

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ARAGUAÍNA
LICENCIATURA EM FÍSICA

JULYANNE SILVA CUNHA

**Divulgando a Física aplicada à Medicina para professores e estudantes do
Ensino Médio**

ARAGUAÍNA
2013

JULYANNE SILVA CUNHA

**DIVULGANDO A FÍSICA APLICADA À MEDICINA PARA PROFESSORES E
ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO**

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos exigidos para a conclusão do Curso de Licenciatura em Física.

Orientadora: Prof. Dra. Shirlei Nabarrete Dezidério

Araguaína

2013

JULYANNE SILVA CUNHA

DIVULGANDO A FÍSICA APLICADA À MEDICINA PARA PROFESSORES E ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos exigidos para a conclusão do Curso de Licenciatura em Física.

Orientadora: Prof. Dra. Shirlei Nabarrete Dezidério

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Shirlei Nabarrete Dezidério (Orientadora)

Prof. Dr. Nilo Mauricio Sotomayor Choque

Prof. Dr. Aleksandro Silvestre da Rocha

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu Deus por suprir todas as minhas necessidades, por me fazer forte quando eu estive fraca, por me fazer viver os planos Dele, por me dar o discernimento de que mesmo que eu conhecesse todos os mistérios e toda a ciência sem o Seu amor eu nada seria.

Agradeço à minha família pelo apoio e paciência, em especial aos meus pais por terem investido na minha educação.

Agradeço ao meu namorado Christian por acreditar em mim, por me dar força, por entender a minha ausência.

Agradeço à minha orientadora, professora Dra. Shirlei Nabarrete Dezidério, por acreditar que eu conseguiria desenvolver esse trabalho, pela sua imensa paciência, pelas sugestões e pelo exemplo que é.

Agradeço aos professores Jaime, Alexsandro e Nilo por terem me permitido trabalhar no laboratório e pelo o que lá aprendi.

Agradeço ao professor Cabral pelas palavras de incentivo, pela disposição em me ajudar e pelo exemplo de profissional.

Agradeço a todos os professores do colegiado de Física e aos colegas de turma por fazerem parte dessa conquista.

Agradeço ao professor Dr. Francisco Aurilo Azevedo Pinho por ter me orientado em duas iniciações científicas.

Agradeço aos professores, à técnica, aos atuais e ex-bolsistas do LABMADE pelo o que aprendi na iniciação científica, por sempre me ajudarem e pelos cafés.

Agradeço aos amigos Bismarck e Lino por sempre estarem dispostos a me ajudar, pela amizade e pelo incentivo.

Agradeço às amigas Julyanna, Káren, Beatriz, Luma, Gabriela, Rayssa, Ludyellen e Lorrynne por me fazerem descontrair e acreditarem em mim.

Agradeço à minha igreja pelas orações.

Mãe me desculpe pelas louças sujas, pelo quarto bagunçado e por estar sempre ocupada. À minha família IBC peço desculpas pela ausência nas programações, por não lhes responder no *whatsapp*, *facebook* e afins, eu gostaria de ter sido mais presente. Tão logo me perdoem ingressarei no Mestrado.

*Porque eu, o Senhor teu Deus, te tomo
pela tua mão direita; e te digo: Não temas,
eu te ajudo.*

Isaías 41:13

RESUMO

Embora a Física Médica tenha surgido há pouco mais de um século, hoje ela está presente em todas as áreas da medicina. No entanto, a comunidade que se beneficia dos diagnósticos e tratamentos não a conhece, tampouco reconhecem a importância da física do Ensino Médio. A proposta desse trabalho foi evidenciar os impactos da física na medicina a partir da divulgação de artigos científicos no Ensino Médio, e conseqüentemente reconhecer perfil dos futuros professores de Física, formados pela UFT, a respeito do ensino através da pesquisa relacionando isso a sua formação curricular. Para atender a esse objetivo foi elaborado um questionário, o qual foi aplicado à maioria dos alunos do quinto ao oitavo período do curso. Também foi realizada uma revisão de literatura de artigos científicos na área de Física Médica, dos quais foram escolhidos quatro para a elaboração de pôsteres para a divulgação no Ensino Médio. Os questionários evidenciaram que os alunos procuram participar eventos e programas científicos, reconhecem a importância dessas ações para a prática pedagógica, mas por não conhecerem as atribuições do professor de Física de acordo com as Diretrizes Curriculares, esse conhecimento não é levado para a sala de aula. Embora poucos tenham apontado que pretendem ser professores, a maioria reconhece a importância da divulgação da Física Médica nas escolas, os pôsteres desenvolvidos permitiriam que esse trabalho fosse realizado. Espera-se que em trabalhos futuros eles possam ser aplicados no Ensino Médio para avaliar a maneira como os alunos responderam a essa metodologia de ensino.

Palavras-Chave: Física Médica. Ensino de Física. Pesquisa. Divulgação científica.

ABSTRACT

Although the Medical Physics has emerged just over a century, nowadays it's active in all areas of medicine. However, the community who benefits from diagnostics and treatments don't know its existence and don't understand the physics' importance at school. The purpose was show the impacts of Physics in Medicine from dissemination of scientific papers to secondary school students and recognize profile of future physics teachers of the UFT, about teaching through research relating this to their training curriculum. To fulfill this goal, a questionnaire was prepared and applied to most students of the fifth to eighth period of the course. A literature review of scientific articles was also done in the area of Medical Physics, among them four were chosen to prepare posters for dissemination in secondary school. The questionnaires showed the students participate events and scientific programs, recognize the importance of these actions to the pedagogical practice, but because they don't knowing the duties of physics teacher, this knowledge is not taken to the classroom. Although few have said they intend to be teachers, the most recognize the importance of disclosure of medical physics in schools, the posters developed would allow this work was done. Is expected to in future works they may be applied to secondary school to assess how students answered to this teaching methodology.

Keywords: Medical Physics. Physics teaching. Research. Scientific divulgation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: O quadrinho aborda as aplicações dos raios-X e blindagem (LUIZ, OLIVEIRA, s/d, p.1)..... 18
- Figura 2: Questionário aplicado aos alunos do quinto ao oitavo período do curso de Licenciatura em Física da UFT. Questão 1) A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?.....23
- Figura 3: Questionário aplicado aos alunos do quinto ao oitavo período do curso de Licenciatura em Física da UFT. Questão 3) Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?24
- Figura 4: Questionário aplicado aos alunos do quinto ao oitavo período do curso de Licenciatura em Física da UFT. Questão 5) Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?25
- Figura 5: Estrutura física de uma semente de iodo-125 (MOURÃO; CAMPOS, 2010, p. 25).26
- Figura 6: Imagem fornecida pelo *software* mostra a diferenciação dos tecidos associados a uma cor (MOURÃO; CAMPOS, 2010, p. 24).....27
- Figura 7: Estrutura física da placa (MOURÃO; CAMPOS, 2009, p. 45).27
- Figura 8: Curvas de distribuição de dose absorvida. As imagens de A a C se referem ao experimento com o iodo-125. Já as imagens de D-F se referem ao paládio¹⁰³ (MOURÃO; CAMPOS, 2010, p. 25).28
- Figura 9: Combinação de imagens de Tomografia Computadorizada ou de Ressonância Magnética (1); Construção do modelo de camadas (2); Geração do modelo de elementos volumétricos em tons de cinza (3); Correspondência de cada elemento de volumétrico de imagem a um tecido (4); Seleção da região de interesse (5); Dados de entrada para o *software* baseado no Método de Monte Carlo (6); Visualização de saída (7) (TRINDADE; CAMPOS, 2011, p. 111).30

Figura 10: Curvas de distribuição de dose na região da orelha. As porcentagens estão ordenadas em ordem crescente em relação à dose máxima absorvida pelo tecido (TRINDADE; CAMPOS, 2011, p. 114).....	31
Figura 11: Curvas de distribuição de dose absorvida em braquiterapia. Em (A) foram implantadas sementes cerâmicas em fígado de coelho (A) e em (B) sementes de biovidro em cérebro de coelho (TRINDADE; CAMPOS, 2011, p. 115).	32
Figura 12: Linfonodo. (SEER, 2006)	34
Figura 13: Estágio I – Doença em apenas um linfonodo; Estágio II – Doença instalada em dois ou mais linfonodos de um mesmo lado da linha do diafragma (linha pontilhada na figura); Estágio III – Doença instalada em ambos os lado da linha do diafragma; Estágio IV – Doença espalhada por todo o corpo (STAGING [...], 2013).	35
Figura 14: Nódulos pulmonares (NAVA et al., 2011, p. 31).....	35
Figura 15: Linfonodo na axila (NAVA et al., 2011, p. 32).	35
Figura 16: Nódulos na crista íliaca (NAVA et al., 2011, p. 32).	36
Figura 17: Hipersinal na medula óssea em escala invertida de preto e branco (NAVA et al., 2011, p. 33).....	36
Figura 18: Esquema de um exame de Tomografia Computadorizada (NÓBREGA, s/d, p.7).	37
Figura 19: Procedimento de imagem de perfusão por Tomografia Computadorizada no fígado. A) Escolha da região de interesse; B) Escolha do vaso sanguíneo arterial para calcular a concentração arterial de contraste em função do tempo; C) Escolha dos tecidos; D-H) Apresentação de gráficos, mapas e tabelas dos parâmetros envolvidos no processo; I) Visão geral do processo (SOUSA et al., 2012).	38
Figura 20: Dados do INEP em 2005 a respeito dos professores de Física no Brasil. 1) De todas as pessoas que prestaram vestibular, apenas 0,12% optaram pela Licenciatura em Física; 2) Destes 0,12%, apenas 44% são aprovados no exame; 3) Entres os 44% matriculados apenas 35% se formam; 4) Entre os que se formam, apenas 26% vai para a sala de aula. (ARAÚJO; VIANA, 2008, p.4).....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS.....	13
1.1.1. Objetivo geral	13
1.1.2. Objetivos específicos	13
1.2. MOTIVAÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. ENSINO SUPERIOR DE FÍSICA.....	15
2.2. A DIVULGAÇÃO DA FÍSICA MÉDICA	16
2.3. PRINCÍPIOS DE RADIAÇÕES IONIZANTES.....	19
3. METODOLOGIA	21
4. RESULTADOS	22
4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS NA UFT	22
4.2. ELABORAÇÃO DE PÔSTERES NA ÁREA DE FÍSICA APLICADA A MEDICINA	
25	
4.2.1. Explicação dos artigos	25
4.2.1.1. Radioterapia	25
4.2.1.1.1. <i>Braquiterapia</i>	25
4.2.1.2. Dosimetria	29
4.2.1.3. Diagnóstico por imagem	32
4.2.1.3.1. <i>Ressonância Magnética</i>	32
4.2.1.3.2. <i>Tomografia Computadorizada</i>	37
4.2.2. Proposta para a divulgação da física médica nas escolas	39
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
APÊNDICE A – MODELO DO QUESTIONÁRIO	53
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS RESPONDIDOS	54
APÊNDICE C – PÔSTERES.....	88
ANEXO 1 – DIRETRIZES NACIONAIS CURRICULARES PARA OS CURSOS DE FÍSICA.....	92
ANEXO 2 - ARTIGOS	100

1. INTRODUÇÃO

As produções científicas em Física contribuem para o aprimoramento e desenvolvimento da tecnologia na maneira como hoje ela consegue atingir diversas áreas do conhecimento e influenciar a vida da comunidade em geral. Sobre isto podem-se citar os impactos causados na eletrônica pela Física do Estado Sólido com a criação do transistor, o estudo das propriedades magnéticas dos materiais no armazenamento de informações digitais, que em conjunto com a nanociência permitem a existência de computadores portáteis além de uma gama de outros eletrônicos, tais como utilitários domésticos, aparelhos de diagnóstico médico, entre outros (ALVES; SHERLLARD, 2005).

As aplicações da Física ganharam destaque com as Revoluções Industriais. A primeira, no século XVIII, foi palco das transformações causadas na indústria pela termodinâmica e a segunda, no século XIX, pelo eletromagnetismo (MENEZES, L., 1943). Na época foram grandes os investimentos na pesquisa, sobretudo feitos pela Alemanha, de tal maneira que a Física chegou a um grande domínio teórico e experimental (MENEZES, L., 1943) quanto à mecânica, ao eletromagnetismo, à termodinâmica e à mecânica estatística (EISBERG, RENICK, 1979). Nesse sentido alguns físicos chegaram a acreditar que a Física estava completa (OLIVEIRA, 2010), mas contrária a essa crença surgem: o problema da radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico, o princípio da incerteza, a relatividade especial; e a física de então fica conhecida como Física Clássica.

Impulsionada pelo capitalismo emergente na Europa e o surgimento de novas questões propostas pela siderúrgica, surge a Física Moderna. Havia um interesse em determinar a temperatura dos fornos metalúrgicos pela maneira como a intensidade das cores da luz produzida em um aquecimento estavam distribuídas, constituindo assim o problema da radiação do corpo negro (MENEZES, L., 1943). Para interpretar o problema Max Planck propôs que a energia era emitida de forma quantizada. Esses pacotes de possuíam energias apenas em valores inteiros de uma quantidade $h\nu$, onde h era uma constante que se ajustava aos dados experimentais (EIBERG, RESNICK, 1979).

A teoria de Planck só foi aceita quando Einstein, em 1905, deu uma nova interpretação ao efeito fotoelétrico, que classicamente se tratava da emissão de elétrons de uma superfície causada pela incidência de luz sobre ela. Foi proposto

que a radiação eletromagnética incidente era quantizada (fótons), tratando-a como partícula e não como onda. A quantização da energia foi necessária porque ficou comprovado que cada *quantum* de energia era proporcional à frequência já que em determinadas frequências o fenômeno deixava de acontecer. Einstein criou uma equação ($k = h\nu - W$) que mostra que a energia cinética do elétron emitido é igual à diferença entre a energia da radiação incidente menos o trabalho para arrancá-lo do metal. Desta equação Millikan encontrou um valor constante muito próximo ao que Planck havia proposto (EISBERG, RESNICK, 1979). A quantização de energia proposta por Einstein foi aceita, pois era baseada em um modelo real e confirmou a ideia de Planck.

No mesmo ano Einstein desenvolveu a relatividade especial onde propôs que a velocidade da luz é a mesma em todos os referenciais inerciais (EINSTEIN, 1905a). Mostrou-se também a relatividade da energia e do momento linear. Com isso a massa também era relativística, de tal forma que a conhecida equação da energia de repouso ($E = mc^2$) mostra a equivalência entre massa e energia (EINSTEIN, 1905b). Essas contribuições desempenharam um importante papel no estudo dos núcleos, sobretudo do domínio do processo de fissão nuclear, e sua aplicação para fins bélicos (OLIVEIRA, 2010). O desenvolvimento da Física Nuclear somado ao conhecimento das propriedades da interação da radiação com a matéria levou a grandes avanços na medicina (PERUZZO, 2012).

Cabe destacar que as contribuições da Física na Medicina iniciaram em 1895 com descoberta dos raios X, por Wilhelm Conrad Röntgen (MARTINS, 1990), da observação que a radiação era capaz de impressionar imagens do interior do corpo sem a necessidade de intervenções invasivas. A descoberta da radioatividade por Antoine Henri Becquerel e as interpretações dos decaimentos radioativos feitas por Pierre e Marie Curie (PERUZZO, 2012) também ganharam destaque nas aplicações da radiação ionizante em Física Médica (ALVES; SHERLLARD, 2005).

Tudo isso se culmina na inserção do físico em ambientes hospitalares, no entanto, somente em 1913 surge de fato a Física Médica, quando o Físico William Duarte utilizou fontes radioativas no tratamento de câncer em um hospital de Boston nos Estados Unidos (FÍSICA [...], s/d).

No Brasil há relatos de que a área da Física Médica surgiu entre as décadas de 60 e 70 (FÍSICA [...], s/d). Hoje os Físicos Médicos brasileiros chegam a mais de

500 membros, dos quais a maioria atua na área experimental estabelecendo atividades relacionadas às Ciências da Saúde (SBF, 2012).

Embora o pontapé para a criação da Física Médica esteja relacionada à utilização da radiação ionizante, suas aplicações se estendem a “[...] medicina nuclear, radioterapia, radiocirurgia, proteção radiológica, metrologia das radiações, biomagnetismo, radiobiologia, processamento de sinais e imagens biomédicas, clínica e epidemiológica.” (FÍSICA [...], s/d, p. 3).

No entanto, o campo de atuação de um Físico Médico não se limita às práticas clínicas citadas, elas abrangem o desenvolvimento de tecnologias capazes de melhorar os protocolos de radiação, fazer a instalação, manutenção e controle de qualidade de equipamentos médico-hospitalares, atuar como professor do Ensino Superior e realizar pesquisas no sentido do aprimoramento de procedimentos terapêuticos e de imagens (ALVES; SHERLLARD, 2005; RODRIGUES, 2007).

1.1.OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Evidenciar os impactos da Física na Medicina e sua relevância social por meio da divulgação de artigos científicos aos alunos de Ensino Médio.

1.1.2. Objetivos específicos

- Divulgar como a física tem contribuído para o aumento da capacidade médica;
- Despertar um maior interesse dos alunos pela Física;
- Vincular o trabalho do professor a essa transformação;
- Promover o ensino através da pesquisa;
- Conhecer a maneira como os acadêmicos de Licenciatura em Física da UFT avaliam suas competências, na condição de futuros professores, na divulgação científica no Ensino Médio;
- Relacionar o distanciamento entre a pesquisa e o ensino com a separação do Bacharelado da Licenciatura.

1.2. MOTIVAÇÃO

O conhecimento na área de Física Médica é imprescindível para professores e alunos de Física e para a sociedade como um todo, devido às implicações dela no dia-a-dia de ambientes hospitalares e consequentes aplicações sociais. Em uma pesquisa desenvolvida para avaliar o conhecimento de Física de profissionais com formação técnica em radiologia de Porto Alegre, constatou-se que há uma necessidade de maior compreensão de Física para essa área. Luz (2013) afirma que: “A importância do conhecimento dos conteúdos de Física está diretamente relacionada à proteção e prevenção dos próprios profissionais, de pacientes submetidos a exames e sociedade”. Nesse sentido, este trabalho desempenha a função social de levar a divulgação desta área à comunidade que a UFT influencia.

O curso Licenciatura em Física da Universidade Federal do Tocantins (UFT) está estruturado em dois ciclos que se dividem em Formação Geral e Específica/Profissional. Cada ciclo é composto por cinco eixos entre os quais estão distribuídas as disciplinas obrigatórias, das quais nenhuma é voltada à formação em Física Médica. O restante da carga horária corresponde a 210 horas destinadas às atividades complementares e a 75 horas de disciplinas eletivas. Quanto a estas horas o Projeto Pedagógico do Curso dispõe apenas uma disciplina na área, a de Física de Radiações, que tem como objetivo abordar as aplicações da Física das Radiações, Princípios de Dosimetria e funcionamento de equipamentos médicos (UFT, 2009).

Como entre as competências dos docentes formados em Física pela UFT está o papel de manter-se atualizado em sua cultura científica específica e atender a comunidade através disso para a promoção do seu desenvolvimento (UFT, 2009), isso poderia ser alcançado por divulgações científicas na área de Física Aplicada à Medicina nas disciplinas de Estágio Supervisionado.

Essa necessidade se justifica com no Parecer 009/2001 quando afirma que “(...) o foco principal do ensino da pesquisa nos cursos de formação docente é o próprio processo de ensino e de aprendizagem dos conteúdos escolares na educação básica.” (BRASIL, 2001a, p. 35). Por esta razão o envolvimento do futuro professor de física formado pela UFT permitiria levar a pesquisa em Física Médica para a educação escolar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. ENSINO SUPERIOR DE FÍSICA

De acordo com o Parecer nº 1.304/2001 a respeito das Diretrizes Nacionais para os cursos de Física (Anexo 1), os perfis de formação específicos de um Físico são: pesquisador, educador, interdisciplinar e tecnólogo. Cujas atribuições preferenciais são, respectivamente, desenvolver pesquisa em instituições de ensino superior (Bacharelado), atuar no ensino escolar (Licenciatura), atuar na física experimental em conexão com outras ciências e desenvolver equipamentos e processos baseados em tecnologia (BRASIL, 2001b).

Isso significa que dizer que o pesquisador não pode ser interdisciplinar? O tecnólogo também não poderia fazê-lo? Cabe somente ao Físico-Interdisciplinar divulgar a física médica? Como o educador disseminaria esse conhecimento científico se não desenvolve pesquisa? O que se percebe é um distanciamento entre esses perfis de formação, restringindo o conhecimento científico somente à comunidade que a produz esquecendo-se da que influencia e para a qual é produzida. Talvez, essa separação impossibilita de ser cumprida a habilidade geral expressa no mesmo Parecer quando afirma que

O físico, seja qual for sua área de atuação, deve ser um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados em Física, deve ser capaz de abordar e tratar problemas novos e tradicionais e deve estar sempre preocupado em buscar novas formas do saber e do fazer científico ou tecnológico. (BRASIL, 2001b, p. 3)

Ainda que com dificuldade, as pesquisas que chegam a influenciar a educação escolar são propriamente as pesquisas em Ensino de Física (REZENDE; OSTERMANN, 2005). O professor planeja uma aula para lecionar um conteúdo específico e acaba surpreso quando um aluno o questiona quanto a uma colaboração da Física do progresso científico (NASCIMENTO, ALVETTI, 2006).

“[...] a educação pela pesquisa conduz à emancipação, mas é o ensino que assegura o ambiente pró-ativo da comparação/confrontação do que se pesquisa. Por fim, se a pesquisa é função essencial da universidade, o ensino não é menos essencial. A pesquisa calca a atividade do professor, mas é pelo ensino que ela se define e ganha relevância.” (CARNEIRO, 2010, p.403).

O que se pretende não é atribuir “maior responsabilidade” ao professor e nem sobrecarregá-lo. O objetivo é mostrar a necessidade de aproximação dos currículos entre o bacharelado e a licenciatura na maneira como isso influenciaria a reformulação de planos de ensino para que os alunos percebam os conhecimentos de Física como interventores na vida social e como agente no processo histórico de evolução (NASCIMENTO, ALVETTI, 2006).

2.2. A DIVULGAÇÃO DA FÍSICA MÉDICA

Apesar de seu amadurecimento o conhecimento da área de Física Médica ainda é pouco difundido, também pela carência desses profissionais em cidades do interior do país (INCA, 2013). Segundo Rodrigues

Em experiências recentes em hospitais atuando como especialista em Física Médica, constatou-se, em diálogos com pacientes, que a maioria pouco sabe sobre profissionais em Física que exercem funções em Medicina (Físico-Médicos). Da mesma forma, também sabem pouco sobre físicos atuando em outras áreas. O mais impressionante, com relação às estas mesmas experiências, é que não só a grande maioria da sociedade nunca ouviu falar sobre Física-Médica como também os próprios profissionais da medicina, por exemplo, jovens residentes, enfermeiros e até mesmo médicos veteranos. (RODRIGUES, 2007, p. 7-8)

Percebe-se que ainda há uma dificuldade de pacientes e de profissionais da saúde em conseguir relacionar a física à medicina. Diante disso, algumas literaturas já tem proposto uma metodologia no ensino de Física Médica para acadêmicos de medicina para facilitar o aprendizado sobre a articulação entre essas duas áreas (PARISOTO; MOREIRA; MORO, 2012). Na Tabela 1 é mostrado o plano de ensino dos conteúdos.

Tabela 1: Plano de Ensino de Física Médica (PARISOTO; MOREIRA; MORO, 2012, p. 47).

Primeiro Semestre	Segundo semestre
Energia e trabalho Na escala do corpo Momento e colisão Relacionando com ferimentos Cinemática rotacional, dinâmica rotacional Músculos Temperatura, sólidos, líquidos e gases Placa arterial Aneurisma Pressão sanguínea	Eletrostática, campo elétrico Equilíbrio membrana Capacitores Desfibrilador Corrente Neurônios O axônio Magnetismo; Indução Magnetocardiograma Corrente variando com o tempo

Ossos e fratura de ossos Ondas e sons Imagem de ultrassom O ouvido humano Ondas de choque externas ao corpo Calor; termodinâmica Metabolismo	Marcapasso cardíaco Eletrocardiograma Ondas Eletromagnéticas Espelhos e lentes; Instrumentos ópticos O olho humano Lentes corretivas Cirurgia a laser nos olhos Endoscopia Interferência e difração Limitação para imagens médicas Teoria quântica Fluoroscopia Microscópio eletrônico Física Subatômica Imagem na Ressonância Magnética Nuclear (RMN) Dosagem de Raios-X Radioterapia Isótopos traçadores
--	--

A população também tem o direito à informação nessa área, pois a preocupação em que se faça uso de procedimentos sem o conhecimento devido. Uma pesquisa desenvolvida em um hospital de Florianópolis com pacientes da oncologia, eles atestaram ter medo em saber que no tratamento teriam contato com a radiação. A falta de conhecimento sobre a radioterapia e de pessoas dentro do ambiente hospitalar que soubesse lhes explicar satisfatoriamente sobre as radiações ionizantes lhes deixava mais receosos (CORDEIRO, 2012).

A divulgação das aplicações da Física na medicina cabe não somente a quem trabalha diretamente com isso, mas também ao professor de física, para a promoção do conhecimento científico e da criação dessa cultura em sala de aula. Isso pode ser feito partindo dos conteúdos sobre Física Moderna. No entanto, o professor encontra alguns obstáculos em ensinar esses conteúdos na sala de aula, a dificuldade está na maneira de trabalhar esse conteúdo para facilitar o aprendizado aos alunos (LUIZ, OLIVEIRA, s/d).

Uma estratégia possível foi o desenvolvimento de um curso de curta duração para ensinar o eletromagnetismo, a óptica e a física moderna aplicada a Física Médica. O objetivo desse curso foi propor um método de ensino baseado em situações-problema que permitisse que professores pudessem utilizar essa abordagem em sala de aula e também para que avaliassem sua própria prática. O grupo participante do curso era formado por quatro Licenciados em Física, um professor do Ensino Médio e um do Superior. Inicialmente o grupo respondeu em conjunto às situações-problemas de física aplicada à medicina, embasados no seu

conhecimento prévio de física, para que os avaliadores conhecessem a partir das respostas quais equívocos foram cometidos e em consequência disso foi feita a escolha do conteúdo a ser trabalhado. Ao final do curso as mesmas situações-problemas foram respondidas, revelando resultados positivos, já que os resultados da fase inicial mostraram que tinham pouco domínio sobre o conteúdo trabalhado (PARISOTO; MOREIRA; MORO, 2013).

Outra possibilidade já desenvolvida para o ensino de Física Radiológica e de Radioproteção foi o uso de tirinhas, quadrinhos e *folders* no intuito de atrair a atenção dos alunos e da comunidade em geral para o aprofundamento sobre o tema. Os recursos utilizados para a divulgação nas escolas foram realizados sob a forma de narrativas contadas pelo personagem “Fóton-X” (ver Figura 1). Tornando as leituras chamativas e interessantes com o objetivo de o aluno se sentir interessado sobre tema a ponto de buscar um conhecimento mais aprofundado e levar isso a outras pessoas (LUIZ, OLIVEIRA, s/d).

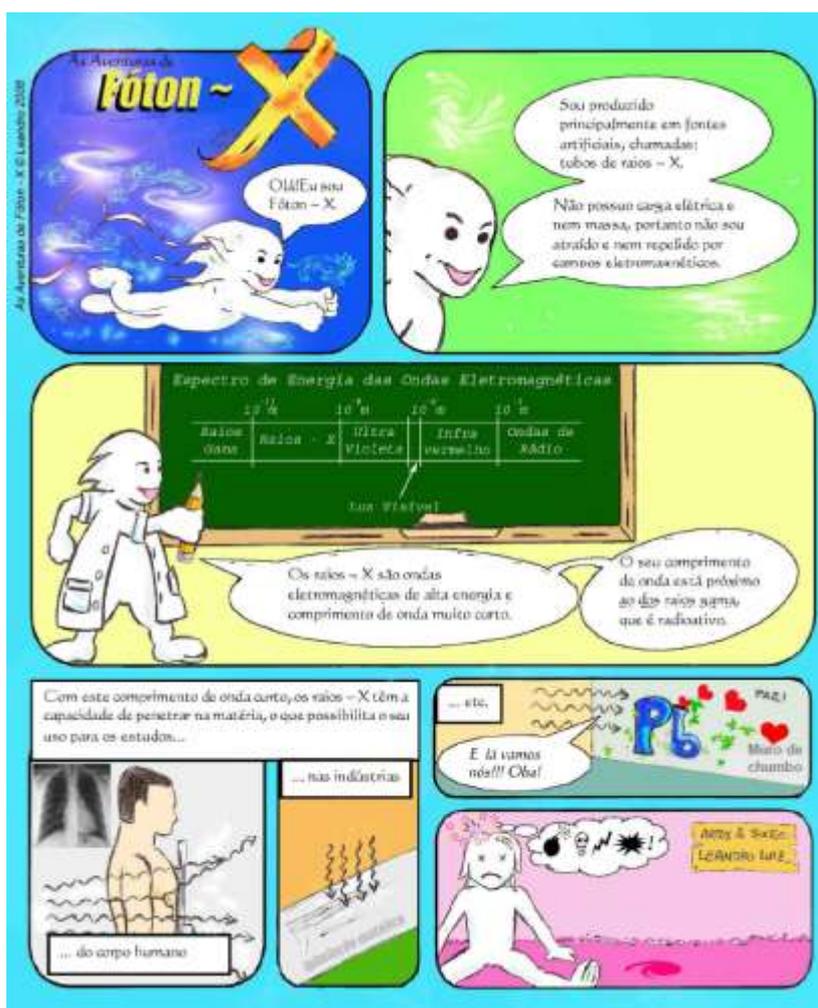


Figura 1: O quadrinho aborda as aplicações dos raios-X e blindagem (LUIZ, OLIVEIRA, s/d, p.1).

2.3. PRINCÍPIOS DE RADIAÇÕES IONIZANTES

Okuno (2007) define que “Radiação é uma forma de energia, emitida por uma fonte, e que se propaga de um ponto a outro sob a forma de partículas com ou sem carga elétrica, ou ainda sob a forma de ondas eletromagnéticas.”.

Quando a radiação é capaz de arrancar elétrons de átomos ou moléculas ela é chamada de ionizante. Sendo assim, quando essas partículas carregadas ou de radiação ionizante atravessam um tecido humano, tem o potencial de sofrer colisões com as partículas do meio e causar alterações nas células. Ela também pode ser não ionizante, o que corresponde à faixa do espectro eletromagnético acima de 10 nm, desta forma, ela inclui as ondas de rádio, as microondas, a luz visível e a ultravioleta (TSOULFANIDIS; LANDSBERGER, 2010).

As interações das radiações ionizantes com a matéria mais comumente estudadas são: radiação eletromagnética com energia de fóton acima de 12 eV (raios-x e raios gama), partículas carregadas rápidas e nêutrons livres (YOSHIMURA, 2009).

