cada participante. A pontuação total foi categorizada em quatro. A primeira categoria “ausência de conhecimento”, onde os participantes tinham até 25% respostas corretas, inclusive. A segunda categoria, “pouco conhecimento” corresponde aos participantes que responderam corretamente entre 26% e 50% inclusive. A terceira categoria “algum conhecimento”, foi a classificação dada aos participantes que obtiveram entre 51% e 75% inclusive. A quarta categoria, “bom conhecimento”, foi dado aos participantes que responderam corretamente a mais de 76% das questões.

De forma a orientar a análise dos resultados, foram definidas as seguintes hipóteses:

- Os TR com mais anos de experiência em RM demonstram maiores competências em segurança comparativamente aos TR com menos experiência;
- Os TR que têm formação adicional em RM apresentam melhores resultados;
- A formação em segurança em RM está associada a um maior nível de informação e boas práticas de segurança;

- Quais as áreas específicas em segurança em RM em que os TR evidenciam menos conhecimento e conseqüentemente, maior necessidade de formação contínua;
- Qual o perfil do TR com melhor desempenho no questionário.

Após importação das respostas para o Software *International Business Machines (IBM) SPSS Statistics2* 29 foi possível o desenvolvimento de tabelas de análise estatística (Tabela 4 a 7). Agruparam-se as questões colocadas em função dos anos de experiência em RM, a formação adicional e formação em segurança em RM e que tornaram possível a análise estatística dos dados recolhidos.

Todos os dados e informações recolhidos foram devidamente anonimizados e utilizados, única e exclusivamente para fins académicos.

Ao nível da inferência estatística, recorreu-se à análise inferencial com a aplicação do teste estatística Qui-quadrado de *Pearson*, e o valor de $p \leq 0,05$ para reportar o nível de significância dos resultados.

Resultados

Na primeira parte do questionário, onde se procurou caracterizar a amostra, 70.3% dos inquiridos são do género feminino e 29.7% de género masculino. Relativamente às suas idades obteve-se um maior número de respostas (43.6%) na faixa etária dos 31 a 40 anos, de seguida da faixa 41 a 50 anos com 29.7% inquiridos, com 21.8% a faixa etária de 20 a 30 anos e com 4.9% a faixa etária de mais de 50 anos de idade. Observando o número de anos de experiência profissional em RM, com maior percentagem, 34.7%, encontram-se os inquiridos com inferior ou igual a 2 anos de experiência. De seguida, superior a 5 e inferior ou igual a 10 anos, 25.7% dos inquiridos e com percentagem igual 19.8% cada, superior a 2 e inferior ou igual a 5 e mais de 10 anos (Tabela 4).

Foi também questionado se tinham alguma formação adicional em RM e qual seria essa formação. Dos 35 inquiridos, com formação adicional, 25 (24.8%) tinham Pós-graduação em RM e 4 (4%) obtiveram o grau de Mestrado na área de RM. Não houve participantes com grau de doutoramento. Relativamente à formação em segurança em RM, só 30 participantes (29.7%) tiveram formação específica nesta área (Tabela 4).

Tabela 4: Caracterização biográfica da amostra.

Indicadores		n (%)
Gênero	Feminino	71 (70.3%)
	Masculino	30 (29.7%)
Idade	20 a 30 anos	22 (21.8%)
	31 a 40 anos	44 (43.6%)
	41 a 50 anos	30 (29.7%)
	Mais de 50 anos	5 (4.9%)
Anos de experiência profissional	0 a 2] anos	35 (34.7%)
	]2 a 5] anos	20 (19.8%)
	]5 a 10] anos	26 (25.7%)
	Mais de 10 anos	20 (19.8%)
Formação adicional em RM	Sim	35 (34.7%)
	Não	66 (65.3%)
Qual?	Pós-graduação	25 (24.8%)
	Mestrado	4 (4.0%)
Formação em Segurança em RM	Sim	30 (29.7%)
	Não	71 (70.3%)

No gráfico 2, verificou-se que nenhum participante teve classificação inferior ou igual a 25% (ausência de conhecimento), 13% dos participantes possui pouco conhecimento baseado no questionário efetuado, 28% dos participantes têm algum conhecimento e 59% dos participantes tem bom conhecimento em segurança em RM.

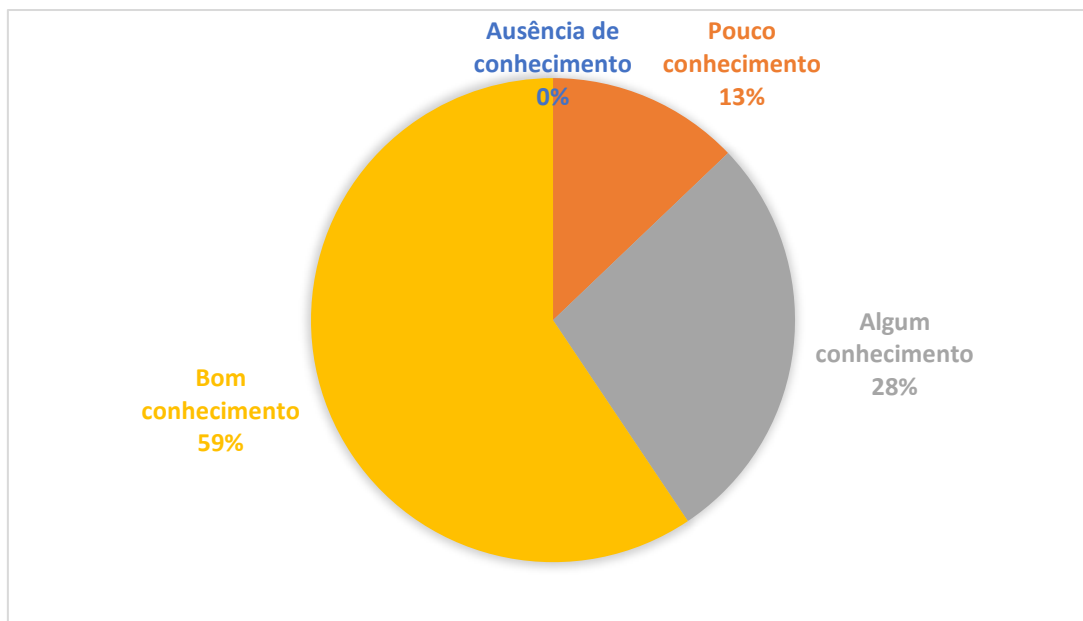


Gráfico 2: Avaliação do desempenho dos participantes em Segurança em RM.

Posteriormente, analisou-se a classificação do conhecimento sobre segurança em RM. Foi observado que dos participantes e de ter ou não formação em segurança em RM. Vejamos a tabela seguinte:

Tabela 5: Teste de Qui-quadrado de *Pearson*.

		Formação em Segurança		Total	
		Em Segurança RM	Outra formação		
Índice de conhecimento - Segurança em RM	Pouco Conhecimento	n	1	12	13
		% coluna	3.3%	16.9%	12.9%
	Algum Conhecimento	n	13	47	60
		% coluna	43.3%	66.2%	59.4%
	Bom Conhecimento	n	16	12	28
		% coluna	53.3%	16.9%	27.7%
Total		n	30	71	101
		% linha	29.7%	70.3%	100.0%

Constatou-se um padrão diferenciador do nível de conhecimento referente à segurança em RM e ter tido ou não formação em segurança ($X^2 = 14,969$; $gl = 2$; $p < 0,001$). Nesse sentido, os profissionais que indicaram ter formação em segurança ($n=30$), 53.3% destes revelaram um “Bom conhecimento” sobre segurança em RM. Já em sentido oposto, dos profissionais que tinham outro tipo de formação que não em segurança ($n=71$), 83.1% destes revelaram ter “algum” ou “pouco” conhecimento em segurança em

RM. Esta diferenciação entre o nível de conhecimento em segurança em RM e ter ou não formação revelou uma moderada a boa magnitude (*Effect Size* = 0,385).

Segundo os resultados sumariados na tabela 6, verificou-se também um padrão de associação entre os anos de experiência em RM (Classes) e o nível de conhecimento referente à segurança em RM ($X^2 = 16,044$; $gl = 6$; $p = 0,014$).

Relativamente aos anos de experiência em RM e como estes se encontra ou não associada ao conhecimento (índice) sobre Segurança em RM, vejamos a tabela seguinte:

Tabela 6: Índice de conhecimento relativamente aos anos de experiência.