Entre as interações por radiação eletromagnética, apenas no efeito Rayleigh ela é tratada como onda, no qual a radiação incidente é absorvida e re-emitida pelo átomo. Nas demais interações ela é discutida na forma de fótons, que são: efeito fotoelétrico, onde a energia dos fótons é absorvida pelo material fazendo com que um elétron (ou fotoelétron) seja emitido; por efeito Compton, onde um fóton é espalhado ao interagir com um elétron; por produção de pares, ocorre quando o fóton interage com o campo magnético de núcleos pesados, produzindo uma partícula e uma antipartícula; e reações fotonucleares, quando fótons com energia superior à força nuclear forte incidem sobre o núcleo induzindo um processo de fissão nuclear (YOSHIMURA, 2009; EISBERG; RENICK, 1979; TAUHATA et al, 2003).

Entre as partículas carregadas rápidas estão as emissões nucleares, entre essas se pode citar a radiação alfa, beta e as emissões por captura eletrônica (YOSHIMURA, 2009). O decaimento α ocorre de forma natural para núcleos com número atômico de $82 \leq Z \leq 92$ e consiste na emissão de núcleos de átomos de Hélio (He), formado por dois prótons e dois nêutrons. Quando isso ocorre, o átomo

apresenta um número atômico 2 unidades menor e número de massa 4 unidades menor que o átomo original (PERUZZO, 2012; OLIVEIRA, 2010).

O decaimento β consiste na emissão de elétrons ou pósitrons, que se referem respectivamente às emissões β^- e β^+ . Ela apresenta velocidades próximas à velocidade da luz e possui um alcance maior que as partículas alfa, conseguindo penetrar de 1 a 2 cm na pele humana (PERUZZO, 2012).

No núcleo não há elétrons, no entanto, ele é capaz de emití-los (EISBERG; RESNICK, 1979). Da mesma forma, elétrons e neutrinos são criados durante o processo de emissão, um nêutron transforma-se em um próton ($n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}_e$) e o contrário também é verdadeiro ($p \rightarrow n + \beta^+ + \nu_e$). Onde ν_e e $\bar{\nu}_e$ representam o neutrino e o antineutrino. Na emissão β^- o número de massa permanece constante e o número atômico é aumentado em uma unidade. Enquanto que na emissão β^+ o número de massa permanece constante e o número atômico é diminuído em uma unidade (PERUZZO, 2012).

Nos decaimentos por captura eletrônica um elétron do orbital mais próximo do núcleo é capturado, na sequência é emitido um nêutron e um neutrino. Ao ser preenchido o espaço deixado pelo elétron capturado são emitidos raios-X característicos. Após esse decaimento, ou ainda α ou β , pode ocorrer a emissão de energia na forma de radiação eletromagnética para que núcleos atinjam sua condição de estabilidade, constituindo assim uma emissão gama (TAUHATA et al, 2003).

A interação dos nêutrons com a matéria ocorre com os núcleos dos átomos sobre o qual incidem. Isso pode acontecer por colisões, onde o nêutron cede energia para o núcleo, ou por captura, onde o nêutron incidente é capturado e o núcleo emite outro nêutron com energia menor ou raios gama. Quando um núcleo captura um nêutron também podem ser emitidas radiações β e γ , dando origem a outro nuclídeo (ZANGIROLAMI, 2009).

3. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão de literatura sobre artigos científicos recentes envolvendo aplicações da Física na Medicina. Os artigos foram escolhidos aleatoriamente porque não era de interesse da pesquisa focar em uma área específica. Os quatro selecionados foram: 01 sobre Radioterapia, mais especificamente sobre a técnica de Braquiterapia, 01 sobre Dosimetria e 02 sobre Diagnóstico por Imagem, quanto aos procedimentos de Ressonância Magnética e Tomografia Computadorizada.

Nos textos foram interpretados os termos específicos da área e suprimidas informações técnicas quanto aos procedimentos utilizados. Eles foram estruturados dessa maneira para que permitissem serem utilizados na elaboração de pôsteres didáticos para a divulgação da pesquisa sobre Física Médica.

Para conhecer a opinião dos acadêmicos de Física da UFT a respeito das competências do professor e da maneira como sua formação está relacionada a isso foi elaborado um questionário (Apêndice A). Os questionários foram aplicados com os acadêmicos a partir do 5º período que já cursaram e que estão cursando disciplinas de Estágios Supervisionados.

Os dados dos questionários foram discutidos buscando ressaltar a aproximação da pesquisa e do ensino assim como o bacharelado da licenciatura. Relacionando isso à separação dos cursos de Bacharelado e Licenciatura e à falta de divulgação da Física aplicada à Medicina na Escola. Cabe ressaltar que não foi realizada a validação do questionário.

4. RESULTADOS

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS NA UFT

Os dados que se seguem foram coletados através de um questionário aplicado aos alunos do curso de Física da UFT. Os acadêmicos que responderam às perguntas cursam do quinto ao oitavo período. Os questionários respondidos estão disponíveis no Apêndice B.

A primeira pergunta do questionário tinha o objetivo saber se os alunos reconhecem ou não que a separação dos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Física tem influência sobre prática pedagógica do professor do Ensino Médio. A pergunta pedia ainda que fosse apontado o impacto dessa separação sobre a educação.

Entre os que souberam distinguir os dois perfis de formação, 16% acreditam que isso não teria contribuição para o Ensino Médio. Eles justificaram que a aproximação desses currículos não é necessária já que o aprendizado conquistado na faculdade está muito além do que é ensinado na escola, neste sentido, a Licenciatura é suficiente para um professor. Também foi citado que a atividade de pesquisa não cabe aos alunos do Ensino Médio e que a diferença na prática pedagógica de um professor está relacionada ao fato dele gostar de física, independe de sua formação.

Os alunos que responderam positivamente a pergunta correspondem a 66%. Destes, 13% interpretaram a pergunta como o esperado. Eles indicaram que a aproximação dos cursos surgiria como uma complementação para ambos, o bacharelado contribuiria para agregar mais conhecimento à disciplina de Física na Escola. Além disso, foi mencionada a importância que essa aproximação traria para o desenvolvimento de experimentos na disciplina de Física. Os outros 53% destes, justificaram a pergunta no sentido de descrever que as competências de um físico-pesquisador e de um físico-educador são distintas e que os impactos estão relacionados a essas diferenças.

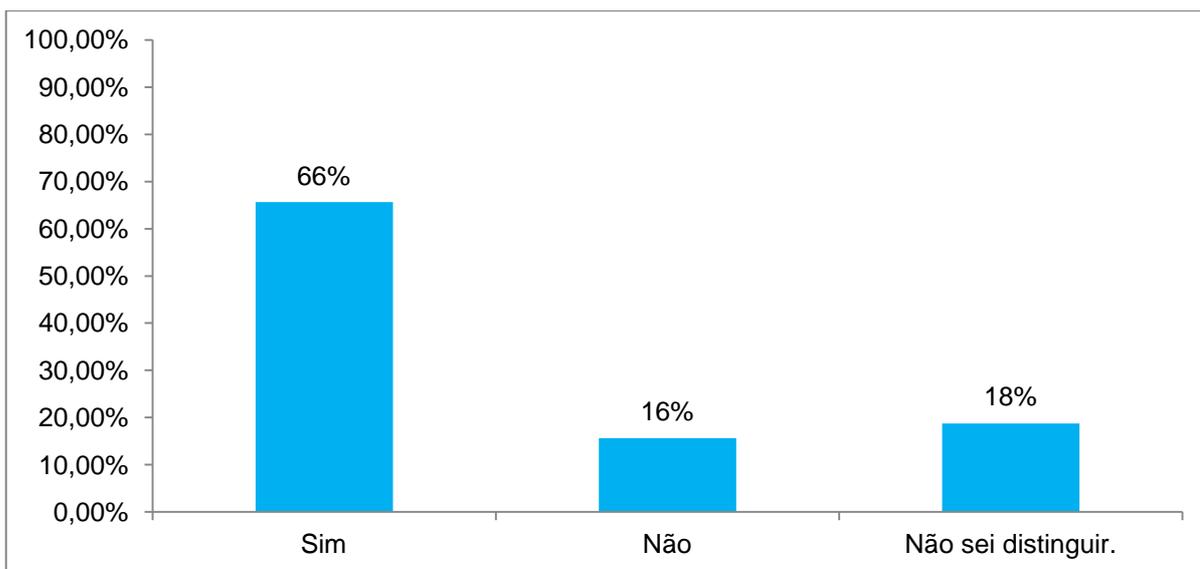


Figura 2: Questionário aplicado aos alunos do quinto ao oitavo período do curso de Licenciatura em Física da UFT. Questão 1) A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Na segunda pergunta os alunos foram questionados sobre a importância da participação em eventos científicos e atividades de iniciação científica para a formação docente deles. Eles atribuíram essa importância a (ao): desenvolvimento de uma metodologia de ensino mais diversificada, que agregue curiosidades ao ensino; construção do conhecimento; contato com outros trabalhos que permitem aprimorar a prática pedagógica; motivar a pesquisa e o desenvolvimento de projetos; melhoria do currículo; contato com trabalhos desenvolvidos por acadêmicos de outras universidades; incentivo ao mestrado; realização de experimentos; experiência da participação; falar em público; uma forma de aprender e influenciar outros ao aprendizado; manter-se atualizado; contato com novas tecnologias e motivação para o aprofundamento na ciência. Apenas 9% dos acadêmicos não responderam a pergunta, pois nunca participaram dessas atividades.

A relevância da terceira questão está associada à anterior. Os alunos foram questionados se já levaram para a sala de aula materiais de divulgação científica nas disciplinas de estágio. Destes, 47% já ministraram aula, mas nunca levaram materiais de divulgação científica para a sala de aula. Os que já levaram correspondem a 28%. Os outros 25% nunca ministraram aula.

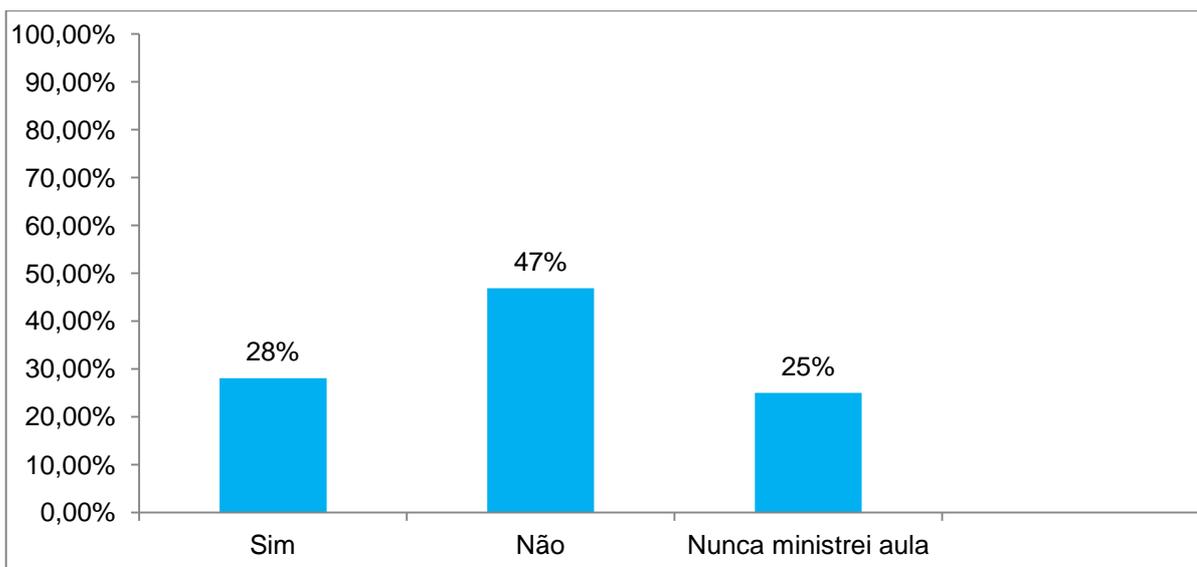


Figura 3: Questionário aplicado aos alunos do quinto ao oitavo período do curso de Licenciatura em Física da UFT. Questão 3) Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

A quarta pergunta do questionário teve como objetivo conhecer como os alunos avaliaram a importância da divulgação da Física Médica nas escolas. Mais de 80% dos alunos avaliaram que essa divulgação é muito importante, justificaram que isso permitiria promover a Física em suas articulações com diversas áreas. Apontaram que a estratégia de utilizar o interesse que os alunos têm pela Medicina poderia atrair a atenção dos alunos pela Física e conseqüentemente levá-los a reconhecê-la também como ciência aplicada. Também foi comentado que o ensino seria possível já que em sala de aula são trabalhados conceitos que envolvem a Física Médica, mas que não é estabelecida esta relação.

Nos demais questionários essa metodologia foi avaliada como razoavelmente importante. Nos comentários os acadêmicos justificaram que os alunos do Ensino Médio não conseguiriam compreender esse conteúdo, tampouco teriam interesse por ele já que a Física Médica é pouco divulgada.

A quinta questão revela quais são as pretensões dos acadêmicos de Física da UFT após a conclusão do curso. Os resultados mostraram que 50% dos acadêmicos pretendem ingressar no mestrado. Dos que escolheram exclusivamente a opção sala de aula correspondem a 9%.

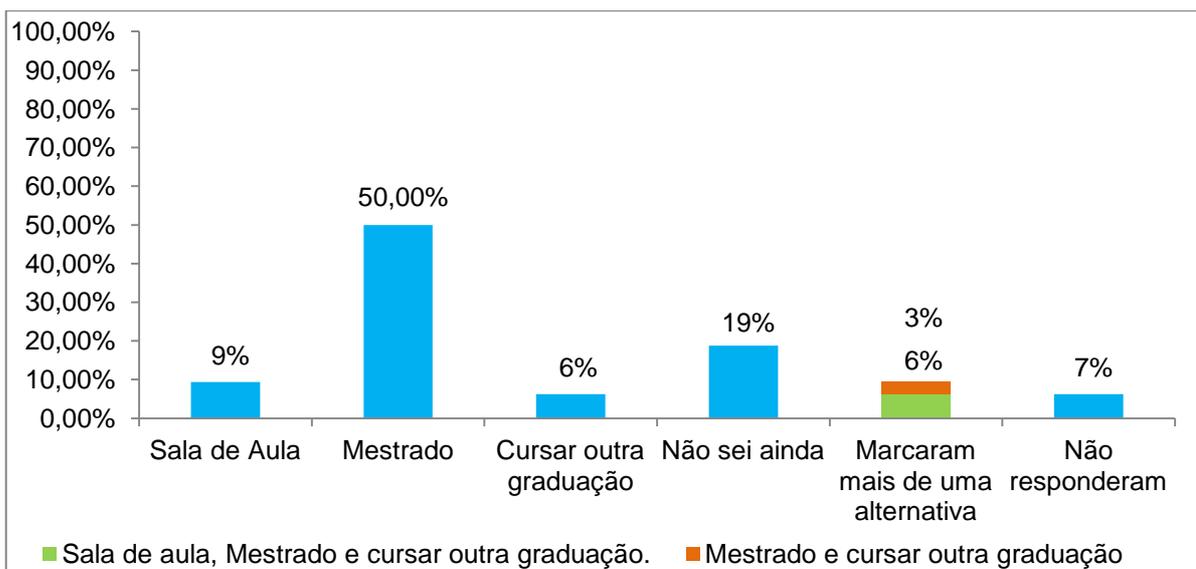


Figura 4: Questionário aplicado aos alunos do quinto ao oitavo período do curso de Licenciatura em Física da UFT. Questão 5) Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

4.2. ELABORAÇÃO DE PÔSTERES NA ÁREA DE FÍSICA APLICADA A MEDICINA

4.2.1. Explicação dos artigos

Nas seções a seguir serão apresentadas sínteses de quatro artigos (Anexo 2) desenvolvidos nas áreas de Radioterapia, Dosimetria e Diagnóstico por Imagem. A intenção desta seção é apresentar pesquisas recentes desenvolvidas no Brasil nessas áreas para exemplificar o uso das ciências em favor da melhoria da qualidade de vida da comunidade em geral, mas que em alguns casos a física do fenômeno não parece óbvia.

4.2.1.1. Radioterapia

4.2.1.1.1. Braquiterapia

A radioterapia é um método que utiliza radiação ionizante para a destruição e/ou retardamento de tumores, assistido por aparatos computacionais que permitem que isso seja feito com precisão, minimizando a incidência de radiação nas regiões próximas ao volume analisado (ALVES; SHERLLARD, 2005). Nesse sentido o objetivo dessa pesquisa (MOURÃO; CAMPOS, 2010) foi simular a dose absorvida,

pelo Método de Monte Carlo, em um procedimento de braquiterapia em tumores oculares.

A braquiterapia consiste em inserir radioisótopos (isótopos com núcleos instáveis que liberam radiação para se tornarem estáveis) dentro do tumor para que a radiação emitida nos decaimentos seja capaz de destruí-lo. Nesse procedimento a irradiação ocorre de regiões internas, dentro do tumor, para as mais externas, por esse motivo e por não afetar os tecidos saudáveis essa técnica tem grandes aplicações no câncer do útero e próstata (PERUZZO, 2012).

Os radionuclídeos escolhidos foram o iodo-125 e o paládio-103, pois emitem fótons com baixas energias. O iodo-125 possui um tempo de meia-vida¹ de 59,408 dias, sofre decaimentos por captura eletrônica onde emite raios gama/fótons e raios-X com energias abaixo de 0,0355 MeV. Já o paládio-103 possui um tempo de meia-vida de 16,991 dias e decai da mesma maneira que o anterior, porém, emitindo energias em torno de 20 keV (SADEGHI; SAIDI; TENREIRO, 2011).

Esses radioisótopos são armazenados em cilindros de 4,5 mm x 0,8 mm fabricados em titânio chamados de sementes (ver Figura 5). Esse material foi escolhido porque não ocorre rejeição dele pelo tecido humano, por ser resistente à corrosão, leve e pela capacidade de absorver raios-X produzidos no decaimento por captura eletrônica e elétrons (ROSTELATO, 2005).



Figura 5: Estrutura física de uma semente de iodo-125 (MOURÃO; CAMPOS, 2010, p. 25).

Em tratamentos por braquiterapia as sementes são inseridas no tecido através de um procedimento não cirúrgico com o uso de agulhas e em alguns casos ficam permanentemente no paciente. A análise da dose de radiação absorvida é feita a partir de imagens de Tomografia Computadorizada ou Raios-X (ROSTELATO, 2005).

Para a simulação desse método, foram utilizadas imagens de Tomografia Computadorizada (um método que utiliza radiação ionizante para impressionar imagens do interior do corpo) da região do globo ocular de uma base de dados de

¹ Tempo necessário para que os radionuclídeos decaiam pela metade.

imagem de um cadáver masculino (ACKERMAN, 2013). Elas foram inseridas em um *software*, baseado no Método de Monte Carlo, para a criação de um modelo tridimensional de imagem que reproduz fielmente a anatomia humana, como mostra a Figura 6.

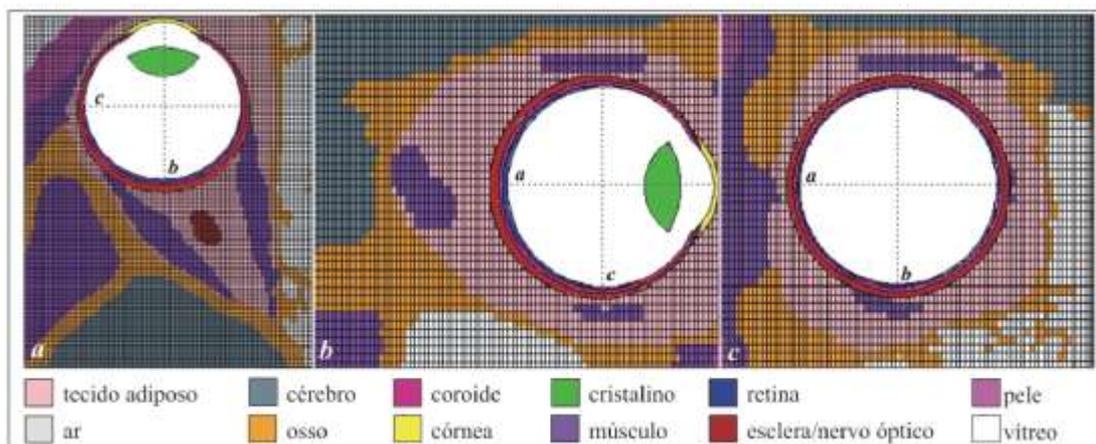


Figura 6: Imagem fornecida pelo *software* mostra a diferenciação dos tecidos associados a uma cor (MOURÃO; CAMPOS, 2010, p. 24).

As sementes são acomodadas em uma placa com formato de calota esférica, de 15 mm de diâmetro, com capacidade para até dez sementes. É revestida em aço inoxidável para impedir que parte da radiação se propague na direção contrária ao tumor. A placa é posicionada na parte branca do olho sobre o tumor. A Figura 7 mostra uma visão geral da placa e a maneira como as sementes ficam distribuídas sobre ela.

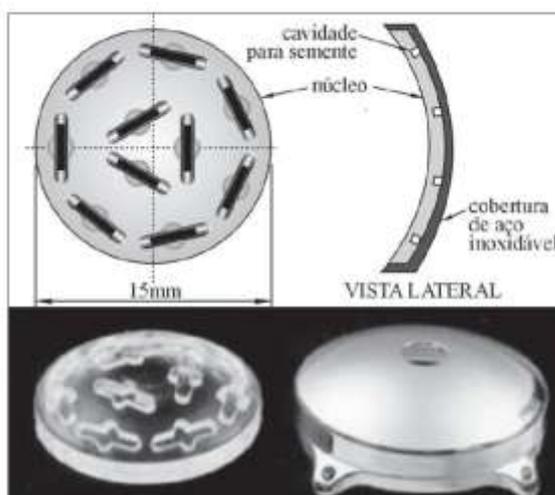


Figura 7: Estrutura física da placa (MOURÃO; CAMPOS, 2009, p. 45).

A placa foi carregada computacionalmente duas vezes com os dois tipos de sementes citadas e simulado o posicionamento desta sobre o olho. No *software* baseado no Método de Monte Carlo é avaliada a dose absorvida. Esse método é usado para simular a interação da radiação com a matéria (YORIYAZ, 2009). As imagens geradas pelo *software* são ilustradas na Figura 8.

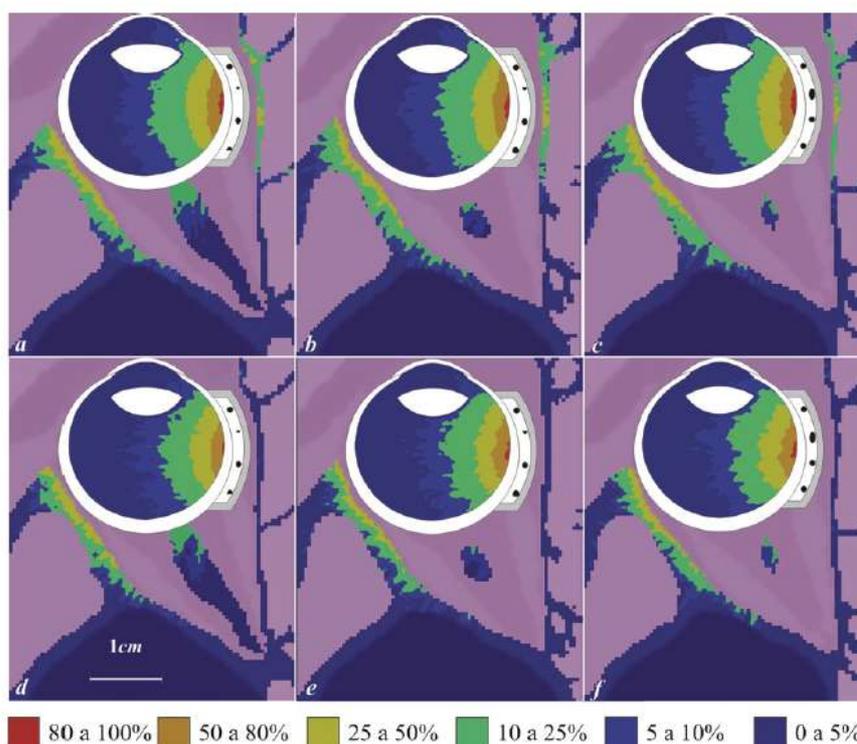


Figura 8: Curvas de distribuição de dose absorvida. As imagens de A a C se referem ao experimento com o iodo-125. Já as imagens de D-F se referem ao paládio103 (MOURÃO; CAMPOS, 2010, p. 25).

Foi observado que a absorção da dose com o paládio-103 é rapidamente reduzida conforme se distância da fonte, o que acontece devido à baixa energia na emissão de fótons se comparado ao iodo-125, o faz com que sejam absorvidas maiores doses nas regiões externas do olho (SADEGHI, 2011).

A utilização de radioisótopos é de grande importância em tratamentos oncológicos, uma vez que o comportamento dos decaimentos radioativos desses materiais são úteis na determinação da dose de radiação absorvida nas regiões de interesse.

A comparação entre as aplicações clínicas das sementes de iodo-125 e paládio-103 em braquiterapia mostraram que este último é mais eficaz no tratamento

de cânceres oculares em regiões mais externas reduzindo as doses de radiação absorvidas pelos tecidos sadios nas regiões internas do olho.

Como se pode notar a radioterapia e dosimetria estão intimamente relacionadas, esta última é extremamente útil na determinação do alcance da radiação dentro do corpo humano, no modo como é absorvida pelo tecido e como esses fatores influenciam na escolha da fonte a ser utilizada.

4.2.1.2. Dosimetria

A dosimetria mede a distribuição da energia da radiação ionizante absorvida em um meio, seja ele vivo ou não. A análise da dose absorvida por um tecido em tratamentos radioterápicos é realizada a partir de *softwares* que permitem esse acompanhamento através imagens gráficas. Neste sentido essas ferramentas computacionais desempenham um importante papel na dosimetria.

A discussão a seguir (TRINDADE; CAMPOS, 2011) aborda a capacidade de um *software* em gerar imagens tridimensionais de partes do corpo de pacientes (que contém um tumor, por exemplo) submetidos a exames de Tomografia Computadorizada ou de Ressonância Magnética e simular a radiação de nêutrons e fótons absorvida em uma região específica.

A relevância do estudo está associada à semelhança entre os tecidos observados e as imagens que o *software* pode reconstruir, por realizar automaticamente um plano de tratamento e fazer a simulação deste.

O procedimento de execução do *software* está dividido em modelos. Inicialmente as imagens de Tomografia Computadorizada ou de Ressonância Magnética são digitalizadas e combinadas para gerar um modelo tridimensional de imagem, reproduzindo fielmente a anatomia do paciente.

O volume analisado é dividido em elementos volumétricos de imagem em diferentes tons de cinza, de modo a associá-los a tecidos previamente cadastrados no sistema, usados como referência. O procedimento permite distinguir os tecidos já que uma cor própria é relacionada a cada parte do tecido, em particular.

Na sequência é selecionada a região onde se encontra o tumor, ou qualquer outra que seja de interesse, para quantificar o número de partículas (nêutrons ou fótons) da radiação incidente por unidade de área (MEIRA JR, 2011).

Quando a radiação incide no tumor, as partículas sem carga (ou primárias) que a compõem interagem com os elementos químicos dos tecidos (o que pode acontecer por efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção de pares, reações fotonucleares (YOSHIMURA, 2009). A partir dessa interação são geradas partículas carregadas (ou secundárias), cujas energias cinéticas por unidade de massa do tecido são utilizadas para determinar a dose absorvida (PODGORSAK, 2005).

A energia cinética gerada pelas partículas secundárias e os dados da fonte de radioativa são utilizados como código de entrada no Método de Monte Carlo para determinação do número de partículas carregadas por unidade de área do tecido, o que é convertido em dose. Esse resultado é apresentado através de uma imagem onde são evidenciadas as distribuições de doses absorvidas (ou curvas de isodoses) sobre o volume de tecido analisado.

A sequência de imagens a seguir permite uma correlação visual entre os dados de entrada do programa e a imagem formada por ele, num procedimento padrão.

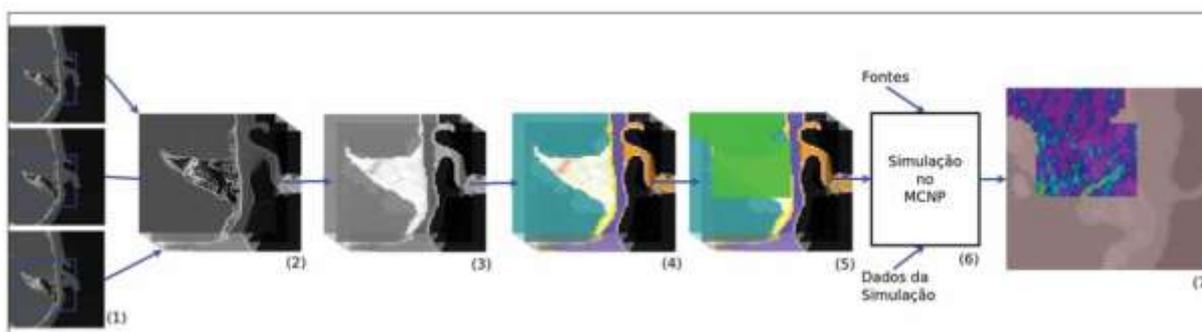


Figura 9: Combinação de imagens de Tomografia Computadorizada ou de Ressonância Magnética (1); Construção do modelo de camadas (2); Geração do modelo de elementos volumétricos em tons de cinza (3); Correspondência de cada elemento volumétrico de imagem a um tecido (4); Seleção da região de interesse (5); Dados de entrada para o *software* baseado no Método de Monte Carlo (6); Visualização de saída (7) (TRINDADE; CAMPOS, 2011, p. 111).

O Método de Monte Carlo gera números aleatórios, que obedecem a aleatoriedade encontrada na natureza (YORIYAZ, 2009) e cujas funções de distribuições de probabilidade de trajetória e interação de partículas primárias e secundárias permitem conhecer o número de partículas, por unidade de área, e converter essa informação em dose de radiação absorvida. A simulação é aplicada em tratamentos oncológicos.

Em casos mais específicos, como o de pacientes com câncer de mama, essa ferramenta permite criar um modelo de imagens em que seja possível selecionar com maior precisão a dose absorvida na região onde o tumor está localizado. Com isso, pode-se reduzir a incidência de radiação em tecidos saudáveis e evitar que os pulmões, por estarem muito próximos ao tumor, sejam afetados pela radiação excedente, o que poderia levar a alterações funcionais indesejadas (SCHETTINO; JOTTA; CASSALI, 2010).

Nos procedimentos de teleterapia em tumores de cabeça e pescoço a radiação atinge o osso temporal, expondo a orelha do paciente à radiação e comprometendo sua capacidade auditiva (MENEZES, M., 1999). A aplicação do *software* permite avaliar a dose que causa efeitos colaterais na orelha e melhorar o protocolo de radiação.

A Figura 10 mostra um exemplo de como as diferentes cores, atribuídas pelo *software* às diferentes regiões da orelha, se relacionam com as doses a que estas regiões foram submetidas.

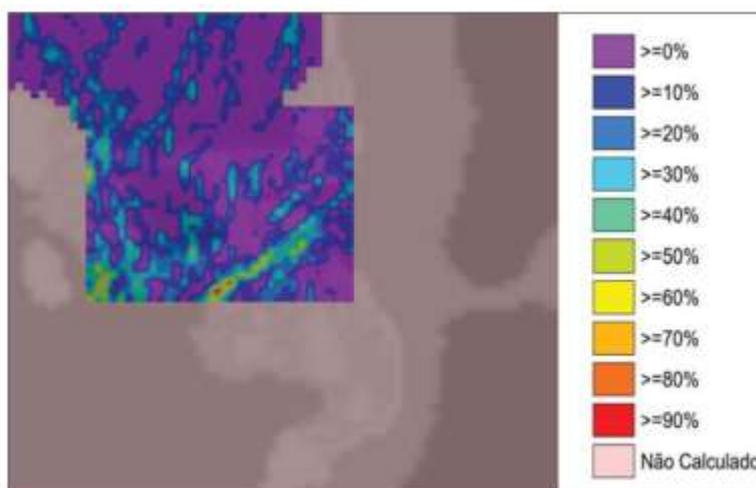


Figura 10: Curvas de distribuição de dose na região da orelha. As porcentagens estão ordenadas em ordem crescente em relação à dose máxima absorvida pelo tecido (TRINDADE; CAMPOS, 2011, p. 114).

No controle de tumores pela braquiterapia, por exemplo, foram implantados biovidros de material radioativo no cérebro de um coelho. Os decaimentos radioativos beta e gama do material permitiram analisar a dose de radiação absorvida na região onde foram feitos os implantes. O objetivo deste estudo foi analisar a viabilidade dessas fontes para o controle de tumores cerebrais (COSTA;

CAMPOS, 2007). Em um trabalho semelhante, foram implantadas sementes cerâmicas no fígado de um coelho com o mesmo intuito. Como o método permite a simulação dos resultados da dosimetria experimental é possível reduzir o número de cobaias em testes. As imagens referentes a esses implantes estão ilustradas nas curvas de distribuição de dose a seguir.

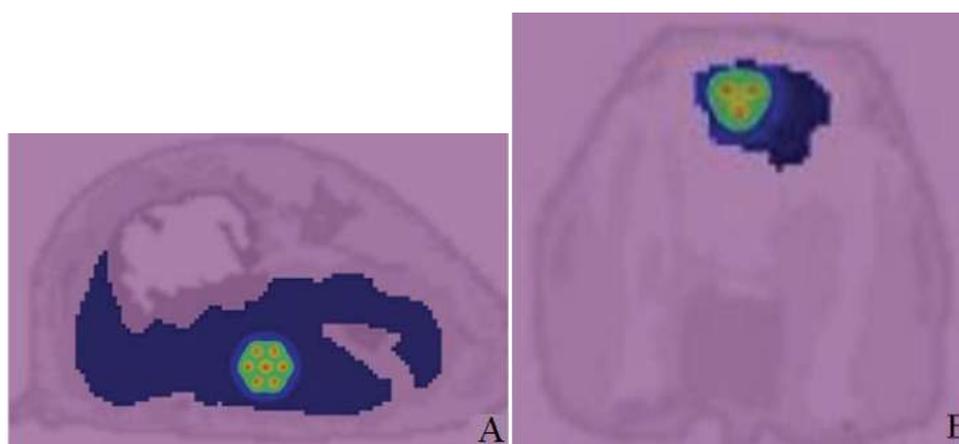


Figura 11: Curvas de distribuição de dose absorvida em braquiterapia. Em (A) foram implantadas sementes cerâmicas em fígado de coelho (A) e em (B) sementes de biovidro em cérebro de coelho (TRINDADE; CAMPOS, 2011, p. 115).

O emprego deste *software* permite conhecer, através de um modelo de imagem, a anatomia do paciente e com o auxílio do Método de Monte Carlo, simular doses de radiação absorvida por tumores. Sendo de grande relevância para tornar mais precisos procedimentos de radioterapia em pacientes acometidos de tumores na região da mama, cabeça e pescoço, entre outros.

A realização da simulação pelo *software* só foi possível a partir de dados imagens de Tomografia Computadorizada e de Ressonância Magnética, evidenciando a relevância do diagnóstico por imagem a outras áreas da Física Médica.

4.2.1.3. Diagnóstico por imagem

4.2.1.3.1. Ressonância Magnética

O diagnóstico por imagem é de importante para a determinação do estado de desenvolvimento de um câncer, prognóstico, tratamento, acompanhamento da resposta da terapia e detecção do reaparecimento de tumores.

A intenção do artigo descrito a seguir (NAVA et al., 2011) era o de analisar a imagens do corpo inteiro de pacientes com Linfoma de Hodgkin no acompanhamento e na determinação do grau de comprometimento do tecido utilizando difusão por Ressonância Magnética. Também foi realizada uma comparação dos resultados obtidos pela alteração dos parâmetros relacionados ao processo, cujos resultados foram suprimidos na argumentação que se segue.

A Ressonância Magnética é um método de processamento de imagens que permite analisar a anatomia e as atividades funcionais dos órgãos pacientes (MAZOLLA, 2009). De forma simplificada, o processo consiste em incidir um forte campo magnético sobre um tecido a fim de orientar os núcleos dos átomos de hidrogênio (prótons) que o compõem, os quais começam a vibrar em uma frequência específica. O aparelho a detecta e emite uma onda na mesma frequência, cuja energia é transferida aos átomos de hidrogênio fazendo com que eles entrem em ressonância. A formação de imagens se dá através da detecção da posição e da intensidade de energia da onda eletromagnética liberada pelos núcleos excitados quando retornam ao estado fundamental de energia (AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001).

A difusão por Ressonância Magnética é um método que mede as colisões aleatórias das moléculas de água em um meio (RITTNER, 2006). No processo por difusão de corpo inteiro com suspensão do sinal de fundo (*Diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression - DWIBS*) são obtidas imagens de qualidade mesmo quando o paciente está respirando livremente. Antes do desenvolvimento dessa técnica em processos por difusão era necessário que a respiração fosse suspensa.

Esse método foi empregado na avaliação do Linfoma de Hodgkin, tumor que atinge os linfonodos, órgãos que produzem e drenam as células responsáveis pela imunidade no corpo humano (INCA, s/d), sendo este um câncer muito comum na infância. Na Figura 12 é apresentada a imagem de um Linfonodo.

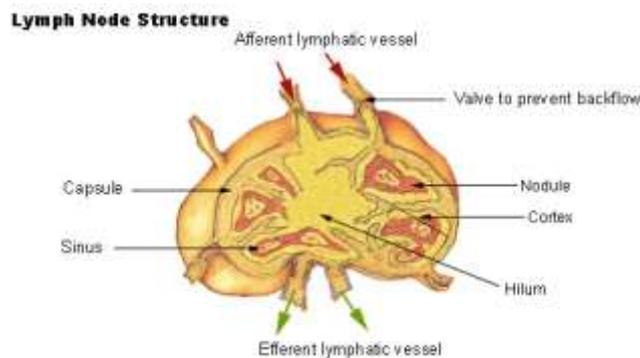


Figura 12: Linfonodo. (SEER, 2006)

Para o diagnóstico do Linfoma de Hodgkin é necessário conhecer a imagem de corpo inteiro do paciente já que os linfonodos estão distribuídos por todo o corpo. Para tanto, é comum serem utilizadas os métodos de Cintilografia e Tomografia por Emissão de Pósitrons para a obtenção das imagens. Como ambas expõem o paciente a radiação, o que em crianças tem um efeito negativo, foi adotada a Difusão por Ressonância Magnética. Entres as vantagens deste método estão a ausência do uso contraste e a não exposição do paciente à radiação.

O estudo foi realizado com 12 pacientes com 17,75 anos de idade média, portadores de Linfoma de Hodgkin em estado inicial ou com suspeita de reaparecimento da doença no organismo. Foram analisados possíveis locais onde o tumor estaria localizado, sendo estes: pescoço, tórax, abdome, pelve, pulmão, parede torácica, fígado, baço, rins, pâncreas, alças intestinais e medula óssea.

As imagens foram analisadas por dois examinadores a fim de comparar a confiabilidade do diagnóstico. Após a comparação, foram utilizados os critérios de *Ann Arbor* para estadiamento do câncer: trata-se de uma classificação de tumores malignos (GADELHA; COSTA; ALMEIDA, 2005) cujos estágios estão impressos na Figura 13.

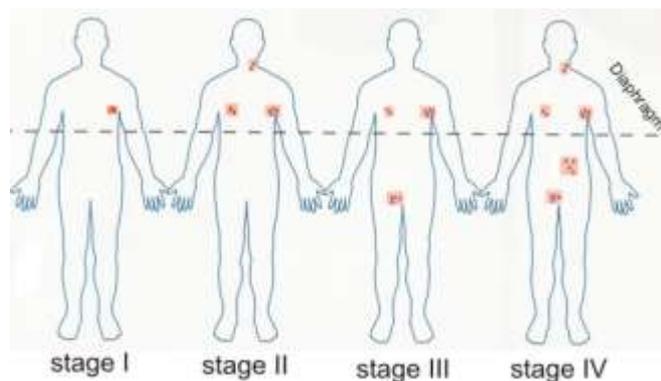


Figura 13: Estágio I – Doença em apenas um linfonodo; Estágio II – Doença instalada em dois ou mais linfonodos de um mesmo lado da linha do diafragma (linha pontilhada na figura); Estágio III – Doença instalada em ambos os lado da linha do diafragma; Estágio IV – Doença espalhada por todo o corpo (STAGING [...], 2013).

Os estadiamentos feitos pelos examinadores foram muito semelhantes. As imagens permitiram a detecção do Linfoma de Hodgkin no pulmão apesar da redução na qualidade da imagem causada pela respiração e batimentos cardíacos (Figura 14). Também foi possível diagnosticar sítios linfonodais acometidos pela doença na região da axila (Figura 15), crista íliaca (Figura 16) e medula óssea (Figura 17).



Figura 14: Nódulos pulmonares (NAVA et al., 2011, p. 31).

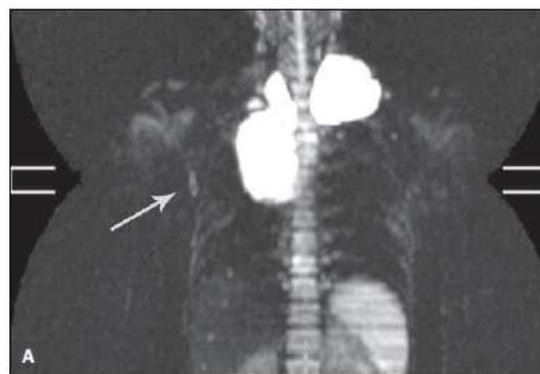


Figura 15: Linfonodo na axila (NAVA et al., 2011, p. 32).

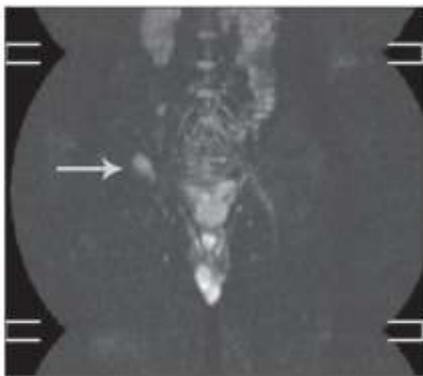


Figura 16: Nódulos na crista ilíaca (NAVA et al., 2011, p. 32).



Figura 17: Hipersinal na medula óssea em escala invertida de preto e branco (NAVA et al., 2011, p. 33).

As imagens geradas pelo processo de difusão por Ressonância Magnética se mostraram eficazes na detecção do Linfoma de Hodgkin no organismo do paciente mesmo com a livre respiração deste e sem o uso de contraste intravenoso. Como a pesquisa foi pautada no diagnóstico infantil da doença, o fato da respiração não ter que ser suprimida representa uma vantagem deste método. Outra vantagem é a redução do custo, já que a imagem de todo o corpo do paciente é feita em um único procedimento de imagem.

Essa técnica de diagnóstico por imagem se mostrou eficaz na detecção de tecidos lesionados em órgãos parenquimatosos, tal como no pulmão, e também na estrutura óssea. Na seção a seguir será apresentado outro método pelo qual o diagnóstico por imagem também é possível.

4.2.1.3.2. Tomografia Computadorizada

Técnicas de diagnóstico por imagem que permitem não somente conhecer a estrutura dos tecidos, mas também analisar a atividade funcional e metabólica dos órgãos são chamadas de biomarcadores. A perfusão por Tomografia Computadorizada se trata de um biomarcador, a aplicação dessa técnica na radiologia abdominal é discutida a seguir (SOUSA et al., 2012).

Na Tomografia Computadorizada uma fonte girante emite radiação ionizante de forma que faça uma varredura do paciente em um plano horizontal. Do lado oposto à fonte estão detectores capazes de captar as fatias da radiação que não foi absorvida pelo paciente e convertê-la em um sinal elétrico, o que na sequência é transformado em imagem (CARLOS, 2002) (AMARO JÚNIOR; YAMASHITA, 2001). Na Figura 18 é ilustrado esse processo.

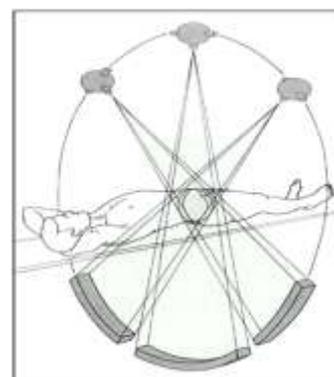


Figura 18: Esquema de um exame de Tomografia Computadorizada (NÓBREGA, s/d, p.7).

A perfusão por Tomografia Computadorizada analisa a vascularização em um tecido pra determinar seu estado de saúde. Isso ocorre através de imagens dinâmicas do fluxo sanguíneo nas artérias após o paciente ter ingerido um meio de contraste, esse acompanhamento é realizado por um *software*. O termo perfusão se refere ao fluxo sanguíneo que passa por um tecido específico por unidade de tempo e volume.

O *software* toma conhecimento de variáveis relacionadas à vascularização em Tomografia Computadorizada e gera imagens que permitem o diagnóstico de tumores pela diferenciação dos tecidos, assim como a verificação do reaparecimento deles e o estadiamento. Isso tem um importante papel no diagnóstico médico, na escolha do procedimento terapêutico e acompanhamento.

O exame é dividido em duas etapas, na primeira, sem o uso de contraste é analisada a atividade vascular natural da região do abdome. Na segunda, o paciente ingere um meio de contraste iodado e são realizadas rápidas e sucessivas imagens de Tomografia Computadorizada, assim como na etapa anterior, que permitem acompanhar a vascularização desse contraste no organismo de forma dinâmica. As imagens das duas etapas são utilizadas pelo *software* para que faça os cálculos matemáticos.

No *software*, as imagens da primeira parte do exame são utilizadas para demarcar a região de interesse. As da segunda servem para determinar as variáveis relacionadas à distribuição do contraste na corrente sanguínea na região selecionada na etapa anterior. A saber, as variáveis são: volume, concentração do meio de contraste no sangue e sua velocidade. Por fim, o *software* apresenta em forma de gráficos, mapas e tabelas a perfusão, volume sanguíneo, a contrastação de pico e o tempo para atingi-la, e a imagem da região de interesse. Esse procedimento está ilustrado sequencialmente na Figura 19 a seguir.

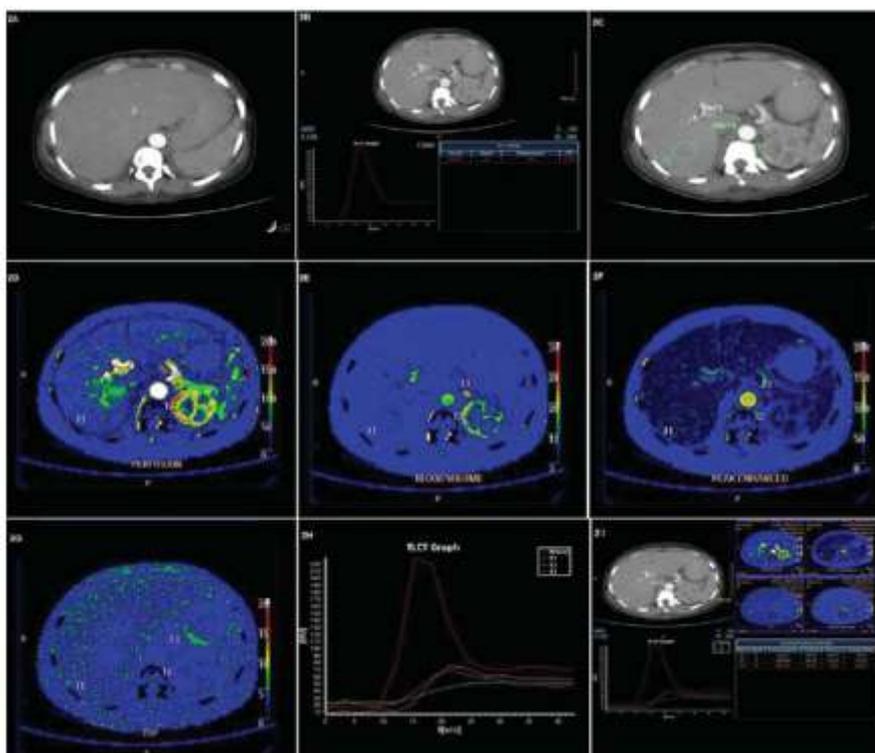


Figura 19: Procedimento de imagem de perfusão por Tomografia Computadorizada no fígado. A) Escolha da região de interesse; B) Escolha do vaso sanguíneo arterial para calcular a concentração arterial de contraste em função do tempo; C) Escolha dos tecidos; D-H) Apresentação de gráficos, mapas e tabelas dos parâmetros envolvidos no processo; I) Visão geral do processo (SOUSA et al., 2012).

A relevância deste estudo está na capacidade de diagnosticar alterações nas atividades funcionais dos tecidos, bem como lesões, pelo acompanhamento do fluxo sanguíneo nas artérias e na sua aplicação em doenças abdominais. De acordo com o autor, esse método tem potenciais aplicações no acompanhamento do tratamento de tumores no sistema vascular e em procedimentos cirúrgicos a fim de torná-los menos invasivos.

4.2.2. Proposta para a divulgação da física médica nas escolas

Como observado nessas seções, todos os exames dependem intimamente do conhecimento de Física, da capacidade da comunidade científica da área de ciências exatas se relacionarem com os pesquisadores da área da saúde e do total domínio do manuseio matemático (e/ou computacional).

Pensando em divulgar nas escolas o trabalho de físicos que atuam diretamente no aumento de capacidade da comunidade médica nas áreas de tratamento e diagnóstico foram elaborados pôsteres (Apêndice C) que evidenciam que isso só é possível graças à aplicação de conhecimentos de ciências exatas.

Os artigos discutidos na seção anterior serviram de conteúdo para os pôsteres, os quais foram elaborados de forma chamativa no intuito atrair a atenção do aluno para que as aplicações da Física na Medicina, para que isso lhe desperte curiosidade para conhecer mais sobre os assuntos abordados.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pesquisadores e professores desempenham atividades distintas e igualmente importantes. Embora se tratem de perfis diferentes, a aproximação destes teria importantes implicações no ensino devido à pesquisa científica. Professores da rede pública não trabalham em sala de aula conteúdos atuais por não terem a cultura de pesquisar para manter-se atualizados (REZENDE; OSTERMANN, 2005), o que justifica o ensino descontextualizado. Nas respostas dos questionários grande parte dos alunos trataram a licenciatura e o bacharelado como currículos excludentes, no entanto, o que se propõe é uma complementação.

Borges (2006) é firmemente contra que um futuro professor e um profissional da física tenham um mesmo currículo, ele justifica sua fala pelos diferentes campos de atuação e que essa proposta desconsidera que as pesquisas em ensino também são ciência. Ainda assim, defende a existência de um ensino científico, na capacidade das pesquisas científicas intervirem na formação do professor e consequentemente no seu trabalho em sala de aula.

Distante do ensino científico o que se percebe pelos questionários, é uma preocupação a necessidade de formar o professor para estudar apenas o conteúdo que é trabalhado no Ensino Médio, seguindo a mesma metodologia tradicional com a qual foram ensinados. Ideia contrária para o que proposto para o ensino de física nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN).

Espera-se que o ensino de Física, na escola média, contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas. É necessário também que essa cultura em Física inclua a compreensão do conjunto de equipamentos e procedimentos, técnicos ou tecnológicos, do cotidiano doméstico, social e profissional. (BRASIL, 2000, p. 22)

Os PCN também não determinam qual conteúdo deve ser trabalhado no Ensino Médio, ele se atém às competências que os alunos devem conquistar a partir disso. O professor não deve se prender ao livro didático e às exigências dos exames vestibulares, ele tem a liberdade de criar novas metodologias, tal como a de criação

de uma cultura científica para a promoção do saber investigativo nos alunos (KNEUBIL, 2013).

O mesmo acontece quando se afirma que a pesquisa não é para alunos de Ensino Médio. Não há motivo para privar o aluno das grandes contribuições da Física na tecnologia, das recentes publicações sobre teoria dos buracos negros, do uso da física na medicina, na química e em várias áreas. Não se pretende levar o formalismo científico e matemático para o Ensino Médio, mas sim a divulgação dessas publicações em uma linguagem mais acessível aos alunos. Esses trabalhos possibilitam reconhecer a Física como interventora na ciência para que o aluno percebesse a importância desse conhecimento para sua cidadania (ALMEIDA; RICON, 1993).

Almeida e Ricon (1993) ainda apontam uma problemática quanto ao jornalismo científico, a de que pesquisadores não atingem a comunidade em geral para a leitura de seus artigos, quando os jornalistas o fazem para facilitar a compressão do texto, o deixam pouco aprofundados e acabam cometendo alguns equívocos quanto à Física envolvida.

Neste sentido, os professores têm de se apropriar desse conteúdo para interpretar essa linguagem e conseguir levar isso para a sala de aula. Uma proposta para condicionar essa familiaridade é participação de acadêmicos de licenciatura em programas de iniciação científica, que entre seus objetivos está o de estimular os alunos de graduação a pensar cientificamente diante da pesquisa, o que não se limita a quem pretende trabalhar diretamente nessa área (MORAES; FAVA, 2000).

Como mostrado, a grande maioria dos acadêmicos da UFT tem se preocupado em manter-se atualizados quanto à sua cultura científica através da participação em eventos e programas do gênero. No entanto, nem todos tem levado esse hábito para a sala de aula. O aprendizado conquistado e as vantagens que advém dessa experiência deveriam ser trabalhadas no Ensino Médio, isso poderia levar transformações no modo como os alunos vêm a física e se interessam por ela.

O primeiro espaço onde essa abordagem poderia ser trabalhada é nas disciplinas de Estágio Supervisionado. Assim, o acadêmico conseguiria contribuir para a escola promovendo ações que beneficiassem o Ensino de Física e que consequentemente permitam o desenvolvimento de uma prática pedagógica própria.

Um desafio para a criação dessa cultura dentro da sala de aula é levar aos alunos materiais de divulgação científica sobre Física aplicada à Medicina nas

escolas. Como se vê as pesquisas na área cobrem desde a melhoria das técnicas e diminuição de doses a que se expõem os pacientes até a escolha dentre as diferentes possibilidades e necessidades de diagnóstico e tratamento adequado a cada caso clínico. Isso condicionaria ao professor relacionar seu discurso, para que os alunos estudassem a física atual e não a dos séculos que a precederam (ALMEIDA; RICON, 1993).

A comunidade que se beneficia diretamente dos diagnósticos e tratamentos não compreende a importância da física na escola e em diferentes áreas – as famílias não incentivam “SEJA FÍSICO”, mas ao contrário, continuam incentivando “SEJA MÉDICO” – assim é preciso incentivar a disseminação deste tipo de informação entre os estudantes do Ensino Médio.

“O processo do aprendizado e do conhecimento no aluno se desenvolve à medida que o mesmo se interessa por aquilo que lhe está sendo apresentado e pela maneira com que ele toma o conhecimento transmitido.” (LUIZ, OLIVEIRA, s/d, p. 2).

A motivação para esse trabalho está em despertar o interesse dos alunos do Ensino Médio para a Física. Uma pesquisa revela que eles não percebem muita a diferença entre a Física e a Matemática, além disso, não veem uma utilidade para o Ensino de Física (RICARDO; FREIRE, 2007).

Mesmo com todas essas estratégias, o que se percebe dos questionários é que o licenciado em Física pela UFT não pretende ir para a sala de aula. A necessidade de professores Ensino Fundamental e Médio é crescente. Os esforços do governo não tem sido suficientes para garantir a permanência dos acadêmicos na faculdade, tampouco para eles queiram ser professores do Ensino Médio (GOBARA; GARCIA, 2007).

Um estudo revela que de aproximadamente 5 milhões de inscritos nos processos seletivos para as instituições de ensino superior, menos 0.12% optaram pela licenciatura em Física e ainda mais surpreendente é que apenas um em cada quatro licenciados que se formam pretendem ser professores (ARAÚJO; VIANA, 2008). Este que vai para a sala de aula ainda enfrenta a dificuldade de divulgar a pesquisa na escola como propõe as Diretrizes Curriculares.

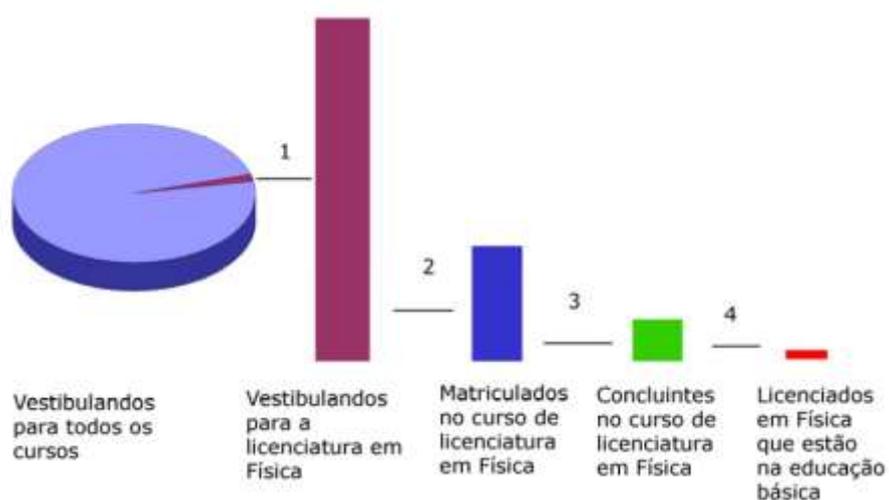


Figura 20: Dados do INEP em 2005 a respeito dos professores de Física no Brasil. 1) De todas as pessoas que prestaram vestibular, apenas 0,12% optaram pela Licenciatura em Física; 2) Destes 0,12%, apenas 44% são aprovados no exame; 3) Entres os 44% matriculados apenas 35% se formam; 4) Entre os que se formam, apenas 26% vai para a sala de aula. (ARAÚJO; VIANA, 2008, p.4)

A carência da qualidade do conteúdo na disciplina de Física na escola básica também está associada à falta de professores formados em física, dificultando aos alunos a percepção da Física em suas articulações com outras áreas e como seu desenvolvimento tem impacto na sociedade (CAPES, 2007).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Hoje a física se aplica a todos os campos da medicina (MENEZES, 1988), seja em equipamentos, métodos de análise, nos *softwares* utilizados, nas técnicas de exames, entre outros. No entanto, pouco se é divulgado a respeito dessas aplicações.

Entre estas contribuições está a braquiterapia, um procedimento de radioterapia que utiliza a radiação dos decaimentos de núcleos instáveis para retardar ou destruir tumores. Entre as vantagens dessa técnica está a eficácia e o procedimento de implante das sementes por um método não invasivo. O *software* que o auxilia o procedimento permite reconhecer a energia da radiação absorvida por um tecido, tal como a sua distribuição sobre ele. Através disso o tratamento é simulado para conhecer qual núcleo é o mais adequado para local onde se encontra um tumor.

Os *softwares* desempenham um importante papel no que cabe à dosimetria. Através de simulações é possível reconstruir a anatomia de um paciente através da combinação de imagens. Essa ferramenta é muito vantajosa, pois permite simular tratamentos que utilizam radiação ionizante e verificar se este seria adequada para o caso clínico.

Os procedimentos de imagens além de serem úteis nessas aplicações, permitem conhecer o estado de comprometimento de um tecido a partir de alterações da sua atividade funcional, no tamanho e também pela atividade metabólica. Esses exames não necessariamente utilizam fontes de radiação ionizante e meios de contraste para visualização do interior do corpo humano.

Como se vê, essas aplicações são de importante conhecimento para uso da comunidade médica e de pacientes em geral. Nessa condição seria importante que a sociedade se mantivesse informada através de veículos de divulgação. Da mesma maneira, os alunos do ensino médio esse conhecimento se faz importante.

A discussão de artigos de Física Médica nas escolas possibilitaria atrair a atenção do aluno e divulgar a Física aplicada. Esse objetivo resultou na construção de quatro pôsteres em relação à radioterapia, a dosimetria e ao diagnóstico por imagem. Os pôsteres foram elaborados seguindo o proposto por Almeida e Ricon

(1993), sobre a divulgação de textos científicos em uma linguagem adequada para alunos do ensino médio.

O professor tem, portanto um importante papel para que atividades como essa possam ser incluídas na metodologia de ensino e também para que sejam possíveis de serem realizadas. Contudo, como o professor não está habituado à pesquisa, estas ficam sob a guarda de quem fez bacharelado, e não chegam às escolas. Nota-se que a separação dos currículos, ou ainda a forma como se distanciaram dificultam o acesso da comunidade à pesquisa científica.

Os resultados dos questionários mostraram que os alunos do curso de Física da UFT não estabelecem muita relação ao entre os papéis que um pesquisador desenvolve o do professor. Apenas alguns citaram vantagens dessa contribuição.

Talvez isso se justificaria pelo fato deles participarem de eventos de divulgação científica e de programas de iniciação científica, reconhecem as diversas vantagens disso para a formação curricular e pela maneira como podem intervir no ensino através disso, mas não o fazem.

Nas disciplinas de estágios supervisionados, na regência, os alunos mostraram não se preocupar em levar à escola trabalhos que visassem divulgar a ciência. Mesmo que a partir do Estágio II os alunos começam a trabalhar no desenvolvimento de um projeto de intervenção na escola (UFT, 2009) esse recurso não tem sido utilizado. Mesmo não utilizando essa metodologia, reconhecem que o ensino de Física Médica nas escolas seria de grande importância para aprendizado dos alunos.