		Índice de conhecimento - Segurança em RM			Total	
		Pouco Conhecimento	Algum Conhecimento	Bom Conhecimento		
Anos de Experiência - RM	[0-2] anos	n	10	19	6	35
		% coluna	76.9%	31.7%	21.4%	34.7%
	]2-5] anos	n	2	14	4	20
		% coluna	15.4%	23.3%	14.3%	19.8%
	]5-10] anos	n	1	14	11	26
		% coluna	7.7%	23.3%	39.3%	25.7%
	> 10 anos	n	0	13	7	20
		% coluna	0%	21.7%	25.0%	19.8%
	Total	n	13	60	28	101
		% coluna	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Segundo se observou, os profissionais que revelaram “Pouco Conhecimento” (n=13), 76.9% destes apresentaram dois anos ou menos de experiência com RM. No entanto, podemos ainda verificar, que dos profissionais que tinham “Bom conhecimento” em Segurança (n=28), 64.3% tinham mais de anos de experiência em RM. Perfil semelhante, ocorreu em profissionais com algum conhecimento (n=60), onde 45% destes também tinham mais de 5 anos de experiência em RM. Esta diferenciação entre o nível de conhecimento em Segurança em RM e os anos de experiência revelou uma moderada a baixa magnitude (*Effect Size* = 0,282).

Na avaliação global das respostas a todas as questões, no gráfico 3, verificou-se que a questão 5 “Alteração da onda T no ECG causada por que campo magnético”, a questão 15 considerações específicas de segurança dos DMI e questão 25 considerações de triagem do doente na presença de uma tatuagem, são críticas, uma vez que a percentagem

de respostas corretas é baixa, o que implica uma maior necessidade de formação. Salientaram-se também as questões 3, 4, 16, 17, 19 e 21, onde a percentagem de respostas corretas foi abaixo de 50%, havendo assim necessidade formação para aumentar os conhecimentos relativamente a estas questões.

Destacam-se, as questões 1, 8, 20, 23 e 24, com maior percentagem de respostas corretas, havendo bom conhecimento dos 101 participantes nestas questões (Gráfico 3).

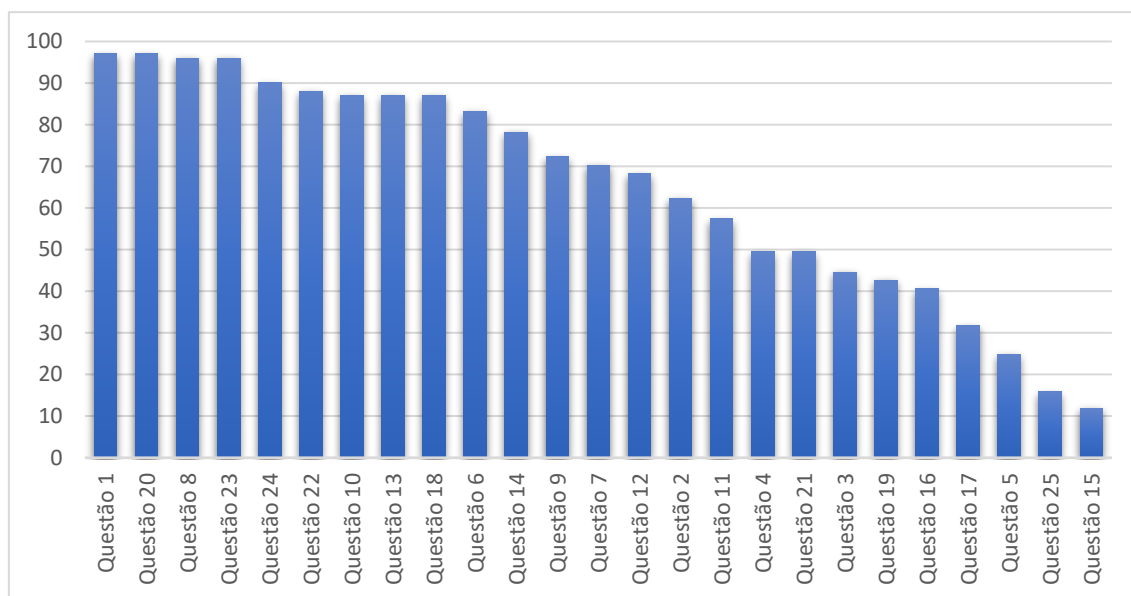


Gráfico 3: Pontuação total dos 101 participantes em cada questão.

Tabela 7: Perfil do TR e o impacto nas respostas ao questionário.

	Formação em segurança	N	Média de respostas corretas	Valor de <i>p</i>	Diferença média
Índice de conhecimento em RM (%)	Em segurança em RM	30	71,7333	0,002	9,367
	Outra formação/ sem formação	71	62,3662		

De acordo com a tabela 7, verificou-se que os TR com formação em segurança em RM acertaram, em média, aproximadamente 72 % das questões do questionário, comparativamente com os TR que possuem formação adicional ou não têm formação, que obtiveram cerca de 62%. Considerando que a pontuação máxima possível do questionário era de 100%, esta diferença revelou-se estatisticamente significativa ($p = 0,002$). Assim, observou-se que os TR sem formação em segurança cometeram um maior número de

erros. A análise do tamanho do efeito confirmou ainda que esta diferença apresenta uma real e significativa magnitude (*Effect Size* = 0,709).

Discussão

O estudo visou em avaliar o nível de conhecimento sobre segurança em RM entre os TR, bem como identificar áreas de maior necessidade de formação que possam comprometer a segurança dos exames e conscientizar o TR relativamente à importância da segurança em RM. Através do questionário aplicado a 101 participantes, foi possível identificar padrões de conhecimento e destacar os temas onde a formação se revela particularmente necessária.

Globalmente, avaliou-se as competências dos TR, através da classificação obtida no questionário. Mais de metade da nossa amostra, 59%, teve como classificação “bom conhecimento”, o que significa que existe uma cultura de conhecimentos em segurança em RM, no entanto seria valoroso que todos os participantes tivessem de “bom conhecimento”. Não obstante, a escassez de conhecimentos sobre segurança em RM pode ser um fator a contribuir para a ocorrência de eventos adversos⁽³⁶⁾⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾.

Na interpretação dos resultados do questionário, relativamente aos anos de experiência e a sua influência na segurança em RM, observou-se que os TR com maior experiência prática na realização de exames apresentaram um melhor desempenho. A classificação “pouco conhecimento” foi maioritariamente observada nos participantes com menos de 2 anos de experiência. Esta correlação entre a prática e o grau de conhecimento é coerente com a literatura existente, que reconhece a experiência como fator que facilita a aprendizagem por exposição direta ao quotidiano clínico⁽⁴²⁾⁽⁴³⁾. No entanto, importa salientar que a experiência clínica, embora valiosa, não substitui a formação estruturada e atualizada, sobretudo perante o avanço tecnológico contínuo e a complexidade dos equipamentos de RM.

Relativamente aos participantes com formações adicionais de RM, como a Pós-Graduação e Mestrado em RM, verificou-se que 83.1% obteve classificação de “pouco conhecimento” ou “algum conhecimento” no questionário. Este resultado indica que a formação académica adicional não se traduz necessariamente em maior conhecimento específico de segurança em RM. Assim, possuir formação complementar em RM não apresenta melhores resultados, nem substituiu a necessidade de formação direcionada para a segurança em RM, ainda que nestas formações possam ser abordados alguns

tópicos relacionados. A segurança em RM requer formação específica e estruturada antes do TR iniciar a sua função na RM⁽⁴⁵⁾. A mesma deve ser contínua, não podendo ser assumida como garantida apenas pela frequência de outras formações em RM. Um aspeto que deve ter sido em conta é que se a formação específica e direcionada para a segurança em RM foi ministrada dentro das próprias instituições onde os profissionais trabalham, essa formação deve ser periódica e devidamente atualizada.

Ter formação em segurança em RM demonstrou impacto positivo no desempenho dos TR no questionário, reforçando a relevância da formação em segurança em RM. Entre os 30 participantes que tiveram formação em segurança em RM, 53.3% obtiveram classificação “bom conhecimento”. Relativamente à questão “a formação em segurança em RM, está associado a um maior nível de informação e boas práticas de segurança”, o valor do *Effect size* = 0,385, indica uma associação favorável, evidenciando que a formação em segurança em RM é vantajosa. Este resultado reforça a necessidade de promover de forma sistemática e contínua, o conhecimento teórico e prático de segurança em RM. Estes achados estão em consonância com estudos prévios e com diretrizes internacionais, como o manual de segurança em RM do ACR e outras entidades, que recomenda a presença de profissionais devidamente formados para supervisionar práticas de segurança nas instituições hospitalares, como MRMD, MRSO e MRSE⁽⁵⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁵⁾. Contudo, importa salientar que permanece desconhecido que tipo de formação que os TR realizaram e há quanto tempo a frequentaram, sendo esta uma das limitações do estudo.

Através da análise das respostas, globalmente não se consegue afirmar quais as áreas com maior necessidade de formação, mas verificou-se necessidade de formação em temas específicos como o uso de ECG na RM, efeitos biológicos a quando a exposição aos campos variáveis no tempo ou gradientes de campo, segurança relativa aos DMI (passivos ou ativos), efeitos adversos dos GBCA, modo de operação utilizado num exame a grávidas e segurança do doente com tatuagens. Estas falhas de conhecimento podem contribuir para o aumento da ocorrência de incidentes ou acidentes em RM, pois o TR é responsável pelo exame e toda a segurança relativa ao mesmo.