Embora tenham apontado positivamente para todas as estratégias para a melhoria do ensino de Física, são os poucos os que pretendem ir para a sala de aula. Como afirma Araújo e Vianna (2008) é compreensível o licenciado não querer ir para a sala de aula ante a questão salarial e a falta de investimento no ensino médio.

Espera-se que em trabalhos futuros os pôsteres de divulgação científica desenvolvidos possam ser aplicados no Ensino Médio para avaliar a maneira como os alunos responderam a essa metodologia de ensino. E também realizar um estudo a respeito do ensino de Física antes da separação dos perfis de formação de acordo com as Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN, M. J. The Visible Human Project: Getting the Data. Disponível em <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/getting_data.html> Acesso em: 15 jan. 2014.

ALMEIDA, M. J. P. M.; RICON, A. E. Divulgação científica e texto literário – Uma perspectiva cultural em aulas de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 10, n. 1, p. 7-13, abr. 1993. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9791>> Acesso em 13 de fev. 2014.

ALVES, A.; SHERLLARD, R. C (Ed.). Física para o Brasil: Pensando o futuro. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2005.

AMARO JÚNIOR, E.; YAMASHITA, H. Aspectos básicos de tomografia computadorizada e ressonância magnética. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 3, supl. 1, p. 61-64, mar., 2001. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-44462001000500002> Acesso em: 9 jan. 2014.

ARAÚJO, R. S., VIANNA, D. M. Aspectos históricos da remuneração dos professores de Física do Brasil e da carência deste profissional na educação básica frente à realidade da OECD. In: Noveno Simposio de Investigación em Educación em Física, Rosario, 2008.

BORGES, O. Formação inicial de professores de Física: Formais mais! Formar melhor! **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 2, p. 135-142, 2006. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/Oto.pdf>> Acesso em 13 de fev. 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. **Parecer CNE/CP nº 009/2001**. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Aprovado em 08 de Maio de 2001a.

_____. Conselho Nacional de Educação/Câmara de Educação Superior. **Parecer CNE/CES nº 1304/2001**. Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física. Aprovado em 06 de Novembro de 2001b.

_____. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/SEF, 2000. 58 p.

CAPES. Física para um Brasil Competitivo: Estudo encomendado pela Capes visando maior inclusão da Física na vida do país. Brasília, Junho de 2007.

CARLOS, M. T. Tomografia computadorizada: formação da imagem e radioproteção. Instituto de Radiologia de Nata. l2002.. Disponível em < <http://files.comunidades.net/professorsiraqui/APOSTILA.PDF>> Acesso em: 10 jan. 2014.

CARNEIRO, M. A. LDB fácil: leitura crítico-compreensiva, artigo a artigo. 17 ed. Petrópolis: Vozes, 2010.549 p.

CORDEIRO, E. A. K. Abrindo as portas do quarto terapêutico: significando a radioterapia. 2012. 201 p. Tese (Doutorado em Enfermagem) – Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

COSTA, I.T.; CAMPOS, T.P.R. Resposta radiodosimétrica de implantes de sementes de biovidros radioativos no cérebro de coelhos . **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.12, n.3, p. 480-486, 2007. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762007000300008 >. Acesso em: 27 dez. 2013.

EINSTEIN, A. *Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?*. 1905a. p. 639-641. Disponível em < http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/einstein-papers/1905_18_639-641.pdf > Acesso em 20 de fev. 2014.

_____. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. 1905b. p. 891-921. Disponível em < http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/einstein-papers/1905_17_891-921.pdf > Acesso em 20 de fev. 2014.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. Física Quântica. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

FÍSICA Médica: Estado da Arte. s/d. Disponível em < http://www.sbfisica.org.br/v1/arquivos_diversos/4CNCTel/medica.pdf> Acesso em 13 de nov. 2013.

GADELHA, M. I. P.; COSTA, M. R.; ALMEIDA, R. T. Estadiamento de tumores malignos: análise e sugestões a partir de dados da APAC. **Revista Brasileira de**

Cancerologia, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2005. Disponível em < http://www.inca.gov.br/rbc/n_51/v03/pdf/artigo1.pdf > Acesso em: 8 jan. 2014.

GOBARA, S. T.; GARCIA, J. R. B. As licenciaturas em física das universidades brasileiras: um diagnóstico da formação inicial de professores de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n.4, p. 519-525, 2007. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/070805.pdf> > Acesso em 13 de fev. 2014.

INCA. Quando a Física e a medicina se encontram. **Revista Rede Câncer**, Rio de Janeiro, 21 abril. 2013. Educação, p. 34-37.

KNEUBIL, F. B. Explorando o CERN na física do Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 2, 2013. Disponível em < <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/352501.pdf> > Acesso em 13 de fev. 2014.

LUIZ, L. C.; OLIVEIRA, L. F. Ensino de Física Radiológica e Radioproteção através do Lúdico. s/d.

LUZ, R. M. O Ensino de Física das radiações em ambientes hospitalares: A avaliação das concepções sobre Raios X com enfoque na prevenção e tecnologia. 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Faculdade de Física. Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática - Porto Alegre, 2013.

MARTINS, R. A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, 7 (Número Especial): 27-45 , jun. 1990. Disponível em < <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/10061/14903> > Acesso em 24 de set. 2013.

MAZOLLA, A. A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 177-129, 2009. Disponível em < http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/rbfm_v3n1_117-9.pdf > Acesso em: 4 jan. 2014.

MEIRA JR, N. G. Cálculo de coeficientes de conversão utilizando modelos baseados em MESH. 2011. 81 f. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Física, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus. 2011.

MENEZES, L. C. Vale a pena ser Físico? São Paulo: Moderna, 1988.

MENEZES, M. Efeitos da radioterapia sobre a audição em pacientes portadores de tumores de cabeça e pescoço. Recife: Centro de especialização em fonoaudiologia clínica, 1999.

MORAES, F. F.; FAVA, M. A iniciação científica: muitas vantagens e poucos riscos. **São Paulo em Perspectiva**, v.14, n. 1, p. 73-77, 2000. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/spp/v14n1/9803.pdf> > Acesso em 13 de fev. 2014.

MOURÃO, A. P.; CAMPOS, T. P. R. Considerações radiodosimétricas da braquiterapia ocular com iodo-125 e rutênio/ródio-106. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 43-48, 2009. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-39842009000100010&script=sci_arttext> Acesso em: 14 jan. 2014.

_____. Dosimetria em braquiterapia ocular com placa ROPES contendo sementes de iodo-125 e paládio-103. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 4, n. 1, p. 23-26, 2010. Disponível em <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/RBFMv4n1_p23-6.pdf> Acesso em: 14 jan. 2014.

NASCIMENTO, G. T.; ALVETTI, M. A. S. Temas científicos contemporâneos no ensino de biologia e física. **Ciência & Ensino**, v. 1, n. 1, dez. 2006. Disponível em <http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=rcen&cod=_temascientificoscon tempo > Acesso em 8 de fev. 2014.

NAVA, D.; OLIVEIRA, H. C.; LUISI, F. A.; XIMENES, A. R. S.; LEDERMAN, H. M. Aplicação da ressonância magnética de corpo inteiro para o estadiamento e acompanhamento de pacientes com linfoma de Hodgkin na faixa etária infanto-juvenil: comparação entre diferentes sequências. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 29-34, jan/fev., 2011. Disponível <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-39842011000100009 > Acesso em: 3 jan. 2014.

NÓBREGA, A. I. Técnicas de Imagem por Tomografia Computadorizada. Hospital Santa Catarina – Universidade São Camilo. s/d.

OKUNO, E. Radiação: Efeitos, riscos e Benefícios. São Paulo: HABRA, 2007.

OLIVEIRA, Ivan S. Física Moderna: Para iniciados, interessados e aficionados – 2.ed. – São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

PARISOTO, M. F.; MOREIRA, M. A.; MORO, J. T. M. Subsunções para a física aplicada à medicina, no contexto do ensino de Física. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 43-62, abr. 2012. Disponível em <<http://ensinosaudeambiente.uff.br/index.php/ensinosaudeambiente/article/view/138/136> > Acesso em 10 de nov. 2013.

_____. Teoremas-em-ação e conceitos-em-ação na Física aplicada à Medicina. **Ensino, Saúde e Ambiente**, v. 6, n. 3, p. 114-128, dez. 2013. Disponível em <<http://ensinosaudeambiente.uff.br/index.php/ensinosaudeambiente/article/view/149/147> > Acesso em 14 de jan. 2014.

PERUZZO, J. Física e energia nuclear. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.

PODGORSAK, E.B. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Vienna: IAEA, 2005.

REZENDE, F.; OSTERMANN, F. A prática do professor e a pesquisa em ensino de Física: novos elementos para repensar essa relação. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, v. 22, n. 3, p. 316-337, dez. 2005. Disponível em <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6374> > Acesso em 13 de fev. 2014.

RITTNER, L. Imagens de Tensores de Difusão por Ressonância Magnética: Segmentação e Tractografia via transformação imagem-floresta. Campinas: FEEC-UNICAMP, 2006.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. C. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 2, p. 251-266. 2007. Disponível em <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/060908.pdf>> Acesso em 09 de fev. 2014.

RODRIGUES, F. H. O que faz um físico no hospital? **Revista Didática Sistemática**. Rio Grande do Sul, v. 5, p. 7-12, 2007.

ROSTELATO, M. E. C. M. Estudo e desenvolvimento de uma nova metodologia para confecção de sementes de Iodo-125 para aplicação em Braquiterapia. São Paulo: IPEN-USP, 2005.

SADEGHI, M.; SAIDI, P.; TENREIRO, C. Dosimetric Characteristics of the Brachytherapy Sources Based on Monte Carlo Method. In: MODE, C. J (Ed.). Applications of Monte Carlo Methods in Biology, Medicine and Other Fields of Science. Rijeka: InTech, 2011. p. 155-176.

SCHETTINO, R. C.; JOTTA, L. M. G.; CASSALI, G. D. Função pulmonar em mulheres com câncer de mama submetidas à radioterapia: um estudo piloto. **Fisioterapia & Pesquisa**, São Paulo, v. 17, n. 3, p. 248-252, jul/set. 2010. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1809-29502010000300011&script=sci_arttext >. Acesso em 27 de dez. 2013.

SEER - Surveillance, Epidemiology and End Results Program. Illu lymph node structure.png. In: Wikimedia Foundation, 2006. Disponível em < http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Illu_lymph_node_structure.png > Acesso em: 8 jan. 2014.

Sociedade Brasileira de Física – SBF. A Física e o desenvolvimento Nacional: relatório. Brasília: SBF, 2012. 116 p.

SOUSA, J. P. L. B. A.; BEKHOR, D.; SAITO FILHO, C. F.; BRETAS, E. A. S.; D'IPPOLITO, G. Perfusão por tomografia computadorizada do abdome: aplicações clínicas, princípios e técnica do exame. **Revista Brasileira**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 39-45, jan/fev, 2012. Disponível em < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-39842012000100010&script=sci_arttext > Acesso em: 10 jan. 2014.

STAGING lymphomas, 2013. Disponível em <<http://www.lymphomation.org/stage.htm>> Acesso em: 8 jan. 2014.

TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; PRINZIO, R. Di.; PRINZIO, M. A. R. R. Di. Radioproteção e Dosimetria: fundamentos – 5ª revisão. Rio de Janeiro: CNEN, 2003.

TRINDADE, B. M., CAMPOS, T. P. R. Sistema computacional de nêutrons baseado em métodos estocásticos aplicado a radioterapia e radiologia. **Radiologia Brasileira**, São Paulo, v. 44, n. 2, mar/abr. 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-39842011000200011 >. Acesso em 18 de dez. 2013.

TSOULFANIDIS, N.; LANDSBERGER, S. Measurement and detection of radiation. 3rd Ed – Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2010.

UFT. Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Física. Fundação Universidade Federal do Tocantins. Abril de 2009.

YORIYAZ, H. Método de Monte Carlo: princípios e aplicações em Física Médica. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 141-149, 2009. Disponível em <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/rbfm_v3n1_141-9.pdf> Acesso em: 23 nov. 2013.

YOSHIMURA, E. M. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, p. 57-67, 2009. Disponível em <http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/rbfm_v3n1_57-67.pdf> Acesso em: 30 dez. 2013.

ZANGIROLAMI, A. M. Fluxo neutrônico a 100 kW nos terminais de irradiação do reator TRIGA IPR-RI. 2009. 103 f. Dissertação – Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.

APÊNDICE A – MODELO DO QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO
<p>A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>() Não sei distinguir.</p>
<p>De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>() Nunca participei e por isso não sei avaliar.</p>
<p>Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?</p> <p>() Sim</p> <p>() Não</p> <p>() Nunca ministrei aula.</p>
<p>Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?</p> <p>() Muito importante. () Razoavelmente importante</p> <p>() Pouco importante. () Sem importância.</p> <p>Comentário: _____</p> <p>_____</p>
<p>Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?</p> <p>() Sala de aula.</p> <p>() Mestrado.</p> <p>() Cursar outra graduação.</p> <p>() Não sei ainda.</p>

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIOS RESPONDIDOS

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim; o curso de licenciatura dará mais possibilidades, via aulas pedagógicas, de aulas diferenciadas de Física.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Por meio da aprendizagem de novos métodos de ensino.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim. Pois o Bacharel é mais voltado pra pesquisa e a licenciatura é específica para a sala de aula.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Ajudou muito na hora de iniciar o TCC.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: Trabalho na saúde e resolvi cursar licenciatura em Física porque é o primeiro passo para Física

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física? Médico em nosso Estado.

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Tendo em vista que a grade curricular tem um amplo conteúdo específico da Física, vejo que a grade curricular de licenciatura há bastante material voltado para o ensino, penso que isso faz diferença

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Sim, pois dentro desses eventos há bastante conhecimento para ser absorvido, conhecimento sempre é bem e deve ser usado.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: Por ser um ramo muito importante a física do século XX e isso é raro de se ver no ensino médio.

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Eu não sei se o curso Bacharelado de Física tem estágio na sala, ^{de aula} mas caso não tenha eu tenho eu acho que é a única diferença. Não acredito que tenha impacto.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Participação em evento científico contribui bastante. Pois o contato com outros pesquisadores na sua área e outras abre portas para continuação da sua formação.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *A medicina é um área que muito almejam, logo sabendo disso podemos conquistar mais alunos para Física*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim acho que a estrutura curricular quando bem elaborada ajuda o futuro professor a ter um melhor base de conhecimento.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

A contribuição maior vem do conflito de ideias e os contatos com outros trabalhos.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *Seria uma das formas de explorarmos os conhecimentos físicos.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, pois o professor que é formado em Bacharelado não tem a prática pedagógica de ministrar aula para alunos.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Contribui com futuro professor de física, ainda abri um porta para fazer um mestrado, além de conhecimentos novos que é adquiridos.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: Acho que "desperta" no aluno um interesse em estudar física

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, o professor que estudou Bacharelado não fez tanta didática quanto o professor de licenciatura.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Partilhas de ideias com outros acadêmicos

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *tudo assunto da fronteira da física é importante.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

À diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

~~Sim~~ NÃO. PARA SER PROFESSOR ELE TEM QUE GOSTAR DE FÍSICA, E TAMBÉM ENSINAR, INDEPENDENTE DE BACHAREL OU LICENCIATURA, VAL DO PROFESSOR E ALUNO.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

MOTIVAÇÃO A PERMANECER NA ÁREA, E A SE APROFUNDAR MAIS NESTA SUBÁREA.

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

() Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. () Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: É SEMPRE BOM DIVULGAR TODO TIPO DE CONHECIMENTO. APENAS ASSIM PARA QUE ALGUÉM POSSA SE IDENTIFICAR.

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

() Mestrado.

() Cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Uma forma de estar à par das inovações, de explicar fenômenos físicos envolvidos nas novas contribuições.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *Uma das formas de mostrar a importância da Física e suas contribuições.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, pois o Bacharelado não é voltado para sala de aula como a licenciatura tem.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

A participação em eventos científicos é muito importante para formação docente.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário:

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não, pois nessa estrutura de currículos estão em conformidade para o ensino médio pois não atuamos na parte da pesquisa

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

De momento que a UFT nos fornece recursos para abrir novos compromissos em muitas áreas de trabalho e nos dar sustentabilidade para discutir

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

() Sim

() Não

(X) Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

(X) Muito importante. () Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário:

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

() Mestrado.

(X) Cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Acredito que há impacto, pois um curso complementa o outro. Desta forma, um professor que possui, também, o bacharelado detém maior conhecimento agregado, portanto maior domínio e entendimento do conteúdo proporcionando melhorias no processo de ensino-aprendizado.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

A participação proporciona a construção do meu conhecimento. Assim, posso agregar curiosidades à prática docente baseadas no aprendizado adquirido em tais eventos.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *Considero muito importante, já que são detalhes que muitos alunos não têm ciência de tal interação.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, no curso de bacharelado o professor é pouco habilitado para a educação em física na sala de aula. Licenciatura embora vise preparar um professor, esquece de habilitá-lo para o conteúdo que realmente é dado nas escolas (isso baseado na experiência de meu próprio curso).

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Contribui para ampliar meu conhecimento dos conteúdos as diversas vertentes que a ciência física pode ter, além de motivar a pesquisa.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: É bom que os alunos saibam as diversas aplicabilidades da física, assim como nestes casos outros. aplicações também devem ser citadas.

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não conheço o curso de Bacharelado em Física, então não sei avaliar.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

A partir do conhecimento de novas tecnologias.

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

() Sim

Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

() Muito importante. Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: *É uma parte de extrema importância na Física.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

() Mestrado.

() Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Creio que sim, pois a base pedagógica de um licenciado por toda a diferença, quando se trata de ensino e aprendizagem do aluno.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Essas participações remeteu-me a uma prática mais dinâmica, consciente.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: Pois conhecemos as aplicações da Física é algo imprescindível p/ compreensão da mesma.

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, as disciplinas metodológicas contribuem para a formação de professores, no entanto os cursos de Bacharelado não oferecem essas disciplinas

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Esses eventos e programas são fundamentais no processo de formação docente, pois nos permite o contato com diferentes trabalhos na área de ensino e pesquisa possibilitando aprimorar nossa prática pedagógica

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio), você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: Poucas pessoas tem conhecimento desta área do conhecimento

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Com certeza! Uma pessoa que é Bacharel em Física tem grande dificuldade em ministrar aula, e quando o curso é algo mais final, ou seja, ainda está em reformulação, pior será.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

dos poucos que eu participei contribuiu de forma significativa, pois obtive várias experiências que vou levar para minha vida profissional.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: Pois os alunos não sabem que ao cursar física, você pode trabalhar em diversas áreas.

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

SIM. O BACHARELADO NÃO PREPARA O PROFISSIONAL PARA A SALA DE AULA.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

TEM PARTICIPAÇÃO ABRE NOVOS HORIZONTES AO MAIORAR DIFERENTES EXPERIÊNCIAS (E.C.) E ADQUIRIR O HÁBITO DE PESQUISAR (E.C.).

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

() Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. () Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

Mestrado.

() Cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já leu aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Contribuiu e muito para minha formação aprimorando meus conhecimentos, pois trabalho na área de pesquisa científica e isso é muito importante para minha formação

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim. Na forma de ensinar, onde não se vê uma metodologia adequada para ensinar.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Na minha formação contribui como grande processo de aprendizado, e de experiência em sala de aula.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário:

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

É importante para a minha formação devido ao conhecimento aplicado e conhecimento recebido, pois o envolvimento com o trabalho apresentado e sua divulgação gera o conhecimento de outros trabalhos.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *Auxiliar a Física com a Medicina e divulgar isso para os alunos seria importante e chamaria a atenção deles*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, pois a licenciatura possui disciplinas pedagógicas que tem o papel de auxiliar ou fomentar a prática docente do futuro professor.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Contribui através da experiência adquirida no evento.

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

() Sim

(X) Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

(X) Muito importante. () Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: A Física através de sua aplicação tendo que é pouco divulgada, e isso deve mudar.

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

(X) Mestrado.

() Cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim. Pois o curso de Licenciatura prepara melhor o aluno para sala de aula, ao meu ver.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Com a interação com outros pesquisadores, aprofundando o desenvolvimento de trabalhos, e preparando o próprio currículo.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *Isso seria um meio de estimular os alunos*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim, pois apenas a licenciatura irá preparar o acadêmico para ministrar aulas nas escolas, pois sua grade conta com disciplinas como, estágios, seminários, didática e etc.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Através de participações em eventos e em programas como o PIBID por exemplo, aprendemos a melhorar ~~como~~ como falar em público, debater determinadas temas além da prática nas escolas.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *exerceria o interesse dos alunos pela Física.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO.

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim. Pois o Bacharelado é mais voltado a área de pesquisa e quase não vai ter práticas pedagógicas, já a licenciatura é mais propícia ao ensino de física nas escolas, por que vai ter mais prática com alunos.

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: é importante, mas, quase não se sabe sobre o ramo, então os alunos pouco se importam

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO.

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

acho que na pratica do ensino medio não, pois tudo que viene é voltado para isto, mas acho que deveriamos ver conteúdo do ensino médio, já que o curso é pro ensino médio

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Em novos conhecimentos, e novas práticas de ensino.

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio), você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *Importante infimo que o fisico pode atuar em varias areas, inclusive na area medico*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda. Outras

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Sim. Pois o curso de Bacharelado dá um enfoque maior no conteúdos da Física, enquanto licenciatura se divide em conteúdos pedagógicos.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

(x) Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

() Sim

() Não

(x) Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

(x) Muito importante. () Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário:

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

(x) Sala de aula.

() Mestrado.

() cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Com certeza!

A didática, pois o aluno de bacharelado não tem a mesma preparação pedagógica de um licenciado.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

na futura realização de projetos e experimentos em conjunto aos alunos da educação básica.

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

() Sim

Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

() Muito importante. Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: *Pois os alunos não entenderão muito.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação:

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Eu não sei exatamente como seria a prática de um professor Bacharelado mas talvez possa sim ver a ter algum impacto pois o Bacharel fazem muito experimento

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

De curta forma a participação em eventos conta muito para o seu aprendizado e para o seu currículo.

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

() Sim

(X) Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

() Muito importante. (X) Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

(X) Mestrado.

() cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

A diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Essas participações trazem conhecimento, e com certeza contribui para minha formação

Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

Não

Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. Razoavelmente importante

Pouco importante. Sem importância.

Comentário: *É bom porque os alunos vão dar mais valor a Física, mas é importante divulgar outras áreas importantes que a física + TUA.*

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

Sala de aula.

Mestrado.

Cursar outra graduação.

Não sei ainda.

QUESTIONÁRIO

À diferença na estrutura curricular dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física tem algum impacto sobre a prática pedagógica de um professor do Ensino Médio? Qual?

Na minha opinião acredito que não, por que o conteúdo que estamos vendo na Universidade é bastante complexo e o conteúdo dos alunos é muito simples.

() Não sei distinguir.

De que maneira sua participação em eventos científicos e em programas de iniciação científica contribui ou contribuirá para sua formação docente?

Principalmente na metodologia de ensino, pois com uma metodologia bem diversificada vou poder proporcionar um ensino mais dinâmico e eficaz para meus alunos.

() Nunca participei e por isso não sei avaliar.

Em sua prática pedagógica (nas disciplinas de estágio) você já levou aos seus alunos materiais de divulgação científica?

Sim

() Não

() Nunca ministrei aula.

Como você avalia a importância de divulgar a Física aplicada à Medicina na escola?

Muito importante. () Razoavelmente importante

() Pouco importante. () Sem importância.

Comentário: _____

Quais são suas perspectivas futuras após a conclusão do curso de Licenciatura em Física?

() Sala de aula.

Mestrado.

() cursar outra graduação.

() Não sei ainda.

APÊNDICE C – PÔSTERES



BRAQUITERAPIA

A braquiterapia é um tipo de radioterapia, ela consiste em inserir **radioisótopos** dentro do tumor para que a radiação emitida nos decaimentos seja capaz de destruí-lo.

Isótopos com núcleos instáveis que liberam radiação para se tornarem estáveis!

O objetivo da pesquisa foi simular computacionalmente a dose de radiação absorvida na região do olho devido ao implante de sementes de iodo-125 e paládio-103. A placa onde as sementes são armazenadas foi carregada computacionalmente duas vezes com os dois tipos de sementes e simulado o posicionamento desta sobre o olho.

Sementes???

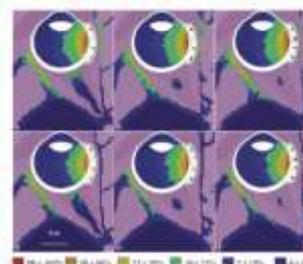
São cilindros de 4,5 mm x 0,8 mm fabricados em titânio onde os radioisótopos são armazenados. Esse material foi escolhido porque não ocorre rejeição dele pelo tecido humano, por ser resistente à corrosão, leve e pela capacidade de absorver elétrons e raios-X produzidos no decaimento por captura eletrônica.



A radioterapia é um método que utiliza radiação ionizante para a destruição e/ou retardamento de tumores, assistido por aparatos computacionais que permitem que isso seja feito com precisão, minimizando a incidência de radiação nos tecidos sadios.

Na figura abaixo é mostrada a distribuição da dose máxima absorvida, ela decresce do vermelho para o violeta. As três primeiras imagens se referem ao experimento com sementes de iodo-125 e as outras três às de paládio-103.

Absorção da dose com o paládio-103 é rapidamente reduzida conforme se distancia da fonte, o que acontece devido à baixa energia na emissão de fótons se comparado ao iodo-125, o faz com que sejam absorvidas maiores doses nas regiões externas do olho.



Todo processo foi realizado através de uma simulação computacional que reconstruiu a imagem da região de olho a partir de imagens de Tomografia Computadorizada de um banco de dados, permitindo que a simulação do implante fosse realizada assim como a determinação da dose de radiação absorvida.

A comparação entre as aplicações clínicas das sementes de iodo-125 e paládio-103 em braquiterapia mostraram que este último é mais eficaz no tratamento de neoplasias oculares em regiões mais externas reduzindo as doses de radiação absorvidas pelos tecidos sadios nas regiões internas do olho.

A utilização de radioisótopos é de grande importância em tratamentos oncológicos, uma vez que o comportamento dos decaimentos radioativos desses materiais são úteis na determinação da dose de radiação absorvida nas regiões de interesse.

QUER SABER MAIS?



http://www.abfm.org.br/rbfm/publicado/RBFMv4int_p23-6.pdf

Disponível em: *braquiterapia ocular com semente BQPE: conteúdo completo de iodo-125 e paládio-103.*

Arnaldo P. Mourão e Tarciso P. D. Campos





Ressonância Magnética

O diagnóstico por imagem é de importante aplicação na prática clínica na determinação do estado de desenvolvimento de um câncer, prognóstico, tratamento, acompanhamento da resposta da terapia e detecção do reaparecimento de tumores. A Ressonância Magnética é um método de diagnóstico por imagem que permite analisar a anatomia e as atividades funcionais de tecidos.

O objetivo da pesquisa foi analisar as imagens do corpo inteiro de pacientes com Linfoma de Hodgkin no acompanhamento e na determinação do grau de comprometimento do tecido utilizando difusão por Ressonância Magnética.

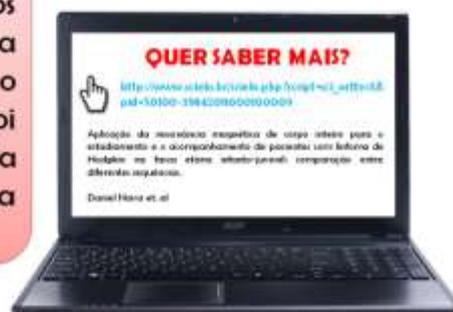
A Ressonância Magnética consiste em incidir um forte campo magnético sobre um tecido a fim de orientar os núcleos dos átomos de hidrogênio que o compõem, os quais começam a vibrar em uma frequência específica. O aparelho a detecta e emite uma onda na mesma frequência, cuja energia é transferida aos átomos de hidrogênio fazendo com que eles entrem em ressonância. A formação de imagens se dá através da detecção da posição e da intensidade de energia da onda eletromagnética liberada pelos núcleos excitados quando retornam ao estado fundamental de energia.

O estudo foi realizado com 12 pacientes com uma média de idade de aproximadamente 17,75 anos com Linfoma de Hodgkin em estado inicial ou com suspeita de reaparecimento da doença no organismo. As imagens foram analisadas por dois examinadores a fim de comparar a confiabilidade do diagnóstico.

As imagens geradas pelo processo de difusão por Ressonância Magnética se mostraram eficazes na detecção do Linfoma de Hodgkin em órgãos parenquimatosos, tal como no pulmão, e também na estrutura óssea mesmo com a livre respiração e sem o uso de contraste intravenoso. Como a pesquisa foi pautada no diagnóstico infantil da doença, o fato da respiração não ter que ser suprimida representa uma vantagem deste método.

O Linfoma de Hodgkin é um tumor que atinge os linfonodos, órgãos que produzem e drenam as células responsáveis pela imunidade no corpo humano. O diagnóstico por imagem é feito do corpo inteiro do paciente já que os linfonodos estão distribuídos por toda sua extensão.

Regiões onde foram identificados linfomas por difusão por Ressonância Magnética.





Tomografia Computadorizada

A **perfusão** por Tomografia Computadorizada se trata de um biomarcador, por isso permite conhecer a estrutura dos tecidos e também a atividade funcional e metabólica dos órgãos a partir de imagens dinâmicas do fluxo sanguíneo nas artérias após o paciente ter ingerido um meio de contraste.

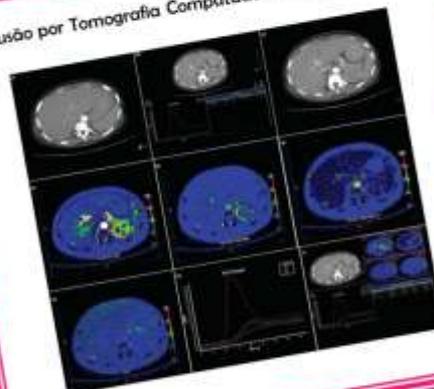
Se refere ao fluxo sanguíneo que passa por um tecido específico por unidade de tempo e volume.

O objetivo da pesquisa foi mostrar a capacidade de diagnóstico por imagem pelo processo de perfusão por Tomografia Computadorizada.

O exame é dividido em duas etapas, na primeira, sem o uso de contraste é analisada a atividade vascular natural da região do abdome. Na segunda, o paciente ingere um meio de contraste iodado e são realizadas rápidas e sucessivas imagens de Tomografia Computadorizada, assim como na etapa anterior, que permitem acompanhar a vascularização desse contraste no organismo de forma dinâmica. O software toma conhecimento de variáveis relacionadas à vascularização e gera imagens, gráficos, mapas e tabelas que permitem o diagnóstico de tumores.

Na Tomografia Computadorizada uma fonte girante emite radiação ionizante de forma que faça uma varredura do paciente em um plano horizontal. Do lado oposto à fonte estão detectores capazes de captar as fatias da radiação que não foi absorvida pelo paciente e convertê-la em um sinal elétrico, o que na sequência é transformado em imagem.

Perfusão por Tomografia Computadorizada do fígado.



A relevância deste estudo está na capacidade de diagnosticar alterações nas atividades funcionais dos tecidos, bem como lesões, pelo acompanhamento do fluxo sanguíneo nas artérias e na sua aplicação em doenças abdominais. Esse método tem potenciais aplicações no acompanhamento do tratamento de tumores no sistema vascular e em procedimentos cirúrgicos a fim de torná-los menos invasivos.

QUER SABER MAIS?

http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-39842012000100010&script=sci_arttext

Perfusão por tomografia computadorizada de abdome: aplicação clínica, princípios e técnicas de exame.

João Paulo Lima Barros, Alencar de Souza et. al.



ANEXO 1 – DIRETRIZES NACIONAIS CURRICULARES PARA OS
CURSOS DE FÍSICA



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO**

INTERESSADO: Conselho Nacional de Educação / Câmara de Educação Superior		UF: DF
ASSUNTO: Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física		
RELATOR(A): Francisco César de Sá Barreto, Carlos Alberto Serpa de Oliveira e Roberto Claudio Frota Bezerra		
PROCESSO(S) N.º(S): 23001.000319/2001-10		
PARECER N.º: CNE/CES 1.304/2001	COLEGIADO: CES	APROVADO EM: 06/11/2001

I – RELATÓRIO

É praticamente consenso que a formação em Física, na sociedade contemporânea, deve se caracterizar pela flexibilidade do currículo de modo a oferecer alternativas aos egressos. É também bastante consensual que essa formação deve ter uma carga horária de cerca de 2400 horas distribuídas, normalmente, ao longo de quatro anos. Desse total, aproximadamente a metade deve corresponder a um núcleo básico comum e a outra metade a módulos seqüenciais complementares definidores de ênfases. É igualmente consensual que, independentemente de ênfase, a formação em Física deve incluir uma monografia de fim de curso, a título de iniciação científica.

II – VOTO DO(A) RELATOR(A)

Diante do exposto e com base nas discussões e sistematização das sugestões apresentadas pelos diversos órgãos, entidades e Instituições à SESu/MEC e acolhida por este Conselho, voto favoravelmente à aprovação das Diretrizes Curriculares para os cursos de Física e do projeto de resolução, na forma ora apresentada.

Brasília(DF), 06 de novembro de 2001.

Conselheiro(a) Francisco César de Sá Barreto – Relator(a)

Conselheiro(a) Carlos Alberto Serpa de Oliveira

Conselheiro(a) Roberto Cláudio Frota Bezerra

III – DECISÃO DA CÂMARA

A Câmara de Educação Superior aprova por unanimidade o voto do(a) Relator(a).

Sala das Sessões, em 06 de novembro de 2001.

Conselheiro Arthur Roquete de Macedo – Presidente

Conselheiro José Carlos Almeida da Silva – Vice-Presidente

DIRETRIZES CURRICULARES PARA OS CURSOS DE FÍSICA

1. PERFIL DOS FORMANDOS

O físico, seja qual for sua área de atuação, deve ser um profissional que, apoiado em conhecimentos sólidos e atualizados em Física, deve ser capaz de abordar e tratar problemas novos e tradicionais e deve estar sempre preocupado em buscar novas formas do saber e do fazer científico ou tecnológico. Em todas as suas atividades a atitude de investigação deve estar sempre presente, embora associada a diferentes formas e objetivos de trabalho.

Dentro deste perfil geral, podem se distinguir perfis específicos, tomados como referencial para o delineamento da formação em Física, em função da diversificação curricular proporcionada através de módulos seqüenciais complementares ao núcleo básico comum:

Físico – pesquisador: ocupa-se preferencialmente de pesquisa, básica ou aplicada, em universidades e centros de pesquisa. Esse é com certeza, o campo de atuação mais bem definido e o que tradicionalmente tem representado o perfil profissional idealizado na maior parte dos cursos de graduação que conduzem ao Bacharelado em Física.

Físico – educador: dedica-se preferencialmente à formação e à disseminação do saber científico em diferentes instâncias sociais, seja através da atuação no ensino escolar formal, seja através de novas formas de educação científica, como vídeos, “software”, ou outros meios de comunicação. Não se ateria ao perfil da atual Licenciatura em Física, que está orientada para o ensino médio formal.

Físico – tecnólogo: dedica-se predominantemente ao desenvolvimento de equipamentos e processos, por exemplo, nas áreas de dispositivos opto-eletrônicos, eletro-acústicos, magnéticos, ou de outros transdutores, telecomunicações, acústica, termodinâmica de motores, metrologia, ciência dos materiais, microeletrônica e informática. Trabalha em geral de forma associada a engenheiros e outros profissionais, em microempresas, laboratórios especializados ou indústrias. Este perfil corresponderia ao esperado para o egresso de um Bacharelado em Física Aplicada.

Físico – interdisciplinar: utiliza prioritariamente o instrumental (teórico e/ ou experimental) da Física em conexão com outras áreas do saber, como, por exemplo, Física Médica, Oceanografia Física, Meteorologia, Geofísica, Biofísica, Química, Física Ambiental, Comunicação, Economia, Administração e incontáveis outros campos. Em quaisquer dessas situações, o físico passa a atuar de forma conjunta e harmônica com especialistas de outras áreas, tais como químicos, médicos, matemáticos, biólogos, engenheiros e administradores.

2. COMPETÊNCIA E HABILIDADES

A formação do Físico nas Instituições de Ensino Superior deve levar em conta tanto as perspectivas tradicionais de atuação dessa profissão, como novas demandas que vêm emergindo nas últimas décadas. Em uma sociedade em rápida transformação, como esta em que hoje vivemos, surgem continuamente novas funções sociais e novos campos de atuação, colocando em questão os paradigmas profissionais anteriores, com perfis já conhecidos e bem estabelecidos. Dessa forma, o desafio é propor uma formação, ao mesmo tempo ampla e flexível, que desenvolva habilidades e conhecimentos necessários às expectativas atuais e capacidade de adequação a diferentes perspectivas de atuação futura.

A diversidade de atividades e atuações pretendidas para o formando em Física necessita de qualificações profissionais básicas comuns, que devem corresponder a objetivos claros de formação para todos os cursos de graduação em Física, bacharelados ou licenciaturas, enunciadas sucintamente a seguir, através das *competências essenciais* desses profissionais.

1. Dominar princípios gerais e fundamentos da Física, estando familiarizado com suas áreas clássicas e modernas;
2. descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais;

3. diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados;
4. manter atualizada sua cultura científica geral e sua cultura técnica profissional específica;
5. desenvolver uma ética de atuação profissional e a conseqüente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sócio-políticos, culturais e econômicos.

O desenvolvimento das competências apontadas nas considerações anteriores está associado à aquisição de determinadas *habilidades*, também básicas, a serem complementadas por outras competências e habilidades mais específicas, segundo os diversos perfis de atuação desejados. As *habilidades gerais* que devem ser desenvolvidas pelos formandos em Física, independentemente da área de atuação escolhida, são as apresentadas a seguir:

1. Utilizar a matemática como uma linguagem para a expressão dos fenômenos naturais;
2. resolver problemas experimentais, desde seu reconhecimento e a realização de medições, até à análise de resultados;
3. propor, elaborar e utilizar modelos físicos, reconhecendo seus domínios de validade;
4. concentrar esforços e persistir na busca de soluções para problemas de solução elaborada e demorada;
5. utilizar a linguagem científica na expressão de conceitos físicos, na descrição de procedimentos de trabalhos científicos e na divulgação de seus resultados;
6. utilizar os diversos recursos da informática, dispondo de noções de linguagem computacional;
7. conhecer e absorver novas técnicas, métodos ou uso de instrumentos, seja em medições, seja em análise de dados (teóricos ou experimentais);
8. reconhecer as relações do desenvolvimento da Física com outras áreas do saber, tecnologias e instâncias sociais, especialmente contemporâneas;
9. apresentar resultados científicos em distintas formas de expressão, tais como relatórios, trabalhos para publicação, seminários e palestras.

As *habilidades específicas* dependem da área de atuação, em um mercado em mudança contínua, de modo que não seria oportuno especificá-las agora. No caso da Licenciatura, porém, as habilidades e competências específicas devem, necessariamente, incluir também:

1. o planejamento e o desenvolvimento de diferentes experiências didáticas em Física, reconhecendo os elementos relevantes às estratégias adequadas;
2. a elaboração ou adaptação de materiais didáticos de diferentes naturezas, identificando seus objetivos formativos, de aprendizagem e educacionais;

A formação do Físico não pode, por outro lado, prescindir de uma série de *vivências* que vão tornando o processo educacional mais integrado. São vivências gerais essenciais ao graduado em Física, por exemplo:

1. ter realizado experimentos em laboratórios;
2. ter tido experiência com o uso de equipamento de informática;
3. ter feito pesquisas bibliográficas, sabendo identificar e localizar fontes de informação relevantes;
4. ter entrado em contato com idéias e conceitos fundamentais da Física e das Ciências, através da leitura de textos básicos;
5. ter tido a oportunidade de sistematizar seus conhecimentos e seus resultados em um dado assunto através de, pelo menos, a elaboração de um artigo, comunicação ou monografia;

6. no caso da Licenciatura, ter também participado da elaboração e desenvolvimento de atividades de ensino.

Em relação às habilidades e competências específicas, estas devem ser elaboradas pelas IES a fim de atender às exigências dos mercados nacionais e locais. Neste sentido, as diretrizes curriculares conferem toda autonomia as IES para defini-las, através dos conteúdos curriculares. Estes podem ser estruturados modularmente de modo a atender os perfis gerais definidos acima, porém com mudanças nos módulos dos últimos quatro semestres do curso que atenderiam ao tipo de especialização necessária para a inserção do formando na atividade almejada.

3. ESTRUTURA DOS CURSOS

Para atingir uma formação que contemple os perfis, competências e habilidades acima descritos e, ao mesmo tempo, flexibilize a inserção do formando em um mercado de trabalho diversificado, os currículos podem ser divididos em duas partes.

- I. Um núcleo comum a todos as modalidades dos cursos de Física.
- II. Módulos seqüenciais especializados, onde será dada a orientação final do curso. Estes módulos podem conter o conjunto de atividades necessárias para completar um Bacharelado ou Licenciatura em Física nos moldes atuais ou poderão ser diversificados, associando a Física a outras áreas do conhecimento como, por exemplo, Biologia, Química, Matemática, Tecnologia, Comunicações, etc. Os conteúdos desses módulos especializados inter-disciplinares devem ser elaborados por cada IES juntando os esforços dos colegiados dos diversos cursos envolvidos (Física, outras áreas científicas, Engenharia, Comunicação, etc.) seguindo interesses específicos e regionais de cada instituição.

O esquema geral desta estrutura modular é:

Núcleo Comum: Aproximadamente 50% da carga horária

Módulos Seqüenciais Especializados

- . **Físico-Pesquisador:** (Bacharelado em Física)
- . **Físico-Educador:** (Licenciatura em Física)
- . **Físico Interdisciplinar:** (Bacharelado ou Licenciatura em Física e Associada)
- . **Físico-Tecnólogo:** (Bacharelado em Física Aplicada)

4. CONTEÚDOS CURRICULARES

4.1 NÚCLEO COMUM

O núcleo comum deverá ser cumprido por todas as modalidades em Física, representando aproximadamente metade da carga horária necessária para a obtenção do diploma.

Uma das inovações da nova LDB são os cursos seqüenciais (Art. 44, I), formados por um conjunto de disciplinas afins, que podem caracterizar especializações em algumas áreas. A aprovação em um seqüencial possibilita o fornecimento de um certificado de conclusão. Os seqüenciais devem servir para catalisar cursos interdisciplinares, minimizando os problemas relativos à criação de currículos estanques e difíceis de serem modernizados. Devem também contribuir para a educação continuada. Os certificados de conclusão deverão atestar etapas cumpridas com qualidade, o que é saudável para todos: alunos, IES e para a sociedade.

O núcleo comum é caracterizado por conjuntos de disciplinas relativos à física geral, matemática, física clássica, física moderna e ciência como atividade humana. Estes conjuntos são detalhados a seguir.

A - Física Geral

Consiste no conteúdo de Física do ensino médio, revisto em maior profundidade, com conceitos e instrumental matemáticos adequados. Além de uma apresentação teórica dos tópicos fundamentais (mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, física ondulatória), devem ser contempladas práticas de laboratório, ressaltando o caráter da Física como ciência experimental.

B – Matemática

É o conjunto mínimo de conceitos e ferramentas matemáticas necessárias ao tratamento adequado dos fenômenos em Física, composto por cálculo diferencial e integral, geometria analítica, álgebra linear e equações diferenciais, conceitos de probabilidade e estatística e computação.

C - Física Clássica

São os cursos com conceitos estabelecidos (em sua maior parte) anteriormente ao Séc. XX, envolvendo mecânica clássica, eletromagnetismo e termodinâmica.

D - Física Moderna e Contemporânea

É a Física desde o início do Séc. XX, compreendendo conceitos de mecânica quântica, física estatística, relatividade e aplicações. Sugere-se a utilização de laboratório.

E - Disciplinas Complementares

O núcleo comum precisa ainda de um grupo de disciplinas complementares que amplie a educação do formando. Estas disciplinas abrangeriam outras ciências naturais, tais como Química ou Biologia e também as ciências humanas, contemplando questões como Ética, Filosofia e História da Ciência, Gerenciamento e Política Científica, etc.

4.2 MÓDULOS SEQUENCIAIS

Estes módulos, definidores de ênfase, são:

Físico-pesquisador - O conteúdo curricular da formação do Físico-Pesquisador (Bacharelado em Física) deve ser complementado por sequenciais em Matemática, Física Teórica e Experimental avançados. Esses sequenciais devem apresentar uma estrutura coesa e desejável integração com a escola de pós-graduação.

Físico-educador - No caso desta modalidade, os sequenciais estarão voltados para o ensino da Física e deverão ser acordados com os profissionais da área de educação quando pertinente. Esses sequenciais poderão ser distintos para, por exemplo, (i) instrumentalização de professores de Ciências do ensino fundamental; (ii) aperfeiçoamento de professores de Física do ensino médio; (iii) produção de material instrucional; (iv) capacitação de professores para as séries iniciais do ensino fundamental. Para a licenciatura em Física serão incluídos no conjunto dos conteúdos profissionais, os conteúdos da Educação Básica, consideradas as Diretrizes Curriculares Nacionais para a

Formação de Professores em nível superior, bem como as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica e para o Ensino Médio.

Físico-tecnólogo - O conteúdo curricular que completará a formação desse profissional será definido pela opção particular feita pelo estudante e também pelo mercado de trabalho no qual ele deseja se inserir, dentro do elenco de possibilidades oferecidas pela IES. A cada escolha corresponderá um conjunto de seqüenciais diferenciado.

Físico-interdisciplinar. Esta categoria abrangerá tanto o Bacharelado como a Licenciatura em Física e Associada. Por Associada, entende-se a área (Matemática, Química, Biologia, Engenharia, etc) na qual os Físicos possam atuar de forma conjunta e harmônica com especialistas dessa área. Desta forma, poder-se-á ter, por exemplo, o Bacharel em Física e Química, ou Licenciado em Física e Biologia, ou Física e Comunicação.

Para a definição dos seqüenciais nessa modalidade haverá necessidade de aprovação, pelas comissões de graduação da Física e da unidades de ensino da(s) Área(s) Associada(s), de conjuntos específicos de seqüenciais.

4.3 ESTRUTURA MODULAR DOS CURSOS

A existência de um núcleo comum e dos seqüenciais já define *per si* uma estrutura modular para os cursos.

Alguns destes cursos poderão ter seu diploma fornecido através da obtenção de um conjunto adequado de certificados de conclusão de distintos seqüenciais. Isto significa uma simplificação no processo de transferências. Os cursos seqüenciais não precisam ser concluídos todos na mesma IES, podendo ser realizados em diversas IES e agrupados na forma de um diploma.

O diploma seria expedido pela IES onde o aluno integralizasse o currículo pleno.

Os módulos seqüenciais poderão ser estruturados através de sub-módulos, a fim de facilitar a educação continuada. A conclusão destes sub-módulos dará direito à obtenção de um Certificado de Conclusão.

4.4 ESTÁGIOS E ATIVIDADES COMPLEMENTARES

Os estágios realizados em instituições de pesquisa, universidades, indústrias, empresas ou escolas devem ser estimulados na confecção dos currículos plenos pelas IES.

Todas as modalidades de graduação em Física devem buscar incluir em seu currículo pleno uma monografia de fim de curso, associada ou não a estes estágios. Esta monografia deve apresentar a aplicação de procedimentos científicos na análise de um problema específico.

PROJETO DE RESOLUÇÃO , de de de

Estabelece as Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física.

O Presidente Câmara de Educação Superior, no uso de suas atribuições legais e tendo em vista o disposto na Lei 9.131, de 25 de novembro de 1995, e ainda o Parecer CNE/CES , homologado pelo Senhor Ministro de Estado da Educação em ,

RESOLVE:

Art. 1º. As Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Física, integrantes do Parecer , deverão orientar a formulação do projeto pedagógico do referido curso.

Art. 2º. O projeto pedagógico de formação profissional a ser formulado pelo curso de Física deverá explicitar:

- a) o perfil dos formandos nas modalidades bacharelado e licenciatura;
- b) as competências e habilidades – gerais e específicas a serem desenvolvidas;
- c) a estrutura do curso;
- d) os conteúdos básicos e complementares e respectivos núcleos;
- e) os conteúdos definidos para a Educação Básica, no caso das licenciaturas;
- f) o formato dos estágios;
- g) as características das atividades complementares;
- h) as formas de avaliação.

Art. 3º. A carga horária dos cursos de Física deverá obedecer ao disposto na Resolução que normatiza a oferta dessa modalidade e a carga horária da licenciatura deverá cumprir o estabelecido na Resolução CNE/CP , integrante do Parecer CNE/CP .

Art. 4º. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

Presidente da Câmara de Educação Superior

ANEXO 2 - ARTIGOS

Dosimetria em braquiterapia ocular com placa ROPES contendo sementes de iodo-125 e paládio-103

Dosimetry on Ocular Brachytherapy with ROPES Plaque with Iodine-125 and Palladium-103 seeds

Arnaldo P. Mourão^{1,2} e Tarcísio P. R. Campos²

¹Núcleo de Engenharia Hospitalar do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG) – Belo Horizonte (MG), Brasil

²Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte MG, Brasil

Resumo

A radioterapia é uma alternativa à enucleação. No entanto, a irradiação da região ocular pode gerar efeitos deletérios, devido às altas doses, principalmente no cristalino, retina e estruturas ósseas em fase de crescimento. A braquiterapia quando comparada à teleterapia permite reduzir consideravelmente as doses nos tecidos adjacentes ao tumor reduzindo os efeitos colaterais. Um modelo computacional da região ocular foi desenvolvido com o objetivo de simular a irradiação ocular com a placa oftalmológica ROPES posicionada junto à superfície da esclera, carregada com sementes de iodo-125 e paládio-103. As simulações foram realizadas utilizando o código Monte Carlo MCNP5. Estas simulações permitiram observar a distribuição espacial da dose absorvida no volume irradiado. Os resultados obtidos foram normalizados em 100% para a dose máxima que ocorre na base do tumor para cada uma das fontes utilizadas. A dose máxima foi encontrada no interior do vítreo e o presente modelo apresenta um avanço na simulação e predição da dose absorvida em braquiterapia ocular.

Palavras-chave: braquiterapia, braquiterapia ocular, placa oftalmológica, código Monte Carlo.

Abstract

Radiotherapy is an alternative to ocular enucleation. However, the irradiation of ocular region can bring deleterious effects due to the high doses, mainly in the lens, retina and in the bone structures in growth phase. Brachytherapy instead of teletherapy looks for departing absorbed doses in tumor minimizing doses in the lens and the adjacent tissues of the eyeball (orbital region), avoiding deleterious effects. Thus, a three-dimensional computational model of ocular area was developed to simulate orbital irradiation with ROPES ophthalmologic plaque placed on the sclera surface filled to ten iodine-125 seeds, and palladium-103 seeds. Simulations are performed on the MCNP5 code. The computational simulation allows evaluating how the dose rates are spatially distributed in the orbital volume. The results are normalized to 100% at the maximum dose on the tumor base, and by the applied source activity. The maximum dose is found onto the eyeball, in the vitreous. The present model represents an advance in simulating and predicting absorbed dose on ocular brachytherapy.

Keywords: brachytherapy, ocular brachytherapy, ocular plaque, Monte Carlo code.

Introdução

O melanoma ocular e o retinoblastoma são os tumores oculares mais comumente encontrados em pacientes adultos e pediátricos, respectivamente. A enucleação é um tratamento tradicional que consiste na remoção total do bulbo ocular. A radioterapia ocular é um método alternativo que possibilita a preservação do bulbo ocular. A teleterapia utiliza radiação de fótons e de prótons ao passo que braquiterapia utiliza placas com diferentes tipos de radioisótopos encapsulados e apresenta

menores efeitos colaterais que aqueles apresentados pela teleterapia¹.

A braquiterapia com a utilização de placas oftalmológicas é uma boa alternativa para o controle e tratamento de tumores ocorrentes na região da úvea e retina, pois permite o posicionamento do material radioativo junto à superfície da esclera. A placa é posicionada e fixada sobre a região tumoral durante um período de tempo que permita depositar uma dose suficiente para o controle tumoral. Comparando a braquiterapia com placas oftalmológicas com a teleterapia, a braquiterapia permite liberar

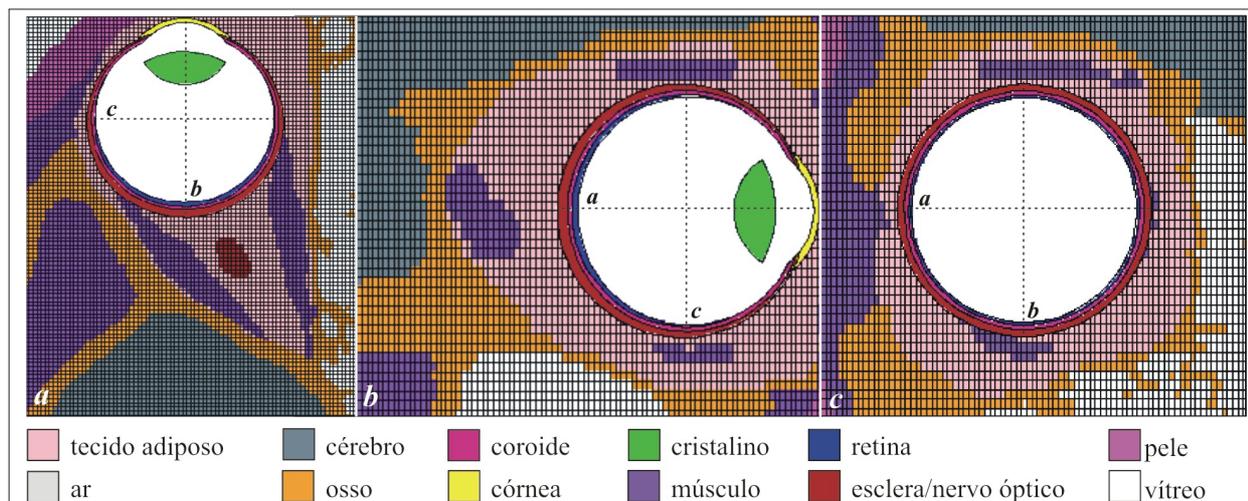


Figura 1. Imagens de corte do modelo acoplado do bulbo ocular geradas a partir da interface gráfica do MCNP.5v. (a) corte axial, (b) corte sagital e (c) corte coronal.

altas doses de radiação no tumor preservando os tecidos sadios das estruturas próximas^{2,3}.

O objetivo deste artigo é apresentar um novo modelo computacional da região ocular e simular o posicionamento de uma placa oftalmológica contendo sementes de ¹²⁵I e ¹⁰³Pd. Uma simulação através do código Monte Carlo, utilizando um modelo de voxel da região ocular, permite observar a distribuição da dose absorvida no interior do bulbo ocular, vítreo e cristalino, e nas estruturas externas, ossos, nervo óptico e cérebro, devido aos fótons gama e X.^{4,5}

Materiais e métodos

O trabalho consiste de um modelo computacional da região ocular no qual foi incorporada uma placa oftalmológica modelo ROPES contendo sementes de iodo-125 e sementes de paládio-103 posicionada na região medial do bulbo ocular. O MCNP5 foi utilizado para simular os dois processos de irradiação e para gerar a distribuição espacial da dose característica de cada um dos radionuclídeos utilizados.

Modelo ocular computacional

O modelo ocular foi desenvolvido através do acoplamento de três modelos distintos: um modelo analítico e dois modelos de voxels. O primeiro modelo de voxel definiu toda a estrutura da região ocular sendo obtido através de imagens tomográficas do *human visible man project*⁶. Um conjunto de 43 cortes axiais do crânio do homem foi selecionado de maneira a conter toda a região de interesse. Das imagens de corte do crânio foi retirada somente a região de interesse que permitiu definir um volume de 41 x 50 x 38,7 mm³ contendo 82 x 100 x 43 voxels.

Um modelo analítico foi feito para definir as estruturas internas do bulbo ocular. Como o bulbo ocular possui

estruturas muito delgadas o tamanho do voxel definido através do primeiro modelo era demasiadamente grande para definir as membranas do bulbo ocular e por essa razão, as estruturas internas do bulbo ocular foram redefinidas por esse segundo modelo (esclera, coróide, retina, cristalino, vítreo e córnea).

Os parâmetros geométricos aplicados para a construção dos volumes foram obtidos através de medidas das estruturas anatômicas de um homem adulto encontradas na literatura, conjuntamente com medições em imagens das estruturas oculares^{6,7}. A estrutura externa da superfície da esclera apresenta valores máximos em x, y e z de 24,3, 23,6 e 24,3 mm, respectivamente.

A região do vítreo foi definida em um modelo de voxels com o objetivo de permitir a medição da distribuição da dose no interior do bulbo ocular. Cada célula (voxel) no interior do vítreo possui as dimensões de 0,5 x 0,5 x 0,5 mm³. O modelo final da região ocular foi obtido pelo acoplamento dos três modelos e a Figura 1 apresenta três imagens de corte geradas a partir desse modelo acoplado através da interface gráfica do MCNP5^{4,8}.

A placa ROPES

A placa oftalmológica de braquiterapia tem o formato de uma calota esférica com a superfície côncava definida por um raio de 12,15 mm, correspondente ao raio médio que define o volume do bulbo ocular humano. Possui cavidades para a acomodação de sementes contendo material radioativo. A placa modelo ROPES utilizada nas simulações possui 15 mm de diâmetro e acomoda até 10 sementes, sendo posicionada junto à superfície da esclera sobre a região do tecido tumoral^{3,4,7}.

A placa foi carregada duas vezes com dois tipos de sementes, contendo iodo-125 ou paládio-103 e incorporada ao modelo computacional na região medial do bulbo ocular permitindo a realização de simulações com dois radionuclídeos distintos.

O iodo-125 é um radioisótopo emissor de fótons com energia entre 27-35 keV e meia-vida de 59,408 dias e o paládio-103 decai pela emissão de fótons com energia entre 20-23 keV e período de meia-vida de 16,991 dias, sendo que ambos decaem por captura eletrônica. Estes radionuclídeos são disponibilizados na forma de sementes cilíndricas medindo 4,5mmx0,8mm, sendo considerados radionuclídeos ótimos para o tratamento de tumores do bulbo ocular^{5,9,10}.

A Figura 2 apresenta a imagem da placa oftalmológica ROPES de 15 mm de diâmetro utilizada nas simulações. Esta placa possui uma cobertura externa de aço inox que tem por objetivo reter as sementes nas cavidades e absorver a parcela do feixe que se propaga em direção contrária à do tumor.

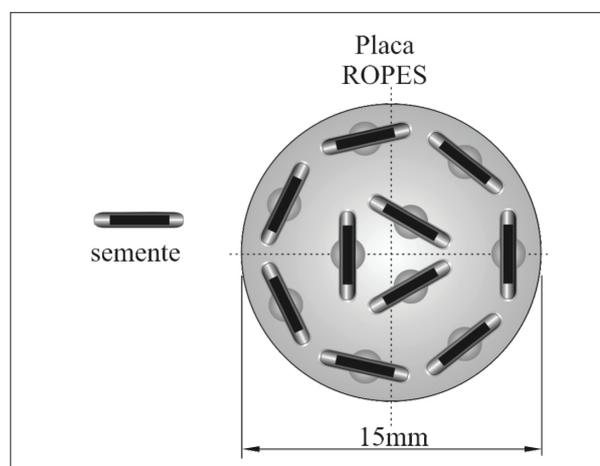


Figura 2. Imagem da placa oftalmológica ROPES apresentando a distribuição espacial das sementes radioativas.

Código MCNP

O MCNP é um código utilizado para simular o transporte de partículas como nêutrons, fótons e elétrons e suas interações com o meio, possibilitando observar inclusive a distribuição de dose em determinadas estruturas. Este código foi inicialmente desenvolvido para a observação do transporte de nêutrons e posteriormente estendido para incluir outras partículas, tais como os fótons e os elétrons. O código MCNP trabalha com uma configuração tridimensional utilizando uma tabela contendo as características de cada um dos tecidos e materiais definidos através de células geométricas e tem sido extensivamente utilizado para validar o uso de braquiterapia com radioisótopos emissores de fótons⁸.

Resultados

A placa ROPES foi incorporada ao modelo da região ocular no MCNP5 para a realização das simulações computacionais. Os resultados obtidos através do MCNP5 foram introduzidos no SISCODES¹¹ e transformados em uma matriz de distribuição de dose. As seções das matrizes foram plotadas através de uma rotina que permite apresentar a distribuição espacial da dose absorvida. A Figura 3 apresenta nas imagens a, b e c três cortes axiais com a distribuição da dose absorvida gerada pela irradiação com o iodo-125 e nas imagens d, e e f a distribuição de dose pela irradiação com o paládio-103.

Nestas imagens os dados da distribuição da dose absorvida interna ao bulbo ocular foram acoplados aos dados da distribuição da dose absorvida da região externa, sendo que as simulações foram realizadas separadamente no MCNP5. A legenda de cores indica o percentual das faixas de dose tanto interna como externa ao bulbo ocular.