Analisaram-se as respostas com menor percentagem de conhecimento dos TR. O perfil do TR com maior percentagem de respostas incorretas são os TR sem formação em

segurança em RM. A diferença de percentagem no questionário entre o TR com formação em segurança e o TR sem formação é em média cerca de 10%. Esta diferença é significativa, o que se traduz-se na valorização da formação em segurança em RM.

Na área 1 “Princípios básicos de construção subjacentes em RM”, destacaram-se as questões 3, 4 e 5 como as que necessitam de mais enfoque na formação e/ou intervenção.

Na questão 3, relativa à ENP, esta é causada pela ação dos campos magnéticos variáveis no tempo. Embora a ENP não represente, na maioria dos casos, um risco clínico significativo, pode causar desconforto relevante em determinados protocolos⁽⁴⁶⁾.

Neste sentido, o papel TR é central. A adequação dos parâmetros das sequências, como o ajuste de determinados parâmetros que influenciam a intensidade dos gradientes, da taxa de variação ou da duração dos pulsos, pode contribuir para a diminuição da ocorrência deste efeito biológico. A consciência e o domínio técnico destes ajustes são fundamentais não apenas para garantir a qualidade da imagem, mas sobretudo para proteger o conforto e a segurança do doente⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾.

Importa ainda destacar que os fabricantes de equipamentos de RM têm vindo a reconhecer a relevância da ENP, desenvolvendo software de monitorização em tempo real, capaz de prever e limitar a probabilidade de ocorrência de ENP durante a aquisição das imagens⁽⁴⁹⁾. Estudos recentes mostram que novas arquiteturas de bobines de gradiente permitem reduzir os campos elétricos induzidos, respeitando os limiares de ENP definidos pelas normas internacionais⁽⁵⁰⁾. Estes avanços tecnológicos reforçam a necessidade de uma colaboração estreita entre a indústria e a prática clínica.

Deste modo, é essencial que, aquando a instalação de novos equipamentos, os planos de formação fornecidos pelas empresas incluam conteúdos específicos sobre a ENP e o correto funcionamento das ferramentas de monitorização associadas. A disponibilização do software não é suficiente, é necessário assegurar que os profissionais compreendam a lógica de funcionamento desses sistemas e a correta utilização para ajustar ao quotidiano profissional em benefício do doente. Trata-se da integração entre o conhecimento técnico, a inovação tecnológica e a formação contínua.

Nas questões 4 e 5, remetem ao uso de ECG nos exames de RM. O ECG é usado particularmente na RM cardíaca, o que levanta desafios específicos que têm implicações diretas na qualidade da imagem e na segurança do doente. A interação do campo magnético estático com o fluxo sanguíneo resulta no efeito magneto-hidrodinâmico. Esta interação induz uma voltagem adicional no sinal do ECG, distorcendo-o e dificultando a sincronização precisa com os ciclos cardíacos⁽⁵¹⁾⁽⁵²⁾.

A distorção do sinal do ECG pode levar à detecção incorreta do intervalo das ondas R (com consequente elevação da onda T), que é essencial para a sincronização temporal da aquisição das imagens cardíacas em RM. Isto pode resultar em artefactos nas imagens, comprometendo a avaliação diagnóstica e a eficiência do exame⁽⁵²⁾. Portanto, é imperativo que o TR esteja apto a identificar e a corrigir essas distorções durante a execução do exame, ajustando os parâmetros conforme necessário para assegurar a qualidade de imagem. Verificou-se neste trabalho que as respostas as questões 4 e 5 têm maior percentagem de respostas incorretas, sendo áreas críticas.

Neste contexto, é indispensável reforçar a formação específica do TR não apenas no que se refere às normas de segurança, mas também no entendimento do comportamento do ECG em diferentes intensidades de campo magnético⁽⁵³⁾. A compreensão do efeito magneto-hidrodinâmico e outros efeitos biológicos e as suas implicações práticas permite ao TR tomar decisões informadas durante a execução do exame, antecipando potenciais dificuldades e implementando soluções que minimizem a presença de artefactos⁽⁵⁴⁾⁽⁵⁵⁾.

Na área 3 “Considerações específicas de segurança em DMI”, observou-se que nas questões 15, 16 e 17, existe necessidade de formação. Destaca-se, em particular, a relevância da formação contínua, evidenciada pela questão 15, que apresentou a menor percentagem de respostas corretas. Até 2023, o contorno do campo correspondente ao volume tridimensional na qual os DMI podem representar perigo era 0.5 mT. Atualmente, o ACR definiu esse contorno como 0.9 mT. Na análise desta questão, e tal como noutras áreas da medicina, podemos salientar a influência da atualização constante por parte dos profissionais de saúde. A aplicação de formações periódicas pode contribuir para a atualização de conhecimentos em segurança em RM.

Quanto à segurança dos DMI na realização de um exame de RM, o TR deve possuir conhecimento atualizado e capacidade de identificar, recolher e interpretar informações relevantes sobre a segurança de cada DMI. Esta avaliação envolve a determinação da compatibilidade do DMI com o ambiente de RM, a qual deve ser verificada através de recursos como páginas *web* apropriadas para o efeito e/ou mediante as recomendações específicas emitidas pelos fabricantes dos DMI, sendo esta a forma mais segura de realizar uma análise quanto à compatibilidade e condições de uso em ambientes relacionados com a RM de um DMI.

Cada vez mais existem DMI nos doentes que realizam exames de RM. Na presença de um doente com dispositivos cardíacos implantáveis, como um *pacemaker*, estes são particularmente sensíveis ao ambiente de RM. Os campos eletromagnéticos podem gerar forças mecânicas sobre os seus componentes, interferir na programação eletrónica, induzir correntes nos cabos dos eléctrodos e provocar o aquecimento na interface eléctrodo-tecido, entre outros efeitos e riscos associados. Há risco de inibição ou ativação inadequada da estimulação cardíaca, bem como a descarga não intencional do desfibrilhador. No entanto, atualmente a maioria dos *pacemakers* são classificados de *MR Conditional*, cuja a realização de um exame em RM é possível, sob dadas condições rigorosas, modo específico para a RM e monitorização cardíaca ao longo da realização do exame de RM⁽⁵⁶⁾⁽⁵⁷⁾.

Outros dos DMI também presentes no quotidiano profissional são os neuroestimuladores e também neuromoduladores. Quando expostos ao ambiente de RM, os campos de RF podem induzir correntes elétricas nos fios e/ou guias nos condutores, resultando em aquecimento localizado dos eléctrodos intracranianos ou medulares, com risco de lesão neurológica, havendo também a possibilidade de desprogramação ou avaria do mesmo⁽⁵⁸⁾⁽⁵⁹⁾.

Cabe ao TR recolher informação detalhada sobre o modelo específico desses dispositivos, uma vez que os mais recentes podem permitir a realização do exame de RM sob determinadas condições estritamente definidas pelos fabricantes. Entre os fatores a considerar encontram-se os valores de SAR, de B1+rms, influência da geometria dos fios e o tipo de antena utilizada, entre muitas outras condições e especificidades⁽⁶⁰⁾.

Esta realidade reforça a pertinência da questão 16 “Qual o parâmetro mais indicado no sentido de orientar as recomendações em RM, em relação ao aquecimento dos DMI”. Um dos parâmetros mais adequados em alguns desses dispositivos poderá ser o B1+rms, que se encontra registado na consola do equipamento de RM e constitui uma das recomendações específicas dos fabricantes. Contudo, neste estudo, verificou-se que menos de 40% dos participantes reconhece o B1+rms, como o parâmetro correto para avaliação do risco de aquecimento dos DMI, evidenciando a necessidade de formação nesta área mais complexa e mais atual na área da segurança em RM.

Na questão 17, menos de 45% dos participantes respondeu corretamente à pergunta “Um doente sujeito a cirurgia, onde foi necessário, a colocação de um *stent* ou *coils* intravasculares, não ferromagnéticas, pode fazer RM quando?”. As respostas mais frequentemente assinaladas foram “2 semanas após” ou “6 semanas após”. Não é possível determinar se a desinformação do TR teve consequências clínicas para o doente. Um *stent* ou *coil* de material não ferromagnético, por exemplo titânio, são geralmente seguros em RM, podendo realizar RM logo após a colocação. O TR tem o papel de procurar identificar o material do *stent* ou *coil*, com recurso ao processo do doente ou através do contacto com médico responsável, avaliar a compatibilidade e aplicar as recomendações dos fabricantes para um exame seguro⁽⁶¹⁾.

Na área 4 “Agentes de contraste à base de gadolínio” destacou-se a questão 19. No quotidiano profissional, há exames de RM em que é necessário GBCA para auxiliar o diagnóstico. Apesar da sua eficácia, o uso destes GBCA implica riscos, podendo provocar reações adversas de diferentes gravidades.

Neste contexto, os TR assumem responsabilidades centrais em todas as etapas relacionadas com a administração de contraste. Compete-lhes a triagem clínica do doente, com avaliação de antecedentes relevantes, como alergias, reações prévias, função renal, bem como a comunicação clara e objetiva sobre o procedimento e os riscos associados.

Durante o exame, os TR são responsáveis pela preparação e administração segura do contraste, cumprindo protocolos institucionais e normas internacionais, assegurando doses adequadas consoante o GBCA e utilização técnicas assépticas. Simultaneamente,

devem manter vigilância atenta dos sinais clínicos, de forma a reconhecer precocemente qualquer reação adversa. A capacidade de resposta rápida e eficaz perante uma reação depende do conhecimento técnico e da preparação prática do TR, que deve ser capaz de acionar os protocolos de emergência, prestar suporte imediato e articular-se de forma eficiente com a equipa médica e de enfermagem⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾.

Através das respostas da questão 19 “Relativamente à administração de contraste, quais são os efeitos adversos de curto prazo, do tipo não alérgico?”, menos de 45% dos participantes reconhece que as náuseas, cefaleias, vômito e reações no local de injeção, são reações que não alérgicas.

Assim, a formação específica dos TR no âmbito do uso de GBCA deve abranger não só a farmacologia destes agentes, os mecanismos de ação e potenciais riscos, mas também treino prático em administração segura, reconhecimento precoce em reações adversas e aplicação de protocolos de emergência. A formação deve responder a emergências particulares, dada a presença do campo magnético e as restrições no uso de equipamentos como por exemplo o uso de desfibrilhador na presença de uma paragem cardiorrespiratória⁽³²⁾⁽⁶⁴⁾.

Na área 5 “Considerações para a RM na gravidez” observou-se necessidade de formação na questão 21. Na realização de um exame de RM a uma grávida, a monitorização da segurança apresenta desafios particulares. Embora seja possível avaliar a temperatura materna durante o exame, não existe atualmente um método eficaz para a monitorização da temperatura do feto. Nos exames a grávidas, o limite do SAR é 2 W/kg, considerado o modo normal de operação do SAR estabelecido pela *International Electrotechnical Commission* (IEC). Este aspeto é particularmente relevante, uma vez que o líquido amniótico não dispõem de mecanismos fisiológicos de arrefecimento, podendo potenciar o aumento térmico no feto, podendo aumentar o risco e desconforto para a doente ao longo do exame de RM⁽⁶⁾.

Perante este cenário, as normas internacionais estabelecem que, em exames de RM a grávidas, o valor do SAR não deve ultrapassar 2 W/kg, corresponde ao modo normal de operação⁽⁵⁾. Aqui a responsabilidade do TR é determinante: cabe-lhe garantir que os protocolos aplicados respeitam este limite, não o ultrapassando, assegurando a

segurança da grávida e do feto. Para tal, o TR deve possuir conhecimento atualizado sobre os riscos associados, interpretar corretamente os parâmetros técnicos e sempre que necessário, ajustá-los de forma a manter o SAR tão baixo quanto possível, sem nunca comprometer a qualidade final da imagem⁽⁶⁵⁾.

Na área 6 “Considerações de triagem”, destaca-se a questão 25 com necessidade de formação. O tema desta questão são as tatuagens, que não são contraindicação absoluta para realização de RM, contudo exigem uma avaliação cuidadosa por parte do TR. Entre os riscos descritos na literatura destacam-se o aparecimento de sensações de aquecimento local, dor, irritação cutânea e em casos mais raros, queimaduras superficiais. Estes efeitos estão relacionados com presença de pigmentos metálicos nas tintas utilizadas, que podem interagir com os campos de RF da RM⁽⁶⁶⁾⁽⁶⁷⁾.

Neste contexto, a correta triagem realizada pelo TR assume um papel central na prevenção de complicações. A recolha detalhada da história clínica deve incluir, a sua localização, a extensão e a data da realização da tatuagem, uma vez que tatuagens mais recentes, nomeadamente com menos de 48 horas, constituem uma situação em que o exame deverá ser adiado, uma vez que a pele e os tecidos ainda se encontram em processo inflamatório e mais suscetíveis a complicações⁽¹⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁷⁾.

Na Europa, o padrão europeu de formação em segurança em RM é heterogéneo, havendo diferentes regulamentos e procedimentos em diversos países sobre formação em segurança em RM⁽⁴⁰⁾. A falta de formação interna e contínua pode comprometer a educação dos profissionais⁽¹⁵⁾.

Reconhecendo estas fragilidades, a Sociedade Europeia de Radiologia (ESR) pretende uma educação e práticas de segurança em RM harmonizada. Neste contexto, propõe-se um currículo estruturado em quatro níveis de formação. O nível 1 representa formação básica para profissionais com contacto com o ambiente em RM. O nível 2 destina-se a profissionais que trabalham regularmente em áreas de RM, como os enfermeiros e TAS. O nível 3 destina-se a especialistas com funções de supervisão e gestão de riscos, TR, MRSO, MRMD e MRSE. O nível 4 corresponde ao nível mais avançado, responsável pela organização de formações internas, cursos de atualização ⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾.

Este modelo pretende garantir que todos os profissionais, desde os contactos ocasionais até os que assumem funções de liderança, possuam competências adequadas certificadas. O consórcio ECSO-MRI (*European Curriculum for Safety Officers in MRI*) representa, assim, uma resposta concreta ao desafio da heterogeneidade europeia, promovendo uma base comum de conhecimento e de boas práticas que fortalece a cultura de segurança em RM em toda a Europa⁽²⁹⁾.

Em Portugal, embora algumas instituições ofereçam ações pontuais de formação em segurança em RM, geralmente integradas em pós-graduações, não existe ainda obrigatoriedade formal nem uma estrutura curricular padronizada a nível nacional. Uma das ferramentas disponíveis, através de organismos internacionais, para obtenção de formação em segurança em RM e MRSO são os cursos disponíveis pelo *American Board of Magnetic Resonance Safety* (ABMRS), que oferece formação e exame oficial com validade reconhecida em várias jurisdições⁽⁶⁸⁾.

A presença do MRSO em cada instituição de saúde com equipamentos de RM, devia ser obrigatória, uma vez que umas das funções do MRSO é fornecer educação e treino em segurança em RM. O MRSO desempenha um papel crucial na gestão dos riscos, na garantia de um ambiente seguro e proteção em RM para os doentes e para os profissionais. A presença deste é imprescindível para o bom funcionamento do serviço de RM e para minimizar perigos, garantindo a integridade física de todos os que entram no ambiente de RM⁽⁵⁾⁽⁶⁹⁾⁽⁷⁰⁾.

Apesar do crescente investimento em protocolos e normas de segurança, a realidade clínica demonstra que os procedimentos de RM não se tornaram necessariamente mais seguros. De acordo com os dados da FDA, nas últimas duas décadas o número de acidentes reportados em RM cresceu cerca de três vezes mais do que o volume de exames realizados, o que sugere que as estratégias de prevenção ainda não acompanham o ritmo do aumento da utilização da RM. Esta evidência reforça que a segurança em RM não deve depender apenas da autonomia das instituições, mas sim de processos de acreditação formal e da aplicação sistemática de práticas de prevenção de lesões, garantindo a proteção de profissionais e utentes⁽⁷¹⁾.

Em Portugal, na ocorrência de um acidente/incidente em RM, a notificação deve ser feita no sistema interno de notificação incidentes/acontecimentos adversos do hospital e à Direção Geral de Saúde (DGS) através da plataforma NOTIFICA e no caso de falha de um dispositivo médico, também deve-se notificar o INFARMED.

No entanto, um dos maiores desafios identificados na literatura é a subnotificação de incidentes e acidentes em RM. O estudo multicêntrico concluiu que apenas 38% dos incidentes foram formalmente reportados, sendo muitos comunicados apenas de forma oral, o que limita a possibilidade de análise sistemática e implementação de melhorias⁽³⁶⁾. Resultados semelhantes foram descritos num estudo na Suécia, que destacou que dois terços dos incidentes em RM não chegam a ser notificados⁽⁷²⁾. No contexto hospitalar de grandes dimensões, a taxa de reporte foi apenas de 0.35%, com maior incidência em doentes internados face a doentes externos⁽⁷³⁾. Também uma revisão britânica de 3 anos reportou uma taxa global de incidentes de 0.33%, mas apenas 0.05% diretamente relacionados com a segurança em RM. Estes números evidenciam uma discrepância significativa entre a ocorrência real de eventos adversos e o que é oficialmente registado⁽⁷⁴⁾.