Para o iodo-125 o valor máximo da taxa de dose absorvida na região interna ao bulbo ocular é de $1,42 \cdot 10^{-4}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹. Este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida no interior do bulbo ocular. O valor máximo da taxa de dose absorvida na região externa ao

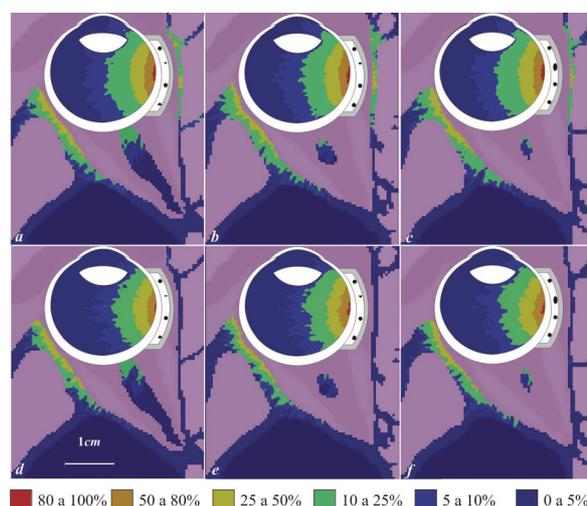


Figure 3. Distribuição da dose absorvida devido à placa ROPES carregada com dez sementes. (a) z = 1mm ¹²⁵I, (b) z = 2.7mm ¹²⁵I, (c) z = 4.5mm ¹²⁵I, (d) z = 1mm ¹⁰³Pd, (e) z = 2.7mm ¹⁰³Pd, (f) z = 4.5mm ¹⁰³Pd.

bulbo ocular é de $2,21 \cdot 10^{-5}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹ e este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida na região externa ao bulbo ocular.

Para o paládio-103 o valor máximo da taxa de dose absorvida na região interna ao bulbo ocular é de $2,32 \cdot 10^{-4}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹. Este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida no interior do bulbo ocular. O valor máximo da taxa de dose absorvida na região externa ao bulbo ocular é de $1,82 \cdot 10^{-5}$ Gy.h⁻¹.MBq⁻¹ e este valor deve ser considerado como referência (100%) para a observação da distribuição espacial da dose absorvida na região externa ao bulbo ocular.

A Figura 4 apresenta um gráfico normalizado da variação da dose com a profundidade no interior do vítreo para a irradiação com o ¹²⁵I e o ¹⁰³Pd ao longo de um eixo que parte

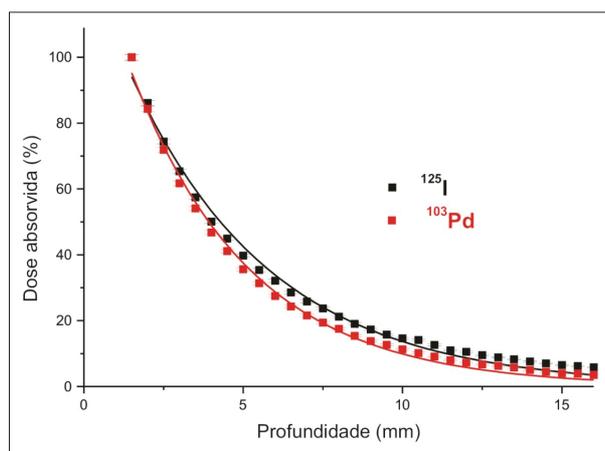


Figura 4. Variação da dose absorvida no interior do vítreo.

Tabela 1. Dose absorvida para dose terapêutica de 80Gy no ápice do tumor

Local	Dose (Gy)		Dose (Gy)	
	Ápice 3mm	Ápice 5mm	Ápice 3mm	Ápice 5mm
	¹²⁵ I	¹⁰³ Pd	¹²⁵ I	¹⁰³ Pd
Vítreo	122,40	129,66	201,31	224,72
Reg. externa	19,03	10,21	31,31	17,69
Cristalino	70,11	51,70	115,31	89,60

do centro da placa ao centro do bulbo ocular. O gráfico foi obtido a partir das simulações no MCNP5 e levam em consideração a dose absorvida em cada ponto considerando a dose máxima a 1,5 mm de profundidade, que corresponde à espessura da esclera, coróide e retina nesta região.

Discussão e conclusões

O desenvolvimento de um modelo acoplado de voxels: modelo de voxels interno e o modelo de voxels externo, com o modelo analítico das estruturas do bulbo ocular, demonstra um avanço nos protocolos de dosimetria para radioterapia de tumores do bulbo ocular. O presente modelo será utilizado para a investigação em simulações de outros tipos de dispositivos radioativos.

Este artigo apresenta a utilização de uma placa comercial com o carregamento de dois tipos de sementes

radioativas. As simulações permitem avaliar a distribuição espacial da dose absorvida em função da atividade em MBq e do tempo de exposição. A escolha do radioisótopo a ser utilizado depende da base do tumor e da dose terapêutica a ser definida para o ápice do tumor. A tabela 1 apresenta os resultados da simulação considerando o ápice do tumor em 3 e 5 mm de profundidade e uma terapêutica de 80Gy no ápice do tumor¹².

A penetração do feixe do ¹⁰³Pd é menor que a do ¹²⁵I, por esta razão, apresenta menor dose absorvida no cristalino. De maneira inversa, a dose absorvida na entrada do vítreo, junto à retina, geradas pelo paládio-103 são maiores para uma mesma dose terapêutica.

Referências

1. Sauerwein W, Gerard JP. Radiothérapie des tumeurs intraoculaires. *Cancer Radiother.* 1999;3 Suppl 1:102-6.
2. Desjardins L, Coutourier J, Doz F, Gautiers-Vilars M, Sastre X. Tumeurs de la retina. *Ophtalmologie.* 2003; 1:18-37.
3. Granero D, Perez-Calatayud J, Ballester F, Casal E, De Frutos JM. Dosimetric study of the 15 mm ROPES eye plaque. *Med Phys.* 2004;31(12):3330-6.
4. Mourão AP, Campos TPR. Radiodosimetric considerations on ocular brachytherapy with iodine-125 and ruthenium/rhodium-106. *Radiologia Brasileira* 2009;42(1):43-8.
5. Melhus CS, Rivard M. COMS eye plaque brachytherapy dosimetry simulations for ¹⁰³Pd, ¹²⁵I and ¹³¹Cs. *Med Phys.* 2008;35(7):3364-71.
6. The visible man project [homepage da Internet]. National Library of Medicine. [citado 6 out 2005]. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html.
7. Dantas AM. Anatomia funcional do olho e seus anexos. Rio de Janeiro: Revinter; 2002.
8. X-5 Monte Carlo Team. MCNP: A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, MCNP Overview and Theory. Los Alamos National Laboratory Report 2003.
9. BEBIG. I-125 ophthalmic seeds. Berlin: Eckert & Ziegler; 2004.
10. The Berkeley Laboratory Isotopes Project's [homepage da Internet]. Berkeley National Laboratory [citado 18 dez 2007]. Available from: <http://ie.lbl.gov/education/isotopes.htm>.
11. Trindade BM. Desenvolvimento de Sistema Computacional para Dosimetria em Radioterapia por Nêutrons e Fótons Baseado em Método Estocástico - SisCodes [Dissertação]. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte; 2004.
12. Nag S, Quivey JM, Earle JD, Followill D, Fontanesi J, Finger PT. The American brachytherapy society recommendations for brachytherapy of uveal melanomas. *Int J Radiation Oncology Biol Phys.* 2003;56(2):544-55.

Sistema computacional para dosimetria de nêutrons e fótons baseado em métodos estocásticos aplicado a radioterapia e radiologia*

Stochastic method-based computational system for neutron/photon dosimetry applied to radiotherapy and radiology

Bruno Machado Trindade¹, Tarcisio Passos Ribeiro de Campos²

Resumo **Objetivo:** Este artigo mostra um procedimento de conversão de imagens de tomografia computadorizada ou de ressonância magnética em modelo de voxels tridimensional para fim de dosimetria. Este modelo é uma representação personalizada do paciente que pode ser usado na simulação, via código MCNP (Monte Carlo N-Particle), de transporte de partículas nucleares, reproduzindo o processo estocástico de interação de partículas nucleares com os tecidos humanos. **Materiais e Métodos:** O sistema computacional desenvolvido, denominado SISCODES, é uma ferramenta para planejamento computacional tridimensional de tratamentos radioterápicos ou procedimentos radiológicos. Partindo de imagens tomográficas do paciente, o plano de tratamento é modelado e simulado. São então mostradas as doses absorvidas, por meio de curvas de isodoses superpostas ao modelo. O SISCODES acopla o modelo tridimensional ao código MCNP5, que simula o protocolo de exposição à radiação ionizante. **Resultados:** O SISCODES vem sendo utilizado no grupo de pesquisa NRI/CNPq na criação de modelos de voxels antropomórficos e antropométricos que são acoplados ao código MCNP para modelar braquiterapias e teleterapias aplicadas a tumores em pulmões, pelve, coluna, cabeça, pescoço, e outros. Os módulos atualmente desenvolvidos no SISCODES são apresentados junto com casos exemplos de planejamento radioterápico. **Conclusão:** O SISCODES provê de maneira rápida a criação de modelos de voxels personalizados de qualquer paciente que podem ser usados em simulações por códigos estocásticos tipo MCNP. A combinação da simulação via MCNP com um modelo personalizado do paciente traz grandes melhorias na dosimetria de tratamentos radioterápicos.

Unitermos: SISCODES; Radioterapia; Dosimetria; Dose absorvida; Teleterapia; Braquiterapia.

Abstract **Objective:** The present paper describes a procedure for conversion of computed tomography or magnetic resonance images into a three-dimensional voxel model for dosimetry purposes. Such model is a personalized representation of the patient that can be utilized in nuclear particle transport simulations by means of the MCNP (Monte Carlo N-Particle) code, reproducing the stochastic process of nuclear particles interaction with human tissues. **Materials and Methods:** The developed computational system – SISCODES – is a tool designed for 3D planning of radiotherapy or radiological procedures. Based on tomographic images of the patient, the treatment plan is modeled and simulated. Then, the absorbed doses are shown by means of isodose curves superimposed on the model. The SISCODES couples the three-dimensional model with the MCNP5 code, simulating the protocol of exposure to ionizing radiation. **Results:** The SISCODES has been utilized by the NRI/CNPq in the creation of anthropomorphic and anthropometric voxel models which are coupled with the MCNP code for modeling brachytherapy and teletherapy applied to lung, pelvis, spine, head and neck tumors, among others. The current SISCODES modules are presented together with examples of cases of radiotherapy planning. **Conclusion:** The SISCODES provides a fast method to create personalized voxel models of any patient which can be used in stochastic simulations. The combination of the MCNP simulation with a personalized model of the patient increases the dosimetry accuracy in radiotherapy.

Keywords: SISCODES; Radiotherapy; Dosimetry; Absorbed dose; Teletherapy; Brachytherapy.

Trindade BM, Campos TPR. Sistema computacional para dosimetria de nêutrons e fótons baseado em métodos estocásticos aplicado a radioterapia e radiologia. *Radiol Bras.* 2011 Mar/Abr;44(2):109–116.

* Trabalho realizado na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

1. Mestre, Doutorando em Ciências e Técnicas Nucleares – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Professor do Centro Universitário Una, Belo Horizonte, MG, Brasil.

2. Doutor em Engenharia Nuclear, Professor Associado III do Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares da

Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço para correspondência: Dr. Tarcisio Passos Ribeiro de Campos. Avenida Antonio Carlos, 6627, prédio PCA1, sala 2285, Campus Pampulha. Belo Horizonte, MG, Brasil, 31270-901. E-mail: campos@nuclear.ufmg.br

Recebido para publicação em 29/9/2010. Aceito, após revisão, em 17/2/2011.

INTRODUÇÃO

Radioterapia representa uma importante técnica de tratamento oncológico⁽¹⁾. Nesta modalidade de tratamento, radiação ionizante é diretamente aplicada ao tumor de

modo a, ao menos, retardar seu crescimento. Praticamente 50% dos pacientes com câncer serão submetidos à radioterapia, que pode ser usada como único tratamento ou ser associada a outras modalidades.

O método de Monte Carlo é aplicado para reproduzir um processo estatístico similar à interação de partículas nucleares com os tecidos humanos. Esta técnica é particularmente interessante na resolução de problemas complexos que não podem ser modelados por métodos computacionais determinísticos. No transporte de partículas nucleares, a técnica de Monte Carlo acompanha cada uma das muitas partículas primárias ou secundárias, geradas por uma fonte radioativa, durante sua vida até sua morte em algum evento terminal, tal como: absorção, espalhamento, fuga do sistema, entre outros⁽²⁾. A simulação tridimensional do transporte de partículas nucleares é uma importante ferramenta para a melhoria da qualidade dos procedimentos radioterápicos em oncologia⁽³⁾. Este tipo de planejamento computacional foi criado visando a eliminar as deficiências do planejamento 2D⁽⁴⁾. Kijewski et al.⁽⁵⁾ demonstraram que os modelos aplicados nessas simulações devem ser personalizados para que seja obtido um protocolo de tratamento que produza um tratamento efetivo, que gere no tumor uma dose absorvida tal que o controle do crescimento do tumor seja alcançado e minimize ao máximo as doses nos tecidos adjacentes saudáveis.

Este artigo mostra uma técnica de conversão de imagens de tomografia computadorizada (TC) ou de ressonância magnética (RM) em modelo de voxels tridimensional para fins de dosimetria. Voxels são como os pixels (elementos de imagem) num espaço tridimensional. Este modelo pode ser uma representação personalizada do paciente, que é empregada na simulação do fenômeno de transporte de partículas, por exemplo com o código MCNP (Monte Carlo N-Particle). O SISCODES (sistema computacional para dosimetria por nêutrons e fótons baseado em métodos estocásticos) é o sistema computacional que implementa esta técnica de geração do modelo de voxels e efetua cálculos dosimétricos. Desenvolvido para Linux em C++, PHP, Python e SQL, o SISCODES teve seu registro depositado no Instituto Nacional

de Propriedade Intelectual (INPI), mediado pela Comissão de Inovação e Transferência Tecnológica (CITT) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Este sistema vem sendo utilizado no grupo de pesquisa Núcleo de Radiações Ionizantes/Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (NRI/CNPq)⁽⁶⁾ para criar modelos de voxels antropomórficos e antropométricos que podem ser inseridos no código MCNP para modelagem de braquiterapias e teleterapias, aplicadas a tumores de pulmão, pelve, coluna, cabeça, pescoço, dentre outros^(7,8). O SISCODES disponibiliza um modo rápido de produzir modelos de voxels personalizados de qualquer paciente. Os módulos já desenvolvidos do SISCODES são mostrados junto com casos exemplos de planejamento radioterápico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema computacional desenvolvido, chamado de SISCODES, é uma ferramenta para planejamento computacional tridimensional de tratamentos radioterápicos ou procedimentos radiológicos, fornecendo interfaces amigáveis que permitem que profissionais da área de saúde operem o sistema. Partindo de imagens tomográficas do paciente, o plano de tratamento é modelado e simulado. O SISCODES então mostra as doses absorvidas, por meio de curvas de isodoses superpostas ao modelo.

O SISCODES acopla o modelo tridimensional ao código MCNP5, que simula o protocolo de exposição à radiação ionizante. O sistema possui arquitetura cliente/servidor, operando em três ambientes distintos: estação de trabalho; Internet; servidor. O servidor pode ser um supercomputador ou um *cluster* de microcomputadores e é usado para os cálculos estocásticos e gerência e armazenamento do banco de dados de informações nucleares. A Internet permite que o servidor seja acessado por intermédio das estações de trabalho de, virtualmente, qualquer lugar do mundo. E a arquitetura cliente/servidor permite que o *hardware* necessário seja compartilhado entre vários grupos de pesquisa, dividindo custos e tornando o sistema ainda mais acessível.

O SISCODES é desenvolvido em módulos, ou subsistemas, com cada módulo operando independentemente. A arquitetura do sistema é mostrada na Figura 1. O SISCODES vem sendo usado em pesquisas de planejamento radioterápico desde 2003.

Para desenvolver o modelo do paciente utilizado na simulação são aplicados dois métodos distintos. Primeiro, um fantoma analítico com a biometria do paciente deve ser gerado por um código computacional acoplado ao SISCODES. Este código usa as medidas anatômicas do paciente para escalonar um fantoma padrão, de modo que este se adapte à biometria do paciente⁽⁹⁾.

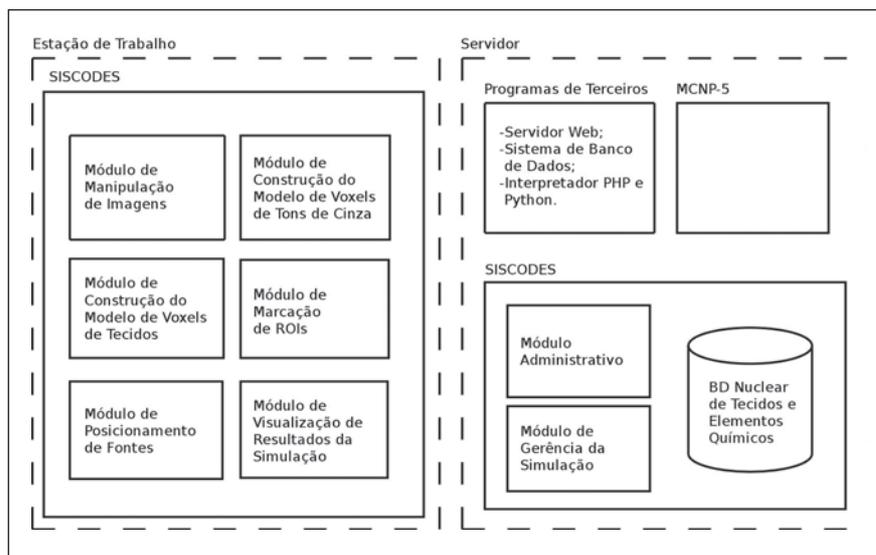


Figura 1. Arquitetura simplificada do SISCODES mostrando quais módulos executam no servidor e quais executam diretamente na estação de trabalho.

Uma interface do SISCODES auxilia o usuário na seleção e entrada dos dados do paciente. O modelo analítico gerado é uma representação anatômica de corpo inteiro do paciente. Para a região de interesse, um modelo tridimensional de voxels é gerado. Este modelo é uma matriz de três dimensões, na qual cada elemento representa um tecido, equivalente ao tecido biológico correspondente. Este modelo representa fielmente a anatomia do paciente na região de interesse. A construção do modelo de voxels do paciente é feita em quatro etapas:

1. Digitalização de imagens tomográficas: imagens tomográficas em formato DICOM de TC ou RM são selecionadas, ou se necessário, digitalizadas de imagens radiológicas.

2. Tratamento das imagens: as imagens selecionadas são tratadas e recortadas para que se limitem à região de interesse. O módulo do SISCODES chamado de “Trata Imagem” é responsável por essa etapa.

3. Conversão da seleção de imagens do paciente numa matriz tridimensional baseada na escala de cinza das imagens: um modelo de voxels baseado nos tons de cinza das imagens do paciente é automaticamente gerado. O módulo do SISCODES chamado de “Gera Modelo de Cinza” é o responsável por gerar este modelo de voxels de tons de cinza, no qual é atribuído a cada elemento da matriz um valor entre 0 e 255 baseado no tom de cinza da imagem.

4. Conversão do modelo de tons de cinza no modelo de voxels baseado em tecidos: o módulo do SISCODES chamado de “Gera Modelo de Tecidos” permite ao

usuário fazer a conversão do modelo obtido no passo 3 (modelo de voxel de tons de cinza) num modelo de voxels de tecidos, no qual cada voxel armazena a informação do tecido do paciente.

O SISCODES implementa e dá suporte a um banco de dados de informações nucleares de tecidos, que opera de modo independente da geração do modelo de voxels, embora seja utilizado por este. O módulo do SISCODES chamado de “Administrativo” permite o gerenciamento da informação de cada tecido, como a cor de representação, a composição química elementar, o kerma de fótons e nêutrons, o valor da eficiência biológica relativa (RBE), e outros fatores de ponderação, assim como de um *link* para a biblioteca nuclear de fótons e nêutrons Evaluated Nuclear Data File Bank – Edition 7 (ENDFB-7), utilizada no MCNP.

O módulo do SISCODES “Gera ROIs” permite a seleção dos voxels do modelo nos quais uma informação requerida (fluência, dose ou taxa de dose) é de interesse na simulação. Este módulo também permite a conversão dos arquivos no padrão do SISCODES para o formato do arquivo de entrada do MCNP. O modelo de voxels e o fantoma analítico devem ser unidos para que se efetue a completa simulação no MCNP. Após o término da simulação, o usuário executa o “Gera Saída”, o módulo de saída do SISCODES. Este módulo converte a fluência de nêutrons ou fótons em dose usando os coeficientes de kerma versus fluência e mostra as curvas de isodoses, plotadas sobre o modelo de voxels do

paciente. Um sumário do processo para a simulação de um planejamento radioterápico está ilustrado na Figura 2.

1. Módulos básicos do SISCODES

Módulo de manipulação de imagens

– Neste módulo o usuário carrega as imagens tomográficas do paciente (TC ou RM) e, manipulando estas imagens, constrói um modelo de camadas, que nada mais é do que uma coleção de imagens agrupadas e cuja resolução foi padronizada. As imagens devem ser obtidas numa resolução tal que possa ser escalonada, reproduza fielmente a tomografia, e que este seja visível para o usuário. A resolução da imagem pode estar em torno de 100 ou 200 DPIs (pontos por polegada).

Módulo de geração do modelo de voxels de tons de cinza – Neste módulo o usuário carrega o modelo de camadas, define o tamanho de cada voxel, define o número de planos do modelo de voxels e, ajustando as imagens do modelo de camadas e a área correspondente ao modelo, constrói um modelo de voxels em tons de cinza.

As imagens do modelo de camadas podem ter sido digitalizadas em cores ou em escala de cinza. Se uma imagem colorida for usada, o tom de cinza armazenado num voxel será a média aritmética dos canais de cor (RGB – vermelho, verde, azul) dos pixels escolhidos para representar aquele voxel. Estudos foram executados para tentar identificar o algoritmo que escolha o pixel que melhor represente um determinado voxel. Entretanto, como o modelo de

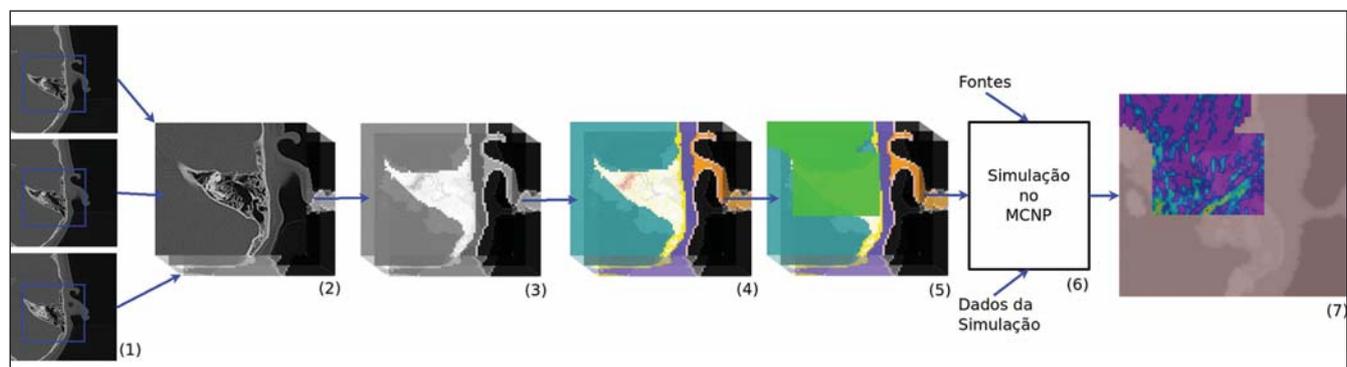


Figura 2. Processo simplificado da construção do modelo de voxels e simulação do tratamento radioterápico no SISCODES. Em resumo: imagens tomográficas são digitalizadas (1), convertidas em um modelo de camadas (2), convertidas em um modelo de voxels de tons de cinza (3) e em um modelo de voxels de tecidos (4). As ROIs são marcadas no modelo (5). Este modelo é combinado com o fantoma paramétrico e com as informações das fontes radioativas. O arquivo resultante é simulado no MCNP (6). Após o término da simulação, o usuário pode visualizar as curvas de isodoses da distribuição espacial da dose absorvida (7).

tons de cinza é usando apenas como referência para a construção do modelo de tecidos, optou-se por usar o tom de cinza do pixel central da área de imagem que representa o voxel, tornando o algoritmo de escolha computacionalmente eficiente.

Módulo de geração do modelo de voxels de tecidos – A interface que gera o modelo de voxels baseado em tecidos é mostrada na Figura 3A. O usuário carrega o modelo de tons de cinza gerado no módulo de geração do modelo de voxels de tons de cinza e aplica uma ferramenta de cor que altera individualmente cada voxel ou um conjunto deles, que pode ser selecionado pontualmente ou em grupos bi e tridimensionais. A seleção por grupos é feita pela semelhança de tons de cinza, cuja tolerância da variação pode ser ajustada. O usuário auxilia associando um tecido do banco de dados a cada voxel do modelo, identificando os órgãos e tecidos de interesse. O mesmo procedimento pode ser feito em modelos já construídos, de modo a alterar alguma parte do modelo.

Os tecidos são previamente registrados no banco de dados do SISCODES empregando-se o módulo administrativo. O voxel preenchido com um tecido recebe a cor associada a este tecido, permitindo ao usuário distinguir facilmente os voxels que já têm um tecido associado e os voxels ainda sem um tecido associado.

Módulo de seleção de ROIs – Este módulo funciona de maneira análoga ao módulo anterior, porém o usuário seleciona quais serão os voxels nos quais a fluência de nêutrons ou fótons será avaliada. Este passo é essencial, pois se a fluência for avaliada em todos os voxels do modelo o tempo de execução da simulação do planejamento radioterápico será inaceitável. Até o presente momento, com o uso deste módulo, o usuário pode gerar fragmentos do arquivo de entrada do MCNP, que representam o modelo de voxels, a composição química dos tecidos, as bibliotecas utilizadas e as solicitações de saída. Estes arquivos devem ser concatenados junto com o modelo analítico e as fontes e executados no MCNP. Após a execução, o SISCODES pode processar a saída gerada.

Módulo de gerenciamento – Este módulo, mostrado na Figura 3B, foi escrito em PHP (PHP Html Preprocessor) e deve ser

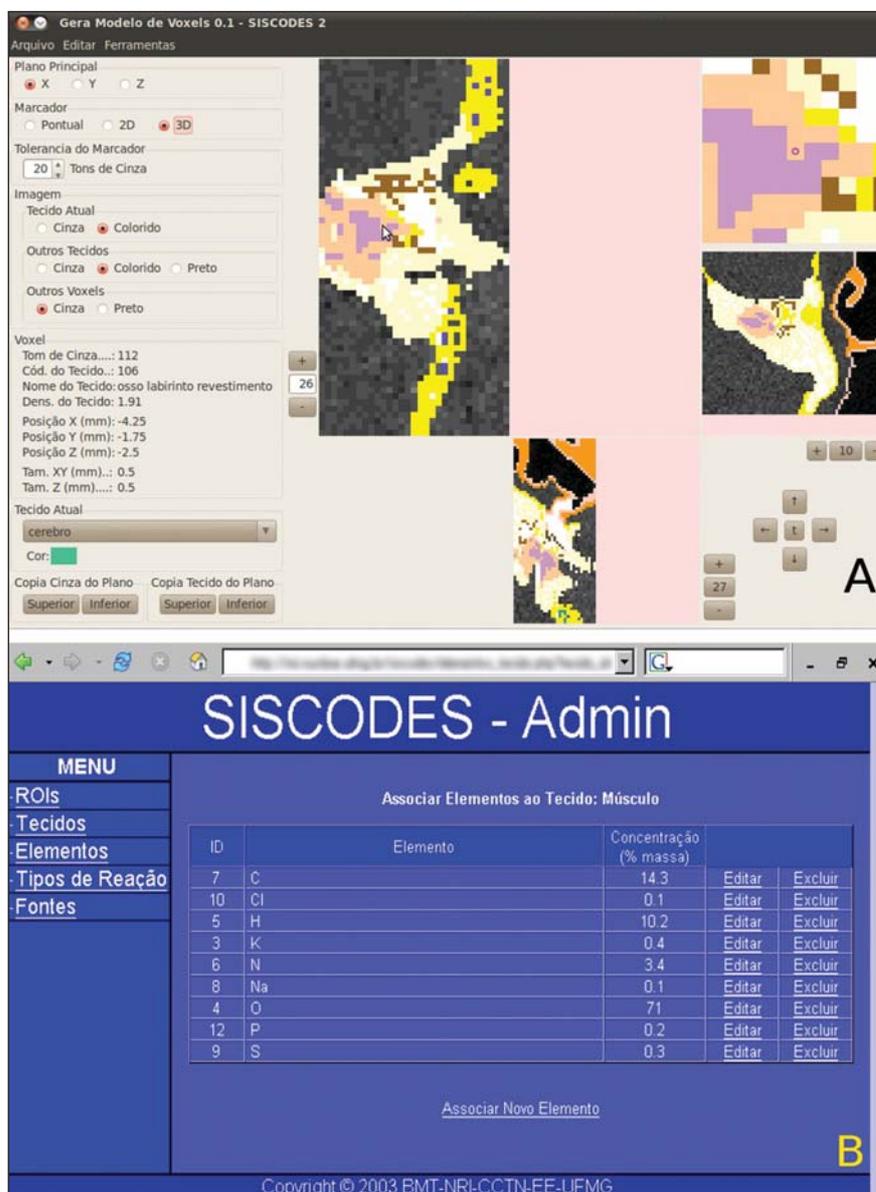


Figura 3. A: Interface do módulo de construção do modelo de voxels de tecidos mostrando a construção do modelo de voxels da região da orelha. **B:** Interface Web do módulo administrativo mostrando a página na qual é possível a edição da composição química dos tecidos e materiais.

acessado via um navegador de Internet. O usuário administrador pode incluir tecidos no banco de dados do SISCODES, junto com sua composição química e densidade de massa. O usuário administrador também pode incluir elementos químicos individuais no banco de dados do SISCODES. Cada elemento químico tem seus coeficientes de conversão de kerma para nêutrons e fótons cadastrados para um largo espectro de energia (0,0025 eV a 20 MeV). Podem também ser cadastrados coeficientes de RBE para reações nucleares específicas. Este módulo faz a interpolação dos coefi-

cientes de kerma de cada elemento químico, dividindo o espectro em intervalos pequenos e regulares. Para que isso seja feito, a equação mostrada adiante é aplicada. Usando os coeficientes de kerma dos elementos químicos e a composição elementar em peso dos tecidos, este módulo calcula o kerma de cada tecido ou órgão cadastrado, considerando o coeficiente de kerma do elemento ponderado pela porcentagem de massa deste elemento no tecido. Para facilitar o cálculo da dose, apenas a fluência é avaliada na simulação no MCNP; desse modo pode ser calculado rapidamente o

efeito de potencializadores de dose em função do tipo de partícula ou tipo de radiosensibilidade tecidual e da aplicação dos coeficientes de RBE, na dose aplicada.

$$C = Ca \left(\frac{E}{Ea} \right)^{\left(\frac{\log(Cp/Ca)}{\log(Ep/Ea)} \right)}$$

Esta equação é usada na interpolação dos coeficientes de kerma, onde: C – coeficiente de kerma a ser calculado; Ca – coeficiente de kerma anterior: o coeficiente conhecido de maior energia, imediatamente inferior ao que se quer calcular; Cp – coeficiente de kerma posterior: o coeficiente conhecido de menor energia, imediatamente posterior ao que se quer calcular; E – energia do coeficiente de kerma que se deseja calcular; Ea – energia do coeficiente de kerma anterior; Ep – energia do coeficiente de kerma posterior.