As razões para esta subnotificação são multifatoriais, como o medo de retaliação, a necessidade de aprovação de superiores hierárquicos e a preocupação com a reputação profissional. Estes fatores contribuem para uma cultura de silêncio que, em última instância, compromete a aprendizagem organizacional e a prevenção de novos erros⁽⁷⁵⁾.

Neste contexto, torna-se evidente a necessidade de implementar plataformas de reporte ou sistemas de notificação específicos para RM. Estas ferramentas devem ser concebidas não como mecanismos de punição, mas como instrumentos de vigilância, gestão da qualidade e melhoria contínua. A notificação sistemática de incidentes permite identificar falhas, avaliar riscos recorrentes e implementar medidas corretivas, promovendo assim um ambiente profissional mais seguro e resiliente.

Na aplicação do questionário destinado a avaliar a formação em segurança magnética entre os TR, identificaram-se algumas limitações relevantes. A ausência de questões específicas relacionadas com a gestão de acidentes e incidentes em RM, nomeadamente se os profissionais reportam estas ocorrências e quais os canais formais utilizados para

tal, constitui uma lacuna metodológica. A inclusão desta teria permitido avaliar não apenas o conhecimento teórico dos inquiridos, mas também a sua conduta prática perante situações de risco, o que é apontado como essencial para uma cultura de segurança robusta⁽⁷⁶⁾.

Do mesmo modo, a inexistência de perguntas sobre o momento da realização da formação em segurança, a sua periodicidade e o tipo de curso frequentado (formação interna promovida pela instituição versus cursos organizados por entidades externas acreditadas), limitou a possibilidade de compreender a atualidade, consistência e diversidade da preparação dos profissionais. Esta informação seria fundamental para correlacionar a atualização dos conhecimentos com as práticas seguras em RM, dado que a literatura internacional defende a necessidade de formação periódica e estruturada⁽⁵⁾⁽⁴⁰⁾.

Outro aspeto não contemplado foi a indagação sobre a existência, nas instituições de saúde, de profissionais com responsabilidade em segurança, tais como o MRSO e MRMD. A presença destes é considerada essencial em várias *guidelines* internacionais, nomeadamente pela ABMRS e pela ESR, como forma de garantir a supervisão contínua das práticas e a mitigação de riscos⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾⁽⁷⁷⁾.

Importa ainda sublinhar que, de acordo com o documento da *European Federation of Radiographers Societies (EFRS)*, "*Magnetic Resonance Safety Officer (MRSO) Role Descriptor: An European Qualifications Framework (EQF) benchmarking document*", é fundamental que os profissionais que trabalham em RM detenham conhecimentos, competências e habilidades específicas em segurança. O referido documento estabelece que a formação em segurança em RM deve corresponder a um nível 2, garantindo não apenas a compreensão dos riscos e normas aplicáveis, mas também a capacidade de atuação eficaz em contextos de emergência⁽²⁷⁾. A ausência de questões que permitissem estabelecer uma relação direta entre o nível de formação dos TR e estas diretrizes europeias limita a avaliação do grau de alinhamento entre a realidade nacional e as recomendações internacionais.

Estas limitações metodológicas, todavia, configuram-se como oportunidade de investigação futura. A inclusão de dimensões relacionadas com o reporte de incidentes,

a atualização e natureza da formação recebida e a existência de estruturas institucionais de segurança permitiria uma análise mais abrangente e crítica. Tal abordagem contribuiria para identificar lacunas concretas, promovendo melhorias tanto na formação contínua dos TR como na implementação de políticas institucionais de segurança em RM, em consonância com as boas práticas internacionais.

Na RM, haverá sempre possibilidade de erro humano, pelo que é essencial que serviços de Radiologia com equipamentos de RM elaborem políticas e procedimentos criteriosos de forma a prevenir, evitar e registar situações de risco e acidentes. O TR tem um papel muito importante na segurança de todos os doentes, profissionais e acompanhantes que entram no ambiente de RM, daí a importância da formação em segurança em RM.

Limitações do estudo

Como limitações do estudo indicamos, desconhecer a formação adicional que fizeram, que formação em segurança em RM e há quanto tempo fizeram estas formações.

Nas instituições de saúde existem ou não responsáveis de segurança como MRMD, MRSO E MRSE.

No caso de ocorrência de incidentes ou acidentes como e a quem reportam.

O estudo apresenta uma amostra pequena que constitui uma limitação importante à robustez estatística.

Conclusão

A RM, sendo uma técnica em constante evolução, exige atualização contínua de conhecimentos, sobretudo no que respeita à segurança aplicada a doentes com diferentes condições clínicas e características individuais. O presente estudo permitiu avaliar o nível de conhecimento dos TR relativamente à segurança em RM, identificando as áreas de maior necessidade de formação e promover a consciencialização relativamente à importância desta temática.

Os resultados confirmaram parcialmente as hipóteses levantadas. Verificou-se que a experiência profissional é um fator determinante, na medida em que os TR com mais anos de prática em RM demonstraram maiores competências de segurança, obtendo melhor desempenho no questionário aplicado. Contudo, constatou-se que a posse de formação adicional como Pós-graduação e Mestrado em RM, não se traduziu necessariamente em melhores resultados, evidenciando que a formação específica em segurança em RM é insubstituível. Por outro lado, a formação em segurança em RM, independentemente do momento ou contexto em que foi realizada, revelou-se significativa, refletindo-se em melhores resultados. Importa ainda destacar que os TR sem formação em segurança cometeram um maior número de erros, ou seja, apresentaram uma percentagem menor de respostas corretas no questionário.

Apesar de que cerca de 60% dos participantes deste estudo alcançaram classificação de “bom conhecimento”, foram identificadas lacunas em temas específicos, nomeadamente a utilização do ECG na RM, os efeitos biológicos da exposição a campos variáveis no tempo, a segurança de DMI, os efeitos adversos dos GBCA, os protocolos de segurança em grávidas e as implicações das tatuagens nos exames. Estes resultados reforçam a necessidade de programas de formação contínua direcionados para estas temáticas, bem como de estratégias de atualização regulares que garantam a uniformização de práticas seguras. A criação de uma estrutura curricular, inspirada em modelos internacionais como ECSO-MRI e a certificação da ABMRS, poderá contribuir para padronizar a prática em Portugal e aproximá-la das recomendações internacionais. A presença de profissionais com funções específicas de segurança, como o MRSO, deve

ser considerada essencial para supervisionar riscos, formar equipas e garantir um ambiente seguro.

Por outro lado, a análise da literatura evidencia a subnotificação de incidentes em RM como um dos maiores desafios atualmente, comprometendo a prevenção de erros e a aprendizagem organizacional. Neste sentido, a criação de plataformas de notificação específicas, com carácter não punitivo, é indispensável para reforçar a cultura de segurança.

Em termos de perspetivas futuras destaca-se a pertinência de estudos que integrem outros profissionais de saúde envolvidos no exame da RM, de modo a obter uma visão multidisciplinar da cultura de segurança em RM.

Em síntese, os resultados demonstram que, embora exista uma base sólida de conhecimentos entre os TR, persistem lacunas críticas em áreas essenciais de segurança em RM. Estas fragilidades podem comprometer não apenas a qualidade diagnóstica, mas sobretudo a segurança dos doentes e profissionais. Torna-se, assim, imperativo investir em formação contínua, certificação padronizada e supervisão institucional através de profissionais especializados, de modo a alinhar a realidade nacional com as melhores práticas internacionais e consolidar uma cultura robusta de segurança em RM. A segurança em RM depende não apenas da tecnologia disponível, mas sobretudo da preparação dos TR.

Referências Bibliográficas

1. Mazzola AA, Stieven KI, Neto GH, Cardoso GDM. Segurança em Imagem por Ressonância Magnética. Rev Bras Física Médica. 2019;13(1).
2. Blankholm AD, Hansson B. Incident reporting and level of MR safety education: A Danish national study. Radiography. 2020;26(2).
3. Cross NM, Hoff MN, Kanal KM. Avoiding MRI-Related Accidents: A Practical Approach to Implementing MR Safety. J Am Coll Radiol. 2018;15(12).
4. Mittendorff L, Young A, Sim J. A narrative review of current and emerging MRI safety issues: What every MRI technologist (radiographer) needs to know. Vol. 69, Journal of Medical Radiation Sciences. John Wiley and Sons Ltd; 2022. p. 250–60.
5. ACR Committee on MR Safety. ACR Manual on MR Safety. American College of Radiology, editor. 2024.
6. Mcrobbie DW. Essentials of MRI SAFETY. First edit. WILEY Blackwell, editor. 2020.
7. Panych LP, Madore B. The physics of MRI safety. Vol. 47, Journal of Magnetic Resonance Imaging. John Wiley and Sons Inc.; 2018. p. 28–43.
8. Shah A, Aran S. A Review of Magnetic Resonance (MR) Safety: The Essentials to Patient Safety. Cureus. 2023;
9. Thomas H, Peter Y. A practical guide for radiographers focussing on safety during magnetic resonance imaging. J Med Imaging Radiat Sci. 2022;53(4).
10. Keevil S. SAFETY IN MAGNETIC RESONANCE IMAGING. Vol. 4, MEDICAL PHYSICS INTERNATIONAL Journal. 2016.
11. Medicines and Healthcare Products Regulatory Agency. Safety Guidelines for Magnetic Resonance Imaging Equipment in Clinical Use. 2021.
12. Hood MN. Reference Manual for Magnetic Resonance Safety, Implants, and Devices. J Radiol Nurs. 2016;35(3).
13. International Electrochemical Commission. Medical electrical equipment: part 2-

33. Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis. IEC 60601-2-33. 2022.
14. Serai SD, Ho ML, Artunduaga M, Chan SS, Chavhan GB. Components of a magnetic resonance imaging system and their relationship to safety and image quality. Vol. 51, Pediatric Radiology. 2021.
 15. Al-Radaideh A, Al-Modallal H. MRI Safety Matters: Assessing the Knowledge of Radiologic Technologists and Nurses for Safe Imaging Practices. J Radiol Nurs. 2023;
 16. ECONOMIA. Decreto-Lei n.º 64/2017 de 12 de junho. Diário da República, 1ª série — N.º 113 — 12 junho 2017. 2017;
 17. Delfino JG, Krainak DM, Flesher SA, Miller DL. MRI-related FDA adverse event reports: A 10-yr review. Med Phys. 2019;46(12).
 18. Manuel V, Silva F, Pereira EL, Cunha A, Silva V, Santos R, et al. REVISTA “RADIACÕES” Publicado por: Editores Direção da ATARP. 2020.
 19. Doda Khera R, Hirsch JA, Buch K, Saini S. ED MRI: Safety, Consent, and Regulatory Considerations. Vol. 30, Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America. 2022.
 20. Kuroda K, Yatsushiro S. New Insights into MR Safety for Implantable Medical Devices. Vol. 21, Magnetic Resonance in Medical Sciences. Japanese Society for Magnetic Resonance in Medicine; 2022. p. 110–31.
 21. Boy, 6, Killed in Freak MRI Accident - ABC News [Internet]. Available from: <https://abcnews.go.com/US/story?id=92745&page=1>
 22. Man dies after being sucked into MRI scanner at Indian hospital | India | The Guardian [Internet]. Available from: <https://www.theguardian.com/world/2018/jan/30/mri-scanner-india-death>
 23. Oxygen cylinder kills South Korean man in MRI accident | AuntMinnie [Internet]. Available from: <https://www.auntminnie.com/clinical-news/mri/article/15629448/oxygen-cylinder-kills-south-korean-man-in-mri->

accident

24. Homem leva arma a ressonância magnética e fica ferido com disparo induzido | Ciencia [Internet]. Available from: https://www.tecmundo.com.br/ciencia/259427-homem-leva-arma-ressonancia-magnetica-ferido-disparo-induzido.htm?utm_source=
25. Bay Area nurse crushed in MRI accident highlighting safety concerns | KTVU FOX 2 [Internet]. Available from: <https://www.ktvu.com/news/bay-area-nurse-crushed-in-mri-accident-highlighting-safety-concerns>
26. Haik J, Daniel S, Tessone A, Orenstein A, Winkler E. MRI induced fourth-degree burn in an extremity, leading to amputation. *Burns*. 2009;35(2).
27. Blankholm AD, Bougias C, Malamateniou C, McGee A, Owman T, Silva V. Magnetic Resonance Safety Officer (MRSO) Role Descriptor [Internet]. 2021 Nov. Available from: www.efrs.eu
28. European Curriculum for Safety Officers in MRI (EN) | Odisee [Internet]. Available from: <https://www.odisee.be/en/researchprojects/european-curriculum-safety-officers-mri-en>
29. De Bock A, McNulty J, England A. Recognising the role of radiographers in MR safety and the contributions of the European Federation of Radiographer Societies. *Insights Imaging*. 2025 Dec 1;16(1).
30. International Society for Magnetic Resonance in Medicine. burn prevention poster [Internet]. Available from: https://www.ismrm.org/smrt/safety_page/burn_prevention_poster/Portuguese_8.5x11.pdf
31. American College of Radiology. Committee on Drugs and Contrast Media. ACR manual on contrast media. 125 p.
32. Contrast Media Safety Committee. ESUR Guidelines on Contrast Agents v10.0. *Eur Soc Urogenit Radiol*. 2018;
33. Little JT, Bookwalter CA. *Magnetic Resonance Safety: Pregnancy and Lactation*.

- Vol. 28, Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America. 2020.
34. Jabehdar Maralani P, Kapadia A, Liu G, Moretti F, Ghandehari H, Clarke SE, et al. Canadian Association of Radiologists Recommendations for the Safe Use of MRI During Pregnancy. *Can Assoc Radiol J.* 2022;73(1).
 35. Maralani PJ, Pai V, Ertl-Wagner BB. Safety of Magnetic Resonance Imaging in Pregnancy. Vol. 63, *Radiologie.* 2023.
 36. Kihlberg J, Hansson B, Hall A, Tisell A, Lundberg P. Magnetic resonance imaging incidents are severely underreported: a finding in a multicentre interview survey. *Eur Radiol.* 2022;32(1).
 37. Norbash A, Yucel K, Yuh W, Doros G, Ajam A, Lang E, et al. Effect of team training on improving MRI study completion rates and no-show rates. *J Magn Reson Imaging.* 2016;44(4).
 38. Scott A, Hallas O, Brandon B, Costello M, Dang T, Maxfield J, et al. Taking the fear out of MRI safety queries: a modular educational intervention for the experts. *Abdom Radiol.* 2025;
 39. Choorakuttil RM, Kan EYL, Hallinan JTPD, Cuenza TR, Ho ELM, Afrin R, et al. Magnetic resonance imaging safety in Asia-Oceania: call for action. *Jpn J Radiol.* 2025 May 1;43(5):720–5.
 40. Trattnig S, Busoni S, Blankholm AD, Neri E, Bargalló N, McFadden M, et al. The European MR safety landscape. *Insights Imaging.* 2024 Dec 1;15(1).
 41. Decreto-Lei n.º 64/2017, de 7 de agosto. *Diário da República* nº 151. 2017 Aug 7;
 42. Eraut M. Informal learning in the workplace. *Stud Contin Educ.* 2004;26(2).
 43. le Clus M. Informal learning in the workplace: A review of the literature. *Aust J Adult Learn.* 2011;51(2).
 44. Clausen L. CJGA. PA. PB. SK. TJ. WA ;Lipman. E. OT. Radiologic Technologist Best Practices for MR Safety. 2018.
 45. Alghamdi SA. Assessment of MRI Safety Practices in Saudi Arabia. *Risk Manag*

- Healthc Policy. 2023;16:199–208.
46. Hansson B, Markenroth Bloch K, Owman T, Nilsson M, Lätt J, Olsrud J, et al. Subjectively Reported Effects Experienced in an Actively Shielded 7T MRI: A Large-Scale Study. *J Magn Reson Imaging*. 2020;52(4).
 47. Ham CLG, Engels JML, Van de Wiel GT, Machielsen A. Peripheral nerve stimulation during MRI: Effects of high gradient amplitudes and switching rates. *J Magn Reson Imaging*. 1997;7(5).
 48. Grau-Ruiz D, Rigla JP, Pallás E, Algarín JM, Borreguero J, Bosch R, et al. Magneto-stimulation limits in medical imaging applications with rapid field dynamics. *Phys Med Biol*. 2022;67(4).
 49. Search - Philips [Internet]. [cited 2025 Sep 10]. Available from: <https://www.philips.no/healthcare/search?q=Potential hazards in MR imaging>
 50. Babaloo R, Atalar E. Minimizing electric fields and increasing peripheral nerve stimulation thresholds using a body gradient array coil. *Magn Reson Med*. 2024 Sep 1;92(3):1290–305.
 51. Nacif MS, Zavodni A, Kawel N, Choi EY, Lima JAC, Bluemke DA. Cardiac magnetic resonance imaging and its electrocardiographs (ECG): Tips and tricks. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2012;28(6).
 52. Gregory TS. Magnetohydrodynamics present in physiological signals and real-time electrocardiography during magnetic resonance imaging [Internet]. University of Georgia; 2015 [cited 2025 Sep 10]. Available from: <https://openscholar.uga.edu/record/8661>
 53. Stäb D, Roessler J, O'Brien K, Hamilton-Craig C, Barth M. ECG Triggering in Ultra-High Field Cardiovascular MRI. *Tomography*. 2016;2(3).
 54. MR: HQ Cardiac [Internet]. [cited 2025 Sep 10]. Available from: <https://www.gehealthcare.com/shop/education/CR-0006673?srsIid=AfmBOoofl-jHzgdaBMSxFmQwUdWfoIT2SYPTp0GIne5JVT4H34Xt082T>

55. Cardiac MRI - Virtual Training [Internet]. [cited 2025 Sep 10]. Available from: <https://www.siemens-healthineers.com/en-uk/education/siemens-healthineers-academy/medical-imaging/magnetic-resonance-imaging/syngo-mr-cardiac>
56. Muthalaly RG, Nerlekar N, Ge Y, Kwong RY, Nasis A. MRI in patients with cardiac implantable electronic devices. *Radiology* [Internet]. 2018 Nov 1 [cited 2025 Sep 11];289(2):281–92. Available from: [/doi/pdf/10.1148/radiol.2018180285?download=true](https://doi.org/10.1148/radiol.2018180285?download=true)
57. Bhuvana AN, Moralee R, Bruncker T, Lascelles K, Cash L, Patel KP, et al. Evidence to support magnetic resonance conditional labelling of all pacemaker and defibrillator leads in patients with cardiac implantable electronic devices. *Eur Heart J*. 2022;43(26).
58. Zulkarnain NIH, Sadeghi-Tarakameh A, Thotland J, Harel N, Eryaman Y. A workflow for predicting radiofrequency-induced heating around bilateral deep brain stimulation electrodes in MRI. *Med Phys*. 2024 Feb 1;51(2):1007–18.
59. Finelli DA, Rezai AR, Ruggieri PM, Tkach JA, Nyenhuis JA, Hrdlicka G, et al. MR imaging-related heating of deep brain stimulation electrodes: In vitro study. *Am J Neuroradiol*. 2002;23(10).
60. Boston Scientific. ImageReady™ MRI Guidelines for Boston Scientific Deep Brain Stimulation Systems. Boston Scientific Corporation, editor. 2019.
61. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, Bluemke DA, Flamm SD, Kanal E, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: An American heart association scientific statement from the committee on diagnostic and interventional cardiac catheterization, council on clinical cardiology, and the council on cardiovascular radiology and intervention. Vol. 116, *Circulation*. 2007. p. 2878–91.
62. Kanal E. Gadolinium based contrast agents (GBCA): Safety overview after 3 decades of clinical experience. *Magn Reson Imaging*. 2016 Dec 1;34(10):1341–5.
63. Beckett KR, Moriarity AK, Langer JM. Safe use of contrast media: What the

- radiologist needs to know. Vol. 35, Radiographics. Radiological Society of North America Inc.; 2015. p. 1738–50.
64. Schmidt EJ, Watkins RD, Zviman MM, Guttman MA, Wang W, Halperin HA. A Magnetic Resonance Imaging-Conditional External Cardiac Defibrillator for Resuscitation Within the Magnetic Resonance Imaging Scanner Bore. Vol. 9, Circulation: Cardiovascular Imaging. 2016.
 65. Bourgioti C, Konidari M, Gourtsoyianni S, Mouloupoulos LA. Imaging during pregnancy: What the radiologist needs to know. Vol. 102, Diagnostic and Interventional Imaging. 2021.
 66. Hayat S, Cho Y, Oh S, Yoo H. RF-induced heating of various tattoos at magnetic resonance imaging systems. IEEE Access. 2021;9.
 67. Alsing KK, Johannesen HH, Hansen RH, Serup J. Tattoo complications and magnetic resonance imaging: a comprehensive review of the literature. Vol. 61, Acta Radiologica. SAGE Publications Inc.; 2020. p. 1695–700.
 68. Information and Registration – International | ABMRS [Internet]. [cited 2025 Sep 12]. Available from: <https://abmrs.org/information-and-registration-international/>
 69. Recommended responsibilities for management of Magnetic Resonance safety - OSHwiki | European Agency for Safety and Health at Work [Internet]. [cited 2025 Sep 12]. Available from: <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/recommended-responsibilities-management-magnetic-resonance-safety>
 70. Alkhulaifat D, Vidal L, Larsen E, Serai SD, Sinti-Ycochea M, Mecca P, et al. MRI safety—developing the right culture. Vol. 55, Pediatric Radiology. Springer Nature; 2025. p. 895–901.
 71. Gilk T. MRI Safety: Prepare for New Guidance. Vol. 52, Applied Radiology. 2023.
 72. MRI safety survey finds two-thirds of incidents go unreported | AuntMinnieEurope [Internet]. [cited 2025 Sep 10]. Available from:

<https://www.auntminnieeurope.com/clinical-news/article/15655812/mri-safety-survey-finds-two-thirds-of-incidents-go-unreported>

73. Mansouri M, Aran S, Harvey HB, Shaqdan KW, Abujudeh HH. Rates of safety incident reporting in MRI in a large academic medical center. *J Magn Reson Imaging*. 2016 Apr 1;43(4):998–1007.
74. Hudson D, Jones AP. A 3-year review of MRI safety incidents within a UK independent sector provider of diagnostic services. *BJR Open*. 2019;1(1).
75. Sendiuoni A, Miraj SA. Analyzing the Barriers of Incident Reporting in MRI Practice in Government Hospitals of Saudi Arabia. *J Pharm Bioallied Sci [Internet]*. 2024 Feb 1 [cited 2025 Sep 10];16(Suppl 1):S655. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11001123/>
76. Greenberg TD, Hoff MN, Gilk TB, Jackson EF, Kanal E, McKinney AM, et al. ACR guidance document on MR safe practices: Updates and critical information 2019. *J Magn Reson Imaging*. 2020 Feb 1;51(2):331–8.
77. Certification Types | ABMRS [Internet]. [cited 2025 Sep 13]. Available from: <https://abmrs.org/choosing-the-right-certification-type-for-you/>

Anexos

Anexo 1 – Questionário de Segurança em Ressonância Magnética, do presente estudo.

Questionário “Segurança em Ressonância Magnética”

I. Género?

Feminino

Masculino

II. Qual o intervalo relativamente à sua idade?

20 a 30 anos

31 a 40 anos

41 a 50 anos

Mais de 50 anos

III. Quantos anos de experiência tem em Ressonância Magnética (RM)?

0 a 2] anos.

]2 a 5] anos.

]5 a 10] anos.

Mais de 10 anos.

IV. Tem formação adicional em RM?

Não.

Sim.

Se sim. Qual?

Pós-graduação.

Mestrado.

Doutoramento.

Não se aplica.

V. Tem alguma formação adicional de Segurança em RM?

- Sim.
- Não.

Princípios básicos de construção subjacentes à segurança em RM.

1. O efeito de deslocamento de objetos em direção ao equipamento de RM é denominado por?

- Efeito de atração.
- Efeito magneto hidrodinâmico.
- Efeito de *Zeeman*.
- Efeito de torção.

2. O efeito de atração está diretamente relacionado com que campos magnéticos?

- Campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo.
- Campos magnéticos estáticos.
- Campos de radiofrequência.

3. Quais os efeitos biológicos que estão relacionados com a ação dos campos magnéticos variáveis no tempo em RM?

- Efeito térmico.
- Gosto metálico.
- Estimulação nervosa periférica.
- Náuseas.

4. Qual o efeito dos campos magnéticos no traçado do Eletrocardiograma (ECG)?

- Efeito magneto-hidrodinâmico.

- Efeito de indução.
- Efeito de deflexão.
- Efeito de reflexão.

5. A alteração da onda *T* no ECG é causada por que campo magnético?

- Campos magnéticos estáticos.
- Campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo.
- Campos de radiofrequência.

6. Quais são os campos eletromagnéticos utilizados em RM?

- Campos Magnéticos estáticos.
- Campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo.
- Campos de radiofrequência.
- Todas as anteriores.

7. Qual o principal efeito dos campos de Radiofrequência?

- Efeito térmico.
- Efeito não térmico.
- Efeito de torção.
- Efeito de indução de correntes.

8. O que é o “*Specific Absorption Rate*” (SAR)?

- Variação dos pulsos de radiofrequência durante uma sequência de imagens.
- Taxa específica de absorção de energia.
- Campo magnético de RF médio eficaz gerado pela bobine transmissora de RF.

9. Quais dos seguintes parâmetros influencia o valor de “*Specific Absorption Rate*” (SAR)?

- Intensidade de campo.
- Zona anatómica a ser examinada.
- Peso do doente.
- Agentes de contraste.

10. Em que unidades é medido o SAR?

- Watt/kg.
- Tesla.
- Watt/g.
- Gauss.

Ambiente em Ressonância Magnética.

11. Qual o número de zonas de segurança definidas em Ressonância Magnética pelo *American College Radiology* (ACR)?

- 3.
- 4.
- 5.

12. Qual das seguintes zonas de segurança deve ser de acesso restrito?

- Zona I.
- Zona II.
- Zona III.

Considerações específicas de segurança de dispositivos médicos implantáveis.

13. Em RM, os dispositivos marcados como o seguinte símbolo são classificados como?



- Condicionais.
- Seguros.
- Inseguros.