O SISCODES também permite o cadastro de fontes radioativas para braquiterapia ou teleterapia. O espectro radioativo de radionuclídeos ou de interações *Bremstrahlung* podem ser incluídas no banco de dados do SISCODES, podendo ser associados a uma fonte externa ou interna.

Módulo de visualização de saída – Este módulo, mostrado na Figura 4, lê o arquivo de saída gerado pelo MCNP, o

modelo de voxels de tecidos e o arquivo com as ROIs, e mostra as curvas de isodoses sobrepostas ao modelo de voxels. A fluência em cada voxel, obtida da simulação no MCNP, e os coeficientes de kerma são usados no cálculo da dose absorvida (ver item 3). Para permitir uma boa visualização das isodoses sobre o modelo de voxels, o modelo é ampliado usando-se uma interpolação bicúbica e as isodoses são calculadas sobre este novo modelo por meio de uma interpolação isotrópica. O usuário pode controlar o nível de transparência da representação das isodoses, selecionando aquela que permite a melhor visualização.

2. SISCODES – módulos avançados

Módulo de posicionamento de fontes – Este módulo permite ao usuário, por intermédio de uma interface gráfica, selecionar e posicionar as fontes radioativas usadas na simulação. Nesta interface, tanto as fontes para braquiterapia quanto as para teleterapia são posicionadas. A posição é dada por um ponto arbitrário no modelo (definido por valores nos eixos X, Y e Z) e por uma orientação também arbitrária (definido por ângulos alfa – XY e beta – XZ). Para fontes de teleterapia também é necessário que sejam informadas a distância da fonte ao ponto de referência e as dimensões da janela.

Módulo de gerência da simulação

Este módulo permite ao usuário montar o arquivo completo de entrada do MCNP e gerenciar a execução da simulação. O usuário seleciona os arquivos necessários para a simulação, criando um grupo. O módulo então monta o arquivo de entrada do MCNP, envia o arquivo para a simulação e recebe o resultado após execução.

3. Cálculo de dose no SISCODES

O SISCODES trabalha como uma interface para o código MCNP. O MCNP é um código nuclear baseado em processos estocásticos, no qual o trajeto de cada partícula radioativa gerada é rastreado, prevendo as interações desta com a matéria. O histórico de cada partícula é então memorizado. No SISCODES o modelo de voxels é convertido num arquivo de entrada do MCNP, que então simula a interação das partículas nucleares com os elementos químicos presentes nos tecidos associados a cada voxel.

O MCNP retorna para o SISCODES o número de partículas incidentes por unidade de área de cada voxel (fluência) normalizado pelo número de partículas emitidas pela fonte. A fluência gerada na simulação no MCNP é transformada em dose absorvida multiplicando-se a mesma pelos coeficientes de conversão fluência-kerma adequados, pela surgência da fonte (número de partículas emitidas por unidade de tempo) e pelo tempo de exposição. Assim, o SISCODES pode calcular a dose absorvida em cada voxel e, se necessário, aplicar a esta dose os coeficientes de RBE, obtendo uma dose biologicamente ponderada. O RBE é definido para cada tecido para cada reação nuclear e é cadastrado no banco de dados do SISCODES através do módulo administrativo.

O MCNP pode calcular diretamente a dose absorvida ou a taxa de dose e transferir estes valores para o SISCODES. Entretanto, o SISCODES trabalha com a fluência e converte esta para dose absorvida ou dose ponderada biologicamente, de acordo com o interesse do usuário. Isto se deve ao fato de que radioprotetores ou radiopotencializadores podem afetar a dose absorvida, entretanto, não afetam a fluência. A terapia por captura de nêutrons pelo boro (BNCT) pode ser citada como exemplo de avaliação

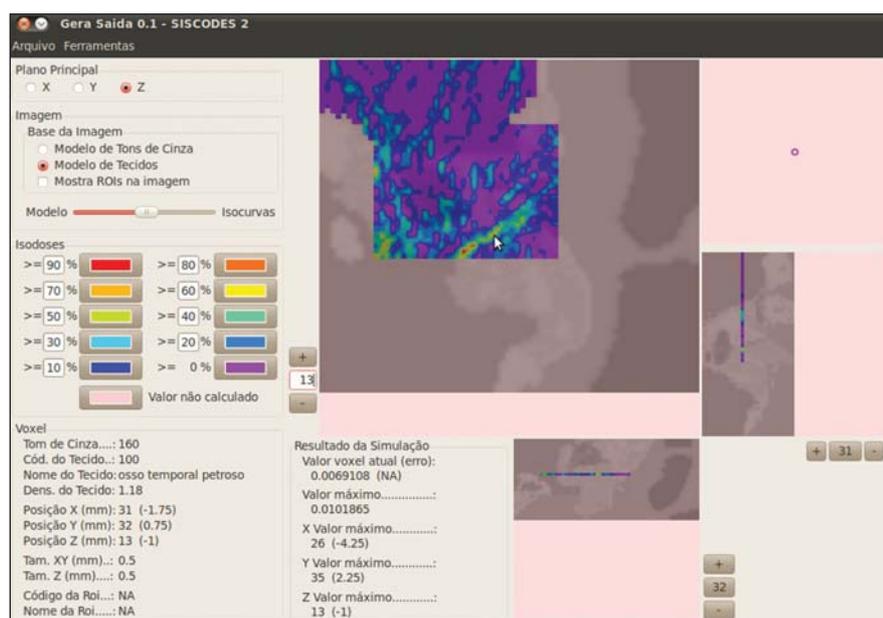


Figura 4. Interface do módulo de visualização dos dados de saída, mostrando as curvas obtidas como resultado de simulação sobre o modelo da região da orelha. Este módulo lê o modelo de voxels e a saída do MCNP e desenha as curvas de isodoses sobre a reconstrução de imagens do paciente.

que envolve a necessidade de potencializadores. Aplicando um sistema de conversão fluência→dose, o sistema pode calcular o impacto do uso destes protetores/potencializadores rapidamente, já que o MCNP é executado apenas uma vez.

RESULTADOS

O SISCODES vem sendo utilizado no grupo de pesquisa NRI do Departamento de Engenharia Nuclear da UFMG (DEN/UFMG) para a construção de vários modelos de voxels representando regiões anatômicas de seres humanos e pequenos animais. Alguns destes modelos foram aplicados na simulação de tratamentos por braquiterapia ou teleterapia. Nesta sessão serão mostrados alguns destes modelos e resultados de algumas simulações.

Tórax humano feminino

Este modelo foi construído no NRI e é mostrado nas Figuras 5A e 5B⁽¹⁰⁾. Ele foi desenvolvido lado a lado com um fantoma antropométrico e antropomórfico real, para investigar tratamento para câncer de mama, esôfago e pulmão. Este fantoma pode ser bastante útil na verificação da precisão do SISCODES, mediante comparação das doses absorvidas avaliadas em experimentos no fantoma real com as obtidas pela simulação computacional.

O câncer de mama é particularmente difícil de irradiar em razão da sua proximidade com os pulmões, que são muito radiosensíveis. Este modelo pode auxiliar no desenvolvimento de melhores protocolos em radioterapias para câncer de mama, permitindo selecionar aqueles que produzem menores doses nos pulmões e maiores doses no tumor.

Pelve humana masculina

Este modelo foi desenvolvido no SISCODES para permitir estudos em câncer de próstata⁽⁷⁾. Assim, com o modelo de tórax feminino este modelo tem seu par real, permitindo seu uso na verificação da acuidade do SISCODES. O modelo de voxels foi desenvolvido a partir de imagens do projeto Visible Human⁽¹¹⁾, que também serviram de base para o fantoma real, construído com material tecido-equivalente. O câncer de próstata é um dos tipos de cân-

cer mais comuns em homens. Este modelo pode ser usado na simulação de protocolos de teleterapia e radioterapia. Uma secção deste modelo é apresentada na Figura 5C.

Orelha humana

Este modelo representa a região da orelha humana, como mostrado na Figura 6. Foi desenvolvido num projeto de pesquisa de mestrado, com o objetivo de estudar os

efeitos colaterais após teleterapia de cabeça e pescoço⁽¹²⁾. O conhecimento da dose absorvida real é relevante por dois fatores: a) para se saber qual nível de dose causa efeitos colaterais na orelha; b) para auxiliar na escolha do melhor protocolo para cada janela de irradiação, evitando a exposição da orelha. Dois protocolos de tratamento foram simulados e apresentaram grande heterogeneidade de dose no osso

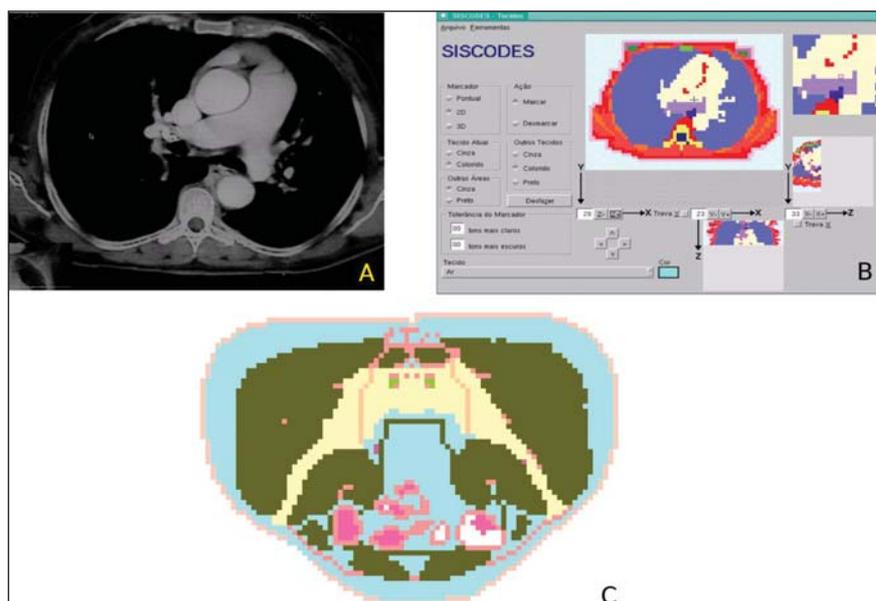


Figura 5. Criação do modelo de voxels do tórax. **A:** Imagem digitalizada de TC do tórax. **B:** Interface antiga de criação do modelo de voxels de tecidos do SISCODES mostrando o modelo no mesmo plano da imagem. **C:** Modelo de voxels de pele masculina.

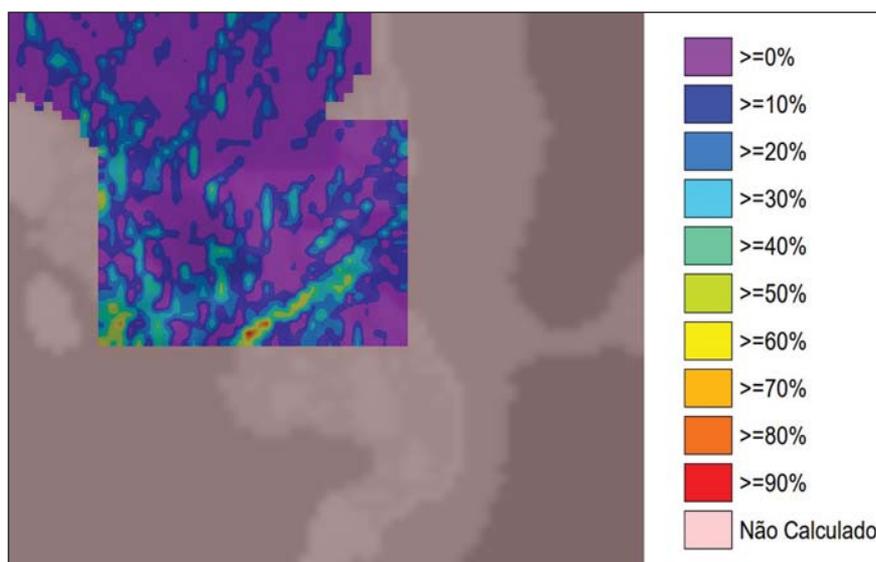


Figura 6. Curvas de isodose na região da orelha, com a respectiva escala. As doses mostradas são absorvidas devido a um protocolo de irradiação da orelha. Notar a grande heterogeneidade da dose, que se contrapõe às doses suavemente distribuídas de um fantoma de água.

petroso, que pode ser associada à heterogeneidade do tecido e ao espalhamento de fótons. A heterogeneidade da dose observada não pode ser modelada nos fantasmas de água usadas em centros radioterápicos para calibração das curvas de isodoses. A aplicação de métodos homogêneos para o cálculo da dose pode produzir super ou subestimação da dose na estrutura da orelha.

Cabeça de criança

Este modelo foi construído para estudo de implantes braquiterápicos de sementes de I-125 ou sementes cerâmicas tipo *bioglass* dopado com Sm-153 ou Ho-166. Este tipo de implante pode ser uma opção aos implantes de I-125^(13,14). As curvas de isodose mostradas na Figura 7A representam as doses produzidas pelos raios gama emitidos por sementes de Sm-153 implantadas.

Fígado de coelho

No NRI^(15,16) foram desenvolvidos modelos de partes de pequenos animais, como cérebro e abdome de coelho. Estes modelos proporcionam a dosimetria experimental e computacional em estudos com pequenos animais. Neste caso, o modelo computacional auxilia a possibilidade de redução do número de cobaias em experimentação animal. A avaliação dosimétrica neste caso teve como objetivo estimar a distribuição espacial da energia das partículas beta e gama, produzidas por fontes de braquiterapia produzidas por sementes cerâmicas radioativas. Para fazer este estudo, um modelo de voxels da região do tórax e abdome de coelho foi desenvolvido e simulações

dos implantes radioativos foram executadas. As curvas de isodoses obtidas são mostradas na Figura 7B.

Cérebro de coelho

Um modelo de voxels da cabeça de um coelho foi construído por Costa para efetuar um estudo de implantes de *bioglass* no cérebro⁽¹⁷⁾. Os implantes consistem em 15 sementes de *bioglass* Ca-Si com Sm-153 incorporado⁽¹⁸⁻²¹⁾. Um modelo de voxels foi construído no SISCODES, baseado em imagens de TC de cobaia. A simulação neste estudo mostra a distribuição espacial da taxa de dose no cérebro do coelho decorrente dos implantes de *bioglass* Sm-153. As curvas de isodoses obtidas na simulação são mostradas na Figura 7C.

DISCUSSÃO

O sistema computacional apresentado vem sendo usado pelo grupo de pesquisa NRI na criação de fantasmas computacionais antropomórficos e antropométricos baseados em modelos de voxels e na simulação de tratamentos radioterápicos. O sistema está sendo aplicado no estudo do transporte de partículas nucleares no tratamento de câncer de mama, pulmão, colo uterino, próstata, coluna vertebral, cabeça e pescoço, dentre outros.

A interface gráfica provida pelo SISCODES permite que o MCNP seja usado por profissionais que não teriam acesso a este código devido à complexidade da sintaxe de seu arquivo de entrada, assim como capacidade do módulo de visualização de

saída de extrair os resultados da simulação e representar estes resultados em imagens.

Os modelos desenvolvidos e os dados armazenados no banco de dados, juntamente com o SISCODES, formam uma base para execução de simulações de radioterapias. Esta base permite o desenvolvimento de estudos de tratamentos radioterápicos com eficiência, em termos de velocidade de pesquisa, muito superior à conseguida sem ela, e com a precisão da dosimetria via MCNP.

Os resultados das simulações de tratamentos mostram que a dose absorvida apresenta grande heterogeneidade espacial nas regiões do corpo onde ocorrem grandes variações de massa ou densidade, tal qual ossos, cavidades aéreas e tecidos de baixa densidade como os pulmões inflados, possivelmente divergindo dos valores obtidos em simuladores homogêneos de água e mesmo de valores de dose encontrados por métodos analíticos complexos. Esta representação da heterogeneidade na dose apenas pode ser obtida por simulação via MCNP, pois métodos analíticos não conseguem lidar corretamente com as variações encontradas nos tecidos humanos, principalmente em regiões de interface^(22,23).

CONCLUSÕES

O sistema permite construir um modelo de voxels personalizado do paciente em um tempo relativamente curto, tornando o planejamento radioterápico mais preciso quando se empregam códigos estocásticos tipo MCNP. A representação biométrica do

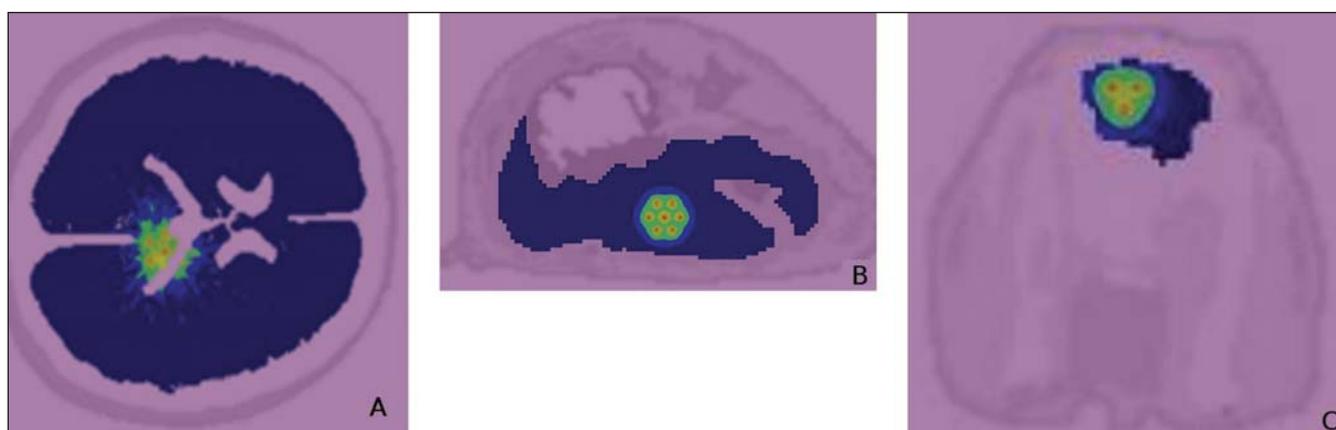


Figura 7. A: Curvas de isodoses obtidas na simulação de implantes de sementes de *bioglass* com Sm-153 em cérebro de criança. **B:** Curvas de isodoses geradas por implantes de sementes cerâmicas em fígado de coelho. **C:** Curvas de isodoses geradas por implantes de sementes de *bioglass* em cérebro de coelho.

paciente, junto com a região de irradiação fielmente representada pelo modelo de voxels, torna a simulação mais específica e personalizada. A combinação da simulação via MCNP com um modelo personalizado do paciente traz grandes melhorias na dosimetria de tratamentos radioterápicos, o que deve contribuir para o aumento da efetividade do tratamento, com diminuição da morbidade deste. Os autores desejam que estes estudos possam colaborar, ampliar e melhorar os procedimentos de avaliação dosimétrica presentes na radioterapia e radiologia.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte e apoio à pesquisa no grupo Núcleo de Radiações Ionizantes da Universidade Federal de Minas Gerais (NRI-UFMG).

REFERÊNCIAS

- Emami B. Oral cavity. In: Perez CA, Brady L, editors. Principles and practice of radiation oncology. 3rd ed. Philadelphia, PA: Lippincott-Raven; 1998. p. 981–1002.
- MCNP–X-5 Monte Carlo Team. A general Monte Carlo N-particle transport code manual, version 5. Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory; 2003.
- Purdy JA. Three-dimensional physics and treatment planning. In: Perez CA, Brady LW, editors. Principles and practice of radiation oncology. 3rd ed. Philadelphia, PA: Lippincott-Raven; 1998. p. 343–70.
- Emami B, Graham MV, Michalski JM, et al. Three-dimensional conformal radiation therapy: clinical aspects. In: Perez CA, Brady LW, editors. Principles and practice of radiation oncology. 3rd ed. Philadelphia, PA: Lippincott-Raven; 1998. p. 371–86.
- Kijewski P. Three-dimensional treatment planning. In: Mauch PM, Loeffler JS, editors. Radiation oncology: technology and biology. Philadelphia, PA: Saunders; 1994. p. 10–33.
- NRI – Núcleo de Radiações Ionizantes. Página inicial. [acessado em 1º de fevereiro de 2011]. Disponível em: <http://nri.nuclear.ufmg.br>
- Silva CHT, Campos TPR. Fantoma computacional de voxel, associado a fantoma real antropomórfico antropométrico, para dosimetria. In: International Nuclear Atlantic Conference; 2000; Rio de Janeiro, RJ, Brasil. ABEN – Associação Brasileira de Energia Nuclear. Anais. 2000. p. 1–7.
- Silveira MF, Campos TPR. Implantação de compostos radioativos para controle de tumores ósseos nos membros. In: 4º Congresso Latino-Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2006; Caxambu, MG, Brasil. Anais. 2006. p. 1–7.
- Mata PHC, Trindade BM, Campos TPR. Fantoma parametrizado com órgãos em voxels inseridos para oncologia. In: 3º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2004; Campinas, SP, Brasil. Anais. 2006. p. 1–6.
- Maia M. Fantoma antropomórfico antropométrico de tórax para fins de radioproteção e dosimetria [dissertação]. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais; 2004.
- VHP. The Visible Human Project Overview. [acessado em 14 de setembro de 2010]. Disponível em: http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html
- Trindade DFM. Efeitos deletérios induzidos por exposição indireta do aparelho auditivo durante radioterapia de cabeça e pescoço – correlacionamento dosimétrico [dissertação]. Belo Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais; 2006.
- Duarte IL, Campos TPR. Avaliação dosimétrica clínica de Implantes de biovidros incorporando Sm-153 para tratamento de tumores cerebrais. In: 4º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2006; Caxambu, MG, Brasil. Anais. 2006. p. 1–6.
- Thompson L, Campos TPR. Fantoma real de cabeça e pescoço desenvolvido para avaliações radiodosimétricas. In: 4º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2006; Caxambu, MG, Brasil. Anais. 2006. p. 1–8.
- Andrade JPL, Campos TPR. Avaliação da energia específica absorvida gerada de biovidros radioativos implantados em fígado em modelo animal. In: 4º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2006; Caxambu, MG, Brasil. Anais. 2006. p. 1–10.
- Campos TPR, Andrade JPL, Costa IT, et al. Estudo preliminar da degradação de sementes de Sm-153 aplicadas e implantes de fígado de coelho. In: 4º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2006; Caxambu, MG, Brasil. Anais. 2006. p. 1–6.
- Costa IT, Campos TPR. Resposta radiodosimétrica de implantes de sementes de biovidros radioativos no cérebro de coelhos. In: 4º Congresso Latino Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais; 2006; Caxambu, MG, Brasil. Anais. 2006. p. 1–7.
- Mendes BM, Campos TPR. Investigation of the specific energy deposition form radionuclide-hydroxyapatite macroaggregate in brain interstitial implants. Key Engineering Materials. 2004; 254:83–6.
- Mendes BM, Campos TPR. Ecogenic response and dosimetric evaluation of hydroxyapatite macroaggregates implants. In: COBEM 2005 – 18th International Congress of Mechanical Engineering; 2005; Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Anais. 2005. p. 1–8.
- Roberto WS, Pereira MM, Campos TPR. Analysis of bioactive glasses obtained by sol-gel processing for radioactive implants. Materials Research. 2003;6:123–7.
- Roberto WS, Pereira MM, Campos TPR. Structure and dosimetric analysis of biodegradable glasses for prostate cancer treatment. Artif Organs. 2003;27:432–6.
- Van Esch A, Tillikainen L, Pyykkonen J, et al. Testing of the analytical anisotropic algorithm for photon dose calculation. Med Phys. 2006;33: 4130–48.
- Carrasco P, Jorner N, Duch MA, et al. Comparison of dose calculation algorithms in slab phantoms with cortical bone equivalent heterogeneities. Med Phys. 2007;34:3323–33.

Aplicação da ressonância magnética de corpo inteiro para o estadiamento e acompanhamento de pacientes com linfoma de Hodgkin na faixa etária infanto-juvenil: comparação entre diferentes sequências*

Whole-body magnetic resonance imaging for staging and follow-up of pediatric patients with Hodgkin's lymphoma: comparison of different sequences

Daniel Nava¹, Heverton Cesar de Oliveira², Flavio Augusto Luisi³, Andrea Regina da Silveira Ximenes⁴, Henrique Manoel Lederman⁵

Resumo **Objetivo:** Comparar o desempenho das sequências T1, T2, STIR e DWIBS (difusão de corpo inteiro com supressão do sinal de fundo) na identificação de sítios caracterizados como acometidos pelo linfoma de Hodgkin nas cadeias linfonodais, órgãos parenquimatosos e medula óssea, e avaliar a concordância entre os examinadores. **Materiais e Métodos:** Foram estudados 12 pacientes com diagnóstico confirmado de linfoma de Hodgkin. Os pacientes foram encaminhados para o exame de ressonância magnética, sendo realizadas as sequências ponderadas em T1, T2, STIR e DWIBS. **Resultados:** O número de sítios linfonodais caracterizados como acometidos nas sequências ponderadas em T1 e T2 apresentaram resultados semelhantes (8 sítios), mas inferiores às sequências STIR e DWIBS (11 e 12 sítios, respectivamente). Quanto ao acometimento da medula óssea, observaram-se os mesmos valores para as sequências T1, T2 e DWIBS (17 lesões), superiores ao valor encontrado na sequência STIR (13 lesões). Quando realizada a comparação entre os examinadores, nota-se que há alta concordância entre as quatro sequências. **Conclusão:** As sequências STIR e DWIBS detectaram maior número de linfonodos caracterizados como acometidos. Todas as sequências apresentaram resultados semelhantes na avaliação dos órgãos parenquimatosos e medula óssea. Em todas as sequências analisadas houve alta concordância entre os examinadores.

Unitermos: Ressonância magnética de corpo inteiro; Difusão; Linfoma; DWIBS.

Abstract **Objective:** To compare the performance of the T1, T2, STIR and DWIBS (diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression) sequences in the staging and follow-up of pediatric patients with Hodgkin's lymphoma in lymph node chains, parenchymal organs and bone marrow, and to evaluate interobserver agreement. **Materials and Methods:** The authors studied 12 patients with confirmed diagnosis of Hodgkin's lymphoma. The patients were referred for whole body magnetic resonance imaging with T1-weighted, T2-weighted, STIR and DWIBS sequences. **Results:** The number of lymph node sites characterized as affected by the disease on T1- and T2-weighted sequences showed similar results (8 sites for both sequences), but lower than DWIBS and STIR sequences (11 and 12 sites, respectively). The bone marrow involvement by lymphoma showed the same values for the T1-, T2-weighted and DWIBS sequences (17 lesions), higher than the value found on STIR (13 lesions). A high rate of interobserver agreement was observed as the four sequences were analyzed. **Conclusion:** STIR and DWIBS sequences detected the highest number of lymph node sites characterized as affected by the disease. Similar results were demonstrated by all the sequences in the evaluation of parenchymal organs and bone marrow. A high interobserver agreement was observed as the four sequences were analyzed.

Keywords: Whole-body magnetic resonance imaging; Diffusion; Lymphoma; DWIBS.

Nava D, Oliveira HC, Luisi FA, Ximenes ARS, Lederman HM. Aplicação da ressonância magnética de corpo inteiro para o estadiamento e acompanhamento de pacientes com linfoma de Hodgkin na faixa etária infanto-juvenil: comparação entre diferentes sequências. *Radiol Bras.* 2011 Jan/Fev;44(1):29-34.

* Trabalho realizado no Instituto de Oncologia Pediátrica da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, e no Lúmen – Centro de Diagnósticos, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.

1. Médico Radiologista, Pós-graduando (Mestrado) do Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

2. Doutor, Professor Adjunto, Chefe da Disciplina de Diagnóstico por Imagem em Pediatria do Departamento de Diagnóstico

por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

3. Doutor, Médico Oncologista do Instituto de Oncologia Pediátrica (IOP/GRAACC) da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

4. Médica Radiologista da Clínica Centrus, Campinas, SP, Brasil.

5. Doutor, Professor Titular de Radiologia do Departamento de Diagnóstico por Imagem, Chefe do Centro de Diagnóstico por

Imagem do Instituto de Oncologia Pediátrica (IOP/GRAACC) da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

Endereço para correspondência: Dr. Daniel Nava. Avenida Francisco Glicério, 2132, Vila Itapura. Campinas, SP, Brasil, 13023-100. E-mail: daniel@centrus.com.br

Recebido para publicação em 25/8/2010. Aceito, após revisão, em 10/11/2010.

INTRODUÇÃO

O linfoma representa a terceira neoplasia maligna mais comum da infância, superado apenas pelas leucemias e tumores do sistema nervoso central. De acordo com a média das taxas brutas encontradas nos registros de câncer de base populacional do Brasil, o número de casos novos de linfomas de Hodgkin para o Brasil em 2009 foi de aproximadamente 1.600 para o sexo masculino e 1.270 para o sexo feminino⁽¹⁾.

A avaliação da extensão da doença (estadiamento) é importante para o planejamento adequado do tratamento e determinação do prognóstico. Os métodos de imagem desempenham papel fundamental no estadiamento dos linfomas. Além disso, a imagem é de grande importância no monitoramento da resposta à terapia e na detecção de recorrência do tumor⁽²⁻⁶⁾.

O exame de corpo inteiro em crianças é geralmente realizado utilizando-se o escaneamento de todo o esqueleto, a cintilografia e a tomografia por emissão de pósitrons (PET), este último também combinado com tomografia computadorizada (TC). Um denominador comum a todos esses exames é a exposição a radiações ionizantes. Isto tem um efeito negativo mais significativo para crianças do que para adultos. Assim, métodos alternativos que não utilizam radiação ionizante são de extrema importância na radiologia pediátrica⁽⁷⁾.

Ao longo dos últimos anos, observou-se um aumento da aplicação da ressonância magnética (RM) de corpo inteiro em adultos, principalmente na radiologia oncológica. Esta situação foi favorecida pela combinação de rápidas sequências associadas à movimentação da mesa de exame e à bobina de corpo, ou uma plataforma especial projetada com múltiplas bobinas.

A principal indicação deste método em pediatria tem sido na detecção de lesões da medula óssea^(5,8). O potencial para estender esta aplicação a outras doenças sistêmicas está evoluindo.

A difusão por RM fornece informações funcionais que podem ser utilizadas na detecção e caracterização dos processos patológicos, incluindo tumores malignos⁽⁹⁻¹²⁾. Portanto, pode ser de grande valor no estadiamento e acompanhamento de tumores malignos. Apesar dos avanços acima men-

cionados na difusão, a apneia era considerada necessária pelo fato de que o movimento respiratório era impeditivo para a aquisição das imagens de difusão⁽¹³⁻¹⁷⁾. Em 2004, Takahara et al.⁽¹⁸⁾ descreveram um conceito de difusão de corpo inteiro chamado *diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression* (DWIBS) (difusão de corpo inteiro com supressão do sinal de fundo). Esta técnica utiliza intencionalmente a livre respiração, em vez da apneia, para a visualização dos órgãos viscerais e suas lesões. Em um artigo publicado mais tarde por Ballon et al.⁽¹⁹⁾ também foi descrita a DWIBS durante a respiração. O estudo realizado por Ballon et al. era dirigido para a visualização de lesões metastáticas em tecidos estáticos (medula óssea), o que estava de acordo com a teoria aceita na época. No entanto, esses autores constataram que os órgãos viscerais, como o baço e os rins, também puderam ser analisados.

Levando-se em consideração a hipótese de que as diferenças na citoarquitetura histológica é mais bem refletida pela diferença da livre passagem das moléculas de água, a difusão por RM deve ser a sequência mais sensível para o estadiamento de metástases, com a vantagem de ser mais rápida e poder avaliar maiores volumes do que as outras sequências⁽¹²⁾.

Recentemente, foi relatado que a difusão por RM tem alta sensibilidade na detecção de doenças malignas. Assim, a difusão de corpo inteiro tem sido proposta como uma poderosa ferramenta de triagem⁽¹¹⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Entre março de 2009 e novembro de 2009, realizamos trabalho prospectivo estudando o estadiamento do linfoma de Hodgkin em 12 pacientes de procedência ambulatorial, por meio da técnica de RM de corpo inteiro. O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da nossa Instituição, sendo obtido consentimento por escrito do paciente e acompanhante, após a leitura de documento informativo e explicação do procedimento. Os resultados obtidos neste estudo não interferiram na conduta clínica.

Foram incluídos pacientes com diagnóstico confirmado de linfoma de Hodgkin

em estágio inicial ou com suspeita clínica de recidiva. Foram excluídos os pacientes sem confirmação diagnóstica ou sem condições clínicas adequadas para a realização do exame.

O grupo estudado foi constituído por 7 homens e 5 mulheres, com idade entre 12 e 24 anos (média de 17,75 anos). Entre os 12 pacientes estudados, 6 eram casos novos e 6 apresentavam suspeita de recidiva.

Os exames foram realizados em equipamento de RM Achieva (Philips Medical Systems; Cleveland, OH, EUA), utilizando-se bobina de corpo para transmissão e recepção de sinais. Os pacientes foram posicionados em decúbito dorsal com os braços paralelos ao corpo e as sequências obtidas com respiração livre. Não foi necessário o uso de contraste intravenoso paramagnético e nenhum paciente precisou de sedação. Com base nas imagens sagitais e coronais de localização, o volume de aquisição foi planejado, em quatro seções, cobrindo todo o corpo, sendo realizadas as sequências ponderadas em T1 (tempo de repetição (TR) = 465 ms; tempo de eco (TE) = 17 ms; *field-of-view* (FOV) = 515 mm; matriz = 512 × 512), T2 (TR = 1842 ms; TE = 80 ms; FOV = 515 mm; matriz = 512 × 512), STIR (TR = 5420 ms; TE = 66 ms; FOV = 515 mm; matriz = 512 × 512) e DWIBS (TR = 6348 ms; TE = 70 ms; FOV = 515 mm; matriz = 336 × 336). As sequências ponderadas em T1, T2 e STIR foram realizadas no plano coronal, com cortes de 7,0 mm de espessura, e a sequência DWIBS foi realizada no plano transversal, com cortes de 5,0 mm de espessura. As sequências T1, T2 e STIR foram reconstruídas pela técnica Mobiview, obtendo-se a fusão das seções no plano coronal, e a sequência DWIBS foi reconstruída pelas técnicas MIP e Mobiview, também se obtendo a fusão das seções no plano coronal.

A interpretação das imagens foi feita em estações de trabalho por dois examinadores independentes com experiência em RM e radiologia pediátrica. Os exames foram distribuídos aleatoriamente, sendo que a análise das sequências de um mesmo paciente foi realizada em dias diferentes. Estabeleceram-se locais de possível acometimento pelo linfoma, sendo quatro nodais (pescoço, tórax, abdome e pelve) e oito

extranodais (pulmão, parede torácica, fígado, baço, rins, pâncreas, alças intestinais e medula óssea). Os sítios foram classificados como positivo quando os linfonodos fossem maiores que 1,0 cm nos seus menores eixos ou quando houvesse alteração de sinal (hipo/isossinal em T1 e T2 e hipersinal em STIR e DWIBS) e/ou fossem visualizadas massas. O número e a localização dos sítios envolvidos foram comparados entre as diversas sequências obtidas, assim como o estadiamento de cada um deles.

Foram realizadas as seguintes análises estatísticas:

- comparação dos resultados obtidos em relação às cadeias linfonodais entre os dois examinadores;
- comparação dos resultados obtidos em relação aos órgãos parenquimatosos entre os dois examinadores;
- comparação dos resultados obtidos em relação à medula óssea entre os dois examinadores;
- comparação dos resultados entre as quatro sequências, para verificar qual identifica um maior número de lesões decorrente do linfoma, para cada examinador.

RESULTADOS

Todos os exames realizados foram tecnicamente adequados, sem complicações relacionadas à técnica. Todas as imagens obtidas foram de boa qualidade, algumas apresentando artefatos sem prejuízo diagnóstico. Esses artefatos ocorreram predominantemente no tórax e abdome, sendo causados pela respiração, batimentos cardíacos e/ou movimentos (Figura 1).

Para a execução do exame, as sequências mais rápidas foram as ponderadas em T1 e T2, com duração de 4 minutos e 16 segundos. O tempo de duração da sequência STIR foi um pouco superior (7 minutos e 4 segundos). A sequência DWIBS foi a mais demorada, com duração de 12 minutos e 52 segundos.

Foi cronometrado o tempo necessário, de cada examinador, para a avaliação dos exames. A análise mais demorada foi encontrada na sequência DWIBS, com tempo médio de 133 segundos para o examinador 1 e 140 segundos para o examinador 2. As demais sequências apresentaram resultados semelhantes, com tempo médio variando entre 109 e 116 segundos.

O número de sítios linfonodais caracterizados como acometidos pela doença nas sequências ponderadas em T1 e T2 apresentaram resultados semelhantes (8 sítios para ambas as sequências), mas inferiores às sequências STIR e DWIBS (11 e 12 sítios, respectivamente). A diferença entre estes métodos foi em razão de um linfonodo axilar interpretado como acometido pela doença, visualizado na sequência DWIBS, que não foi identificado na sequência STIR (Figura 2), tendo sido realizada a avaliação complementar por ultrassom, que identificou linfonodo axilar com dimensões aumentadas, associado a perda da morfologia habitual e a hiperfluxo vascular ao Doppler. Na análise do acometimento de órgãos parenquimatosos, todas as sequências apresentaram resultados semelhantes. Quanto ao acometimento da medula óssea pelo linfoma, observaram-se os mesmos valores para as sequências T1, T2 e DWIBS (17 lesões), superiores ao valor encontrado na sequência STIR (13 lesões).

Em alguns casos foram identificados hipersinais na sequência DWIBS, classificados como não representativos. Em um

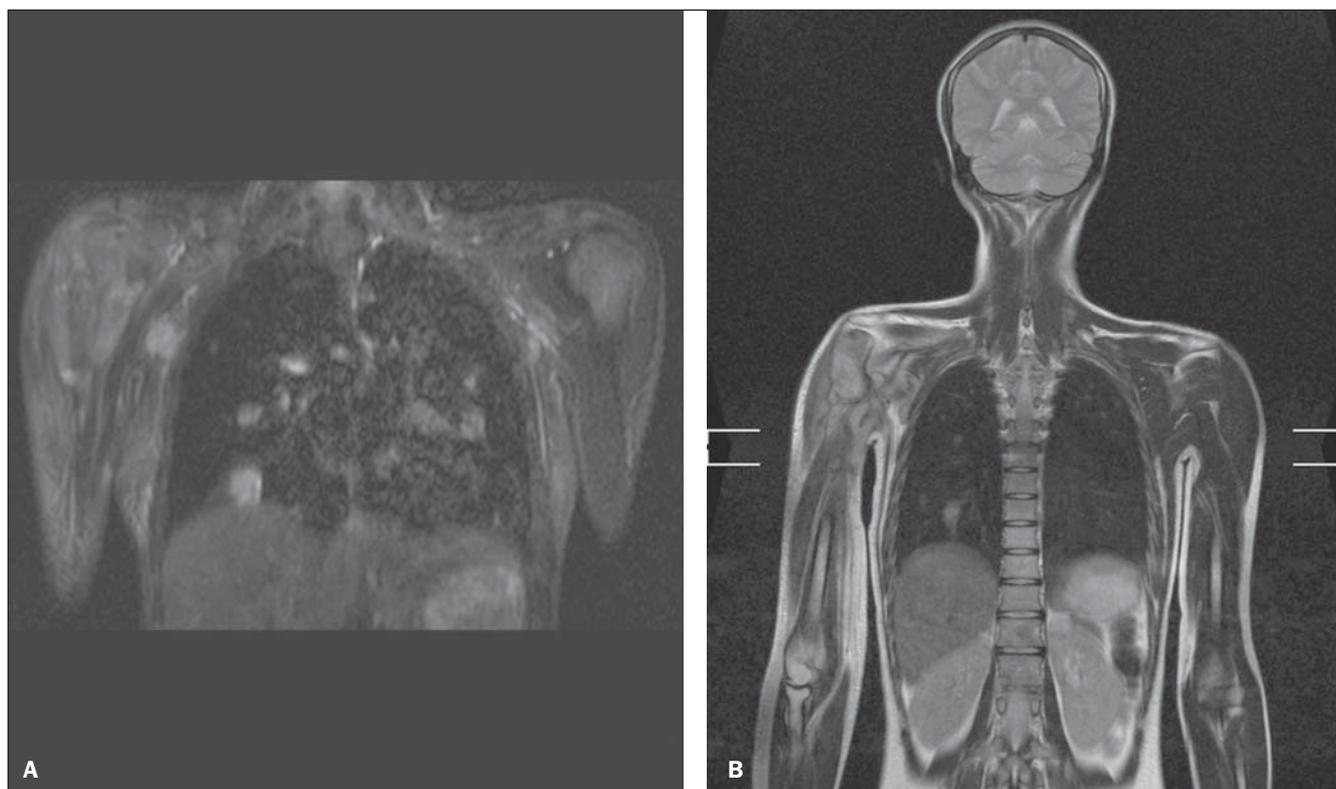


Figura 1. Artefatos de batimento cardíaco (A) e respiratório (B), que não impediram a detecção dos nódulos pulmonares.

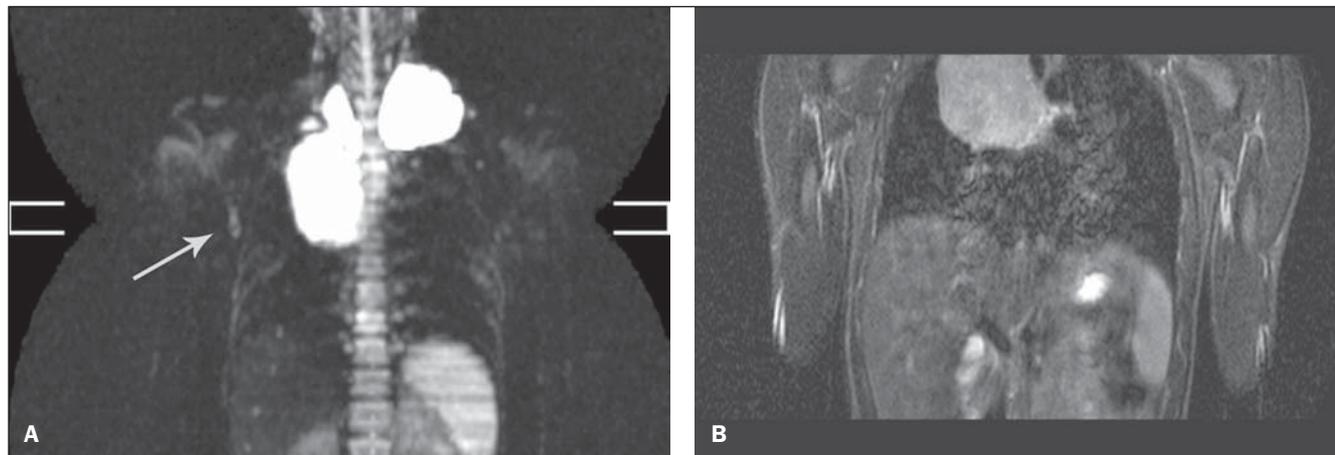


Figura 2. A: Linfonodo axilar à direita (seta) visualizado na sequência DWIBS, que não havia sido indentificado na sequência STIR **(B)**.

paciente foi detectado hipersinal na crista ilíaca direita, secundário à biópsia (Figura 3). Em dois pacientes foi visualizado hipersinal moderado difuso da medula óssea (Figura 4). Em todos os casos o baço apresentou hipersinal (Figura 4), fato que, devido à sua vascularização, este é um achado normal^(18,20).

Após a análise das imagens, os pacientes foram estadiados em cada sequência, segundo os critérios de Ann Arbor. Não foi observada diferença no estadiamento entre os dois examinadores, porém em dois casos houve divergência do estadiamento entre as sequências, ou seja, as sequências STIR e DWIBS apresentaram estadiamento maior (estádios II e III) que as sequências T1 e T2 (estádio I).

Na avaliação da concordância de resultados entre os diferentes examinadores foi utilizado o teste kappa, a um nível de significância de 5%. Para a comparação dos resultados obtidos pelos dois examinadores em relação à sequência STIR, observou-se que houve altíssimo grau de concordância (kappa variando de 0,816 a 1). Resultados semelhantes foram obtidos na análise da sequência T2, com kappa variando de 0,80 a 1. Em relação à sequência DWIBS, houve concordância ($p < 0,05$) entre os resultados dos examinadores, porém não da mesma forma que os métodos anteriores (kappa variando de 0,571 a 1). Para a comparação dos resultados obtidos pelos dois examinadores em relação à sequência T1, os resultados foram semelhantes à sequência DWIBS (kappa variando de 0,625 a 1).

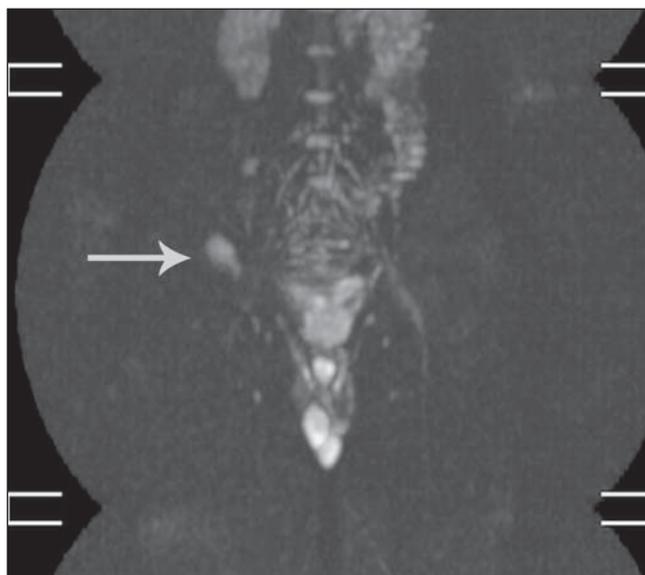


Figura 3. Hipersinal na crista ilíaca direita (seta), secundário à biópsia.

DISCUSSÃO

Existem diversas vantagens potenciais da RM de corpo inteiro sobre as modalidades convencionais para o estadiamento do linfoma de Hodgkin. Como a exposição a até mesmo pequenas doses de radiação ionizante pode aumentar o risco de neoplasias secundárias em crianças⁽²¹⁻²³⁾, a RM de corpo inteiro, isenta de radiação ionizante, poderia ser utilizada como um método alternativo no estadiamento do linfoma. Também não há necessidade da administração de contraste por via oral ou intravenosa. Além disso, a avaliação da extensão da doença parece ser possível com a utilização de um único método de imagem, resultando na redução do custo, sedações e

número de visitas do paciente ao serviço de imagem.

A viabilidade da RM de corpo inteiro já foi demonstrada para uma série de doenças⁽²⁴⁻²⁸⁾. Alguns estudos em pacientes adultos portadores de linfoma têm avaliado a utilização da RM, tendo a TC como referência padrão. Usando esta comparação, Brennan et al.⁽²⁹⁾ relataram que a sequência STIR poderia ser usada com precisão na identificação dos linfonodos maiores que 1,2 cm.

A RM de corpo inteiro no acompanhamento e estadiamento do linfoma permite a detecção do envolvimento da medula óssea, linfonodos e órgãos parenquimatosos por esta doença. Em virtude da potencialidade do método, decidimos comparar qua-

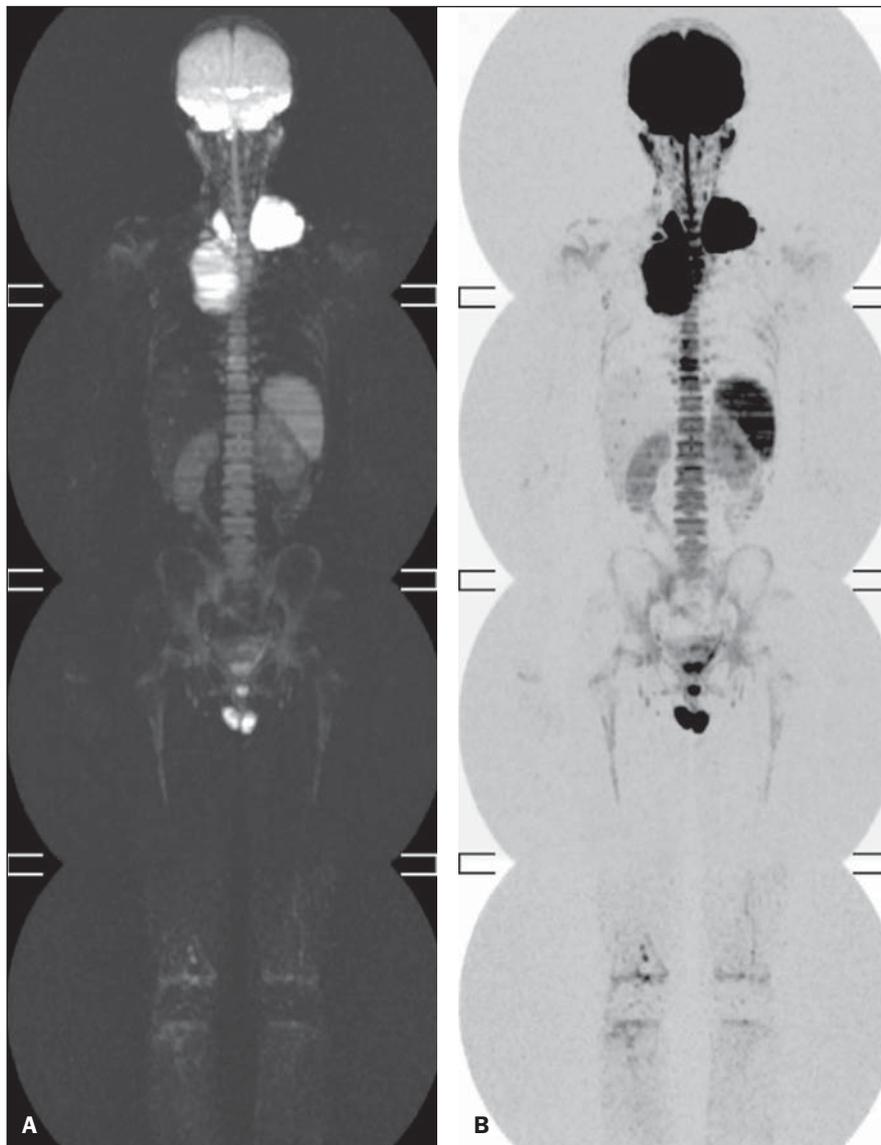


Figura 4. A: Hipersinal difuso da medula óssea. **B:** Inversão da escala de branco e preto.

tro seqüências de RM de corpo total (T1, T2, STIR e DWIBS), avaliando-se o tempo para a aquisição das imagens, qualidade das imagens, identificação das lesões, concordância entre os examinadores e tempo médio na análise de cada seqüência.

O menor tempo para a interpretação das imagens nas seqüências T1, T2 e STIR foi atribuído à maior resolução espacial destas. A seqüência STIR apresentou melhor concordância entre os observadores, graças ao maior contraste entre as lesões e o tecido normal adjacente.

Os dois pacientes que apresentaram hipersinal moderado difuso da medula óssea estavam fazendo uso de Granulokine®

na época da realização do exame. Talvez a utilização desta medicação tenha sido a causa do hipersinal encontrado, pois nos exames de controle não foi evidenciado qualquer sinal de acometimento destas regiões pelo linfoma.

Embora na literatura tenha sido descrito que a difusão por RM seja mais sensível para o estadiamento de metástases, assim como na monitoração da resposta ao tratamento quimioterápico em alguns tumores, neste trabalho não encontramos diferenças significativas em relação à seqüência STIR.

O presente estudo apresenta algumas limitações, como o número reduzido de pacientes e a impossibilidade de comprova-

ção histológica das alterações caracterizadas à RM.

A RM utiliza como critério diagnóstico de presença e atividade tumoral a alteração de sinal e/ou tamanho da lesão. Já o PET-CT estuda o metabolismo tumoral, avaliando o aumento da atividade glicolítica. Como estas duas modalidades diagnósticas são utilizadas no estadiamento e acompanhamento de pacientes oncológicos, o prosseguimento deste estudo deverá ser realizado correlacionando as imagens de RM de corpo inteiro com o PET-CT.

CONCLUSÕES

Na análise dos sítios linfonodais caracterizados como acometidos pela doença, as seqüências STIR e DWIBS detectaram um maior número de lesões. Todas as seqüências analisadas apresentaram resultados semelhantes na avaliação dos órgãos parenquimatosos e medula óssea. A concordância entre os examinadores foi alta em todas seqüências analisadas, sendo que os melhores resultados foram obtidos na seqüência STIR.

REFERÊNCIAS

1. Brasil. Ministério da Saúde. Instituto Nacional de Câncer. Estimativa 2010: incidência de câncer no Brasil. [acessado em 20 de maio de 2010]. Disponível em: <http://www.inca.gov.br/estimativa/2010/>
2. Carty H, Martin J. Staging of lymphoma in childhood. *Clin Radiol.* 1993;48:151-9.
3. Halliday T, Baxter G. Lymphoma: pictorial review. II. *Eur Radiol.* 2003;13:1224-34.
4. Halliday T, Baxter G. Lymphoma: pictorial review. I. *Eur Radiol.* 2003;13:1154-64.
5. Hamrick-Turner JE, Saif MF, Powers CI, et al. Imaging of childhood non-Hodgkin lymphoma: assessment by histologic subtype. *Radiographics.* 1994;14:11-28.
6. Weinstein HJ, Tarbell NJ. Leukemias and lymphomas of childhood. In: DeVita VT, Hellman S, Rosenberg SA, editors. *Cancer: principles and practice of oncology.* Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p. 2235-56.
7. Kellenberger CJ, Miller SF, Khan M, et al. Initial experience with FSE STIR whole-body MR imaging for staging lymphoma in children. *Eur Radiol.* 2004;14:1829-41.
8. Rosenthal H, Kolb R, Gratz KF, et al. Bone manifestations in non-Hodgkin's lymphoma in childhood and adolescence. *Radiology.* 2000;40:737-44.
9. Golder WA. Lymph node diagnosis in oncologic imaging: a dilemma still waiting to be solved. *Onkologie.* 2004;27:194-9.
10. Pieterman RM, van Putten JW, Meuzelaar JJ, et al. Preoperative staging of non-small-cell lung cancer with positron-emission tomography. *N Engl J Med.* 2000;343:254-61.

11. Schmidt GP, Reiser MF, Baur-Melnyk A. Whole-body MRI for the staging and follow-up of patients with metastasis. *Eur J Radiol.* 2009;70:393–400.
12. Kwee TC, Takahara T, Ochiai R, et al. Diffusion-weighted whole-body imaging with background body signal suppression (DWIBS): features and potential applications in oncology. *Eur Radiol.* 2008;18:1937–52.
13. Low RN, Gurney J. Diffusion-weighted MRI (DWI) in the oncology patient: value of breath-hold DWI compared to unenhanced and gadolinium-enhanced MRI. *J Magn Reson Imaging.* 2007;25:848–58.
14. Nasu K, Kuroki Y, Kuroki S, et al. Diffusion-weighted single shot echo planar imaging of colorectal cancer using a sensitivity-encoding technique. *Jpn J Clin Oncol.* 2004;34:620–6.
15. Nasu K, Kuroki Y, Nawano S, et al. Hepatic metastases: diffusion-weighted sensitivity-encoding versus SPIO-enhanced MR imaging. *Radiology.* 2006;239:122–30.
16. Taouli B, Martin AJ, Qayyum A, et al. Parallel imaging and diffusion tensor imaging for diffusion-weighted MRI of the liver: preliminary experience in healthy volunteers. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;183:677–80.
17. Yoshikawa T, Kawamitsu H, Mitchell DG, et al. ADC measurement of abdominal organs and lesions using parallel imaging technique. *AJR Am J Roentgenol.* 2006;187:1521–30.
18. Takahara T, Imai Y, Yamashita T, et al. Diffusion weighted whole body imaging with background body signal suppression (DWIBS): technical improvement using free breathing, STIR and high resolution 3D display. *Radiat Med.* 2004;22:275–82.
19. Ballon D, Watts R, Dyke JP, et al. Imaging therapeutic response in human bone marrow using rapid whole-body MRI. *Magn Reson Med.* 2004;52:1234–8.
20. Koh DM, Collins DJ. Diffusion-weighted MRI in the body: applications and challenges in oncology. *AJR Am J Roentgenol.* 2007;188:1622–35.
21. Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res.* 2000;154:178–86.
22. Brenner D, Elliston C, Hall E, et al. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176:289–96.
23. Kleinerman RA. Cancer risks following diagnostic and therapeutic radiation exposure in children. *Pediatr Radiol.* 2006;36 Suppl 2:121–5.
24. Daldrup-Link HE, Franzius C, Link TM, et al. Whole-body MR imaging for detection of bone metastases in children and young adults: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;177:229–36.
25. Goo HW, Choi SH, Ghim T, et al. Whole-body MRI of paediatric malignant tumours: comparison with conventional oncological imaging methods. *Pediatr Radiol.* 2005;35:766–73.
26. Kellenberger CJ, Epelman M, Miller SF, et al. Fast STIR whole-body MR imaging in children. *Radiographics.* 2004;24:1317–30.
27. Kumar J, Seith A, Kumar A, et al. Whole-body MR imaging with the use of parallel imaging for detection of skeletal metastases in pediatric patients with small-cell neoplasms: comparison with skeletal scintigraphy and FDG PET/CT. *Pediatr Radiol.* 2008;38:953–62.
28. Laffan EE, O'Connor R, Ryan SP, et al. Whole-body magnetic resonance imaging: a useful additional sequence in paediatric imaging. *Pediatr Radiol.* 2004;34:472–80.
29. Brennan DD, Gleeson T, Coate LE, et al. A comparison of whole-body MRI and CT for the staging of lymphoma. *AJR Am J Roentgenol.* 2005;185:711–6.

Perfusão por tomografia computadorizada do abdome: aplicações clínicas, princípios e técnica do exame*

Abdominal perfusion computed tomography: clinical applications, principles and technique

João Paulo Lira Barros Almeida de Sousa¹, Daniel Bekhor², Celso Fernando Saito Filho³, Elisa Almeida Sathler Bretas⁴, Giuseppe D'Ippolito⁵

Resumo Novas técnicas de exames têm sido desenvolvidas com o objetivo de se obter não apenas uma avaliação estrutural, mas também uma análise funcional e metabólica de diversos órgãos e tipos de lesões. Entre estas ferramentas, a perfusão por tomografia computadorizada (PTC) tem despertado o interesse de muitos pesquisadores em estudar a sua aplicabilidade em órgãos e doenças abdominais. Entre estas aplicações podemos citar a avaliação do comportamento biológico de tecidos saudáveis e doentes, a diferenciação de processos inflamatórios de tumorais e o diagnóstico da recidiva tumoral após terapêuticas minimamente invasivas. A principal característica da PTC reside na sua capacidade de caracterizar comportamentos perfusionais distintos e que traduzem alterações biológicas de determinadas lesões e tecidos doentes. Dessa forma, o nosso objetivo foi realizar uma ampla revisão da literatura, mostrando as principais técnicas e protocolos utilizados nos exames de PTC, as principais indicações, vantagens e desvantagens do método, além de propor um protocolo de exame que possa ser introduzido na rede privada e pública de saúde, com reprodutibilidade e simplicidade de implementação.

Unitermos: Perfusão; Tomografia computadorizada; Biomarcadores; Angiogênese; Neoplasia; Meios de contraste.

Abstract New imaging techniques have been developed with the objective of obtaining not only a structural assessment, but also a metabolic and functional analysis of different organs and types of lesions. Among such tools perfusion computed tomography (PCT) has recently aroused the interest of many researchers in studying the applicability of such imaging modality in the evaluation of abdominal organs and diseases. Analysis of the biological behavior of healthy and diseased tissues, differentiation of inflammatory processes from tumors, and diagnosis of tumor recurrence after minimally invasive therapies can be mentioned as applications of such an imaging modality. The main features of PCT are related to its ability to characterize different perfusional behaviors reflecting biological changes of certain lesions and diseased tissues. Thus, the present study was aimed at carrying out a comprehensive literature review, describing the key techniques and protocols utilized in PCT imaging, main clinical applications, advantages and disadvantages of the method, besides proposing an imaging protocol that can be adopted by both private and public health services, with good reproducibility and easy implementation.

Keywords: Perfusion; Computed tomography; Biomarkers; Angiogenesis; Neoplasm; Contrast media.

Sousa JPLBA, Bekhor D, Saito Filho CF, Bretas EAS, D'Ippolito G. Perfusão por tomografia computadorizada do abdome: aplicações clínicas, princípios e técnica do exame. *Radiol Bras.* 2012 Jan/Fev;45(1):39-45.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos observamos expressiva evolução na área da radiologia e diagnóstico por imagem, com o surgimento da tomografia computadorizada multidetectores (TCMD) com até 320 canais e da ressonância magnética (RM) de alto campo (3 T), entre outros métodos, com a consequente obtenção de imagens com maior qualidade e precisão. No contexto dessa evolução, na tentativa de se obter não apenas uma avaliação estrutural, mas também uma análise funcional e metabólica de diversos órgãos e tipos de lesões, novas técnicas