14. A afirmação seguinte é verdadeira ou falsa “Um doente com um dispositivo médico implantável que já tenha feito RM num campo de intensidade 3T, pode realizar exames em equipamentos com intensidades inferiores, sem quaisquer cuidados adicionais”?

- Verdadeira.
- Falsa.

15. O ambiente de Ressonância Magnética é “volume tridimensional do espaço ao redor do magneto de RM”. Este volume é a região na qual um dispositivo/acessório pode representar perigo devido à composição aos campos eletromagnéticos produzidos pelo equipamento. Qual o contorno do campo?

- 0,5 T.
- 0,9 mT.
- 0,09 mT.
- 0,5 mT

16. Qual o parâmetro mais indicado no sentido de orientar as recomendações em RM, em relação ao aquecimento de dispositivos médicos implantáveis?

- SAR.
- Slew rate*.

- B1+rms.

17. Um doente sujeito a cirurgia onde foi necessária colocação de um stent ou coils intravasculares, não ferromagnéticas, pode fazer Ressonância Magnética quando?

- Logo após cirurgia.
- 2 semanas após.
- 6 semanas após.

Agentes de contraste à base de gadolínio.

18. Qual a complicação associada à utilização de agentes de contraste paramagnético em RM?

- Fibrose sistémica nefrogénica.
- Arritmia cardíaca.
- Potencial epileptógeno.
- Estimulação muscular periférica.

19. Relativamente à administração do contraste, quais são os efeitos adversos de curto prazo, do tipo não alérgico?

- Náuseas, cefaleias, urticária, reações no local da injeção.
- Náuseas, cefaleias, vômito, reações no local de injeção.
- Náuseas, urticária, edema, reações no local de injeção.
- Cefaleias, vômitos, edema, reações no local de injeção.

Considerações de segurança para Ressonância Magnética na gravidez.

20. A RM a grávidas deve ser realizada em que situações?

- Primeiro trimestre de gravidez.

- Nos casos em que os benefícios se sobreponham aos riscos.
- Pode ser realizado sem cuidados.

21. Qual o modo de scanner nas grávidas?

- Normal mode.*
- Controlled mode.*
- Research mode.*

22. Se a Técnica de Radiologia estiver grávida pode exercer a sua atividade profissional, na RM?

- Sim, sem quaisquer cuidados.
- Não, de todo.
- Sim, mas não pode estar na sala de RM a quando a realização das sequências.

Considerações de Triage.

23. A afirmação seguinte é verdadeira ou falsa “Os acompanhantes dos doentes que tenham de entrar na sala de exames, é necessário realizar, explicar e assinar questionário?”

- Verdadeira.
- Falsa.

24. Um doente com temperatura corporal de 39°C pode fazer RM?

- Sim, a temperatura é independente.
- Não, o exame deve ser adiado se possível ou fazer medicação para baixar a febre.

25. Um doente com uma tatuagem recente pode realizar um exame de RM quando?

- 48 horas após realização.

- Logo após fazer uma tatuagem.
- Logo após fazer uma tatuagem desde que tenha colocação de compressas húmidas no local.
- Uma semana após.

Respostas corretas ao questionário “Segurança em Ressonância Magnética”

Princípios básicos de construção subjacentes à segurança em RM.

1. O efeito de deslocamento de objetos em direção ao equipamento de RM é denominado por?

- Efeito de atração.**
- Efeito magneto hidrodinâmico.
- Efeito de *Zeeman*.
- Efeito de torção.

2. O efeito de atração está diretamente relacionado com que campos magnéticos?

- Campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo.
- Campos magnéticos estáticos.**
- Campos de radiofrequência.

3. Quais os efeitos biológicos que estão relacionados com a ação dos campos magnéticos variáveis no tempo em RM?

- Efeito térmico.
- Gosto metálico.
- Estimulação nervosa periférica.**
- Náuseas.

4. Qual o efeito dos campos magnéticos no traçado do Eletrocardiograma (ECG)?

- Efeito magneto-hidrodinâmico.**
- Efeito de indução.

- Efeito de deflexão.
 - Efeito de reflexão.
5. A alteração da onda *T* no ECG é causada por que campo magnético?
- Campos magnéticos estáticos.**
 - Campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo.
 - Campos de radiofrequência.
6. Quais são os campos eletromagnéticos utilizados em RM?
- Campos Magnéticos estáticos.
 - Campos magnéticos variáveis no tempo ou gradientes de campo.
 - Campos de radiofrequência.
 - Todas as anteriores.**
7. Qual o principal efeito dos campos de Radiofrequência?
- Efeito térmico.**
 - Efeito não térmico.
 - Efeito de torção.
 - Efeito de indução de correntes.
8. O que é o “*Specific Absorption Rate*” (SAR)?
- Variação dos pulsos de radiofrequência durante uma sequência de imagens.
 - Taxa específica de absorção de energia.**
 - Campo magnético de RF médio eficaz gerado pela bobine transmissora de RF.

9. Quais dos seguintes parâmetros influencia o valor de “*Specific Absorption Rate*” (SAR)?

- Intensidade de campo.
- Zona anatómica a ser examinada.
- Peso do doente.**
- Agentes de contraste.

10. Em que unidades é medido o SAR?

- Watt/kg.**
- Tesla.
- Watt/g.
- Gauss.

Ambiente em Ressonância Magnética.

11. Qual o número de zonas de segurança definidas em Ressonância Magnética pelo *American College Radiology* (ACR)?

- 3.
- 4.**
- 5.

12. Qual das seguintes zonas de segurança deve ser de acesso restrito?

- Zona I.
- Zona II.
- Zona III.**

Considerações específicas de segurança em dispositivos médicos implantáveis

13. Em RM, os dispositivos marcados como o seguinte símbolo são classificados como?



- Condicionais.**
- Seguros.
- Inseguros.

14. A afirmação seguinte é verdadeira ou falsa “Um doente com um dispositivo médico implantável que já tenha feito RM num campo de intensidade 3T, pode realizar exames em equipamentos com intensidades inferiores, sem quaisquer cuidados adicionais”?

- Verdadeira.
- Falsa.**

15. O ambiente de Ressonância Magnética é “volume tridimensional do espaço ao redor do magneto de RM”. Este volume é a região na qual um dispositivo/acessório pode representar perigo devido à composição aos campos eletromagnéticos produzidos pelo equipamento. Qual o contorno do campo?

- 0,5 T.
- 0,9 mT.**
- 0,09 mT.
- 0,5 mT

16. Qual o parâmetro mais indicado no sentido de orientar as recomendações em RM, em relação ao aquecimento de dispositivos médicos implantáveis?

- SAR.
- Slew rate.*

- B1+rms.**

17. Um doente sujeito a cirurgia onde foi necessária colocação de um stent ou coils intravasculares, não ferromagnéticas, pode fazer Ressonância Magnética quando?

- Logo após cirurgia.**
- 2 semanas após.
- 6 semanas após.

Agentes de contraste à base de gadolínio.

18. Qual a complicação associada à utilização de agentes de contraste paramagnético em RM?

- Fibrose sistémica nefrogénica.**
- Arritmia cardíaca.
- Potencial epileptógeno.
- Estimulação muscular periférica.

19. Relativamente à administração do contraste, quais são os efeitos adversos de curto prazo, do tipo não alérgico?

- Náuseas, cefaleias, urticária, reações no local da injeção.
- Náuseas, cefaleias, vômito, reações no local de injeção.**
- Náuseas, urticária, edema, reações no local de injeção.
- Cefaleias, vômitos, edema, reações no local de injeção.

Considerações de segurança para Ressonância Magnética na gravidez.

20. A RM a grávidas deve ser realizada em que situações?

- Primeiro trimestre de gravidez.

Nos casos em que os benefícios se sobreponham aos riscos.

Pode ser realizado sem cuidados.

21. Qual o modo de scanner nas grávidas?

Normal mode.

Controlled mode.

Research mode.

22. Se a Técnica de Radiologia estiver grávida pode exercer a sua atividade profissional, na RM?

Sim, sem quaisquer cuidados.

Não, de todo.

Sim, mas não pode estar na sala de RM a quando a realização das sequências.

Considerações de Triagem.

23. A afirmação seguinte é verdadeira ou falsa “Os acompanhantes dos doentes que tenham de entrar na sala de exames, é necessário realizar, explicar e assinar questionário?”

Verdadeira.

Falsa.

24. Um doente com temperatura corporal de 39°C pode fazer RM?

Sim, a temperatura é independente.

Não, o exame deve ser adiado se possível ou fazer medicação para baixar a febre.

25. Um doente com uma tatuagem recente pode realizar um exame de RM quando?

48 horas após realização.

- Logo após fazer uma tatuagem.
- Logo após fazer uma tatuagem desde que tenha colocação de compressas húmidas no local.
- Uma semana após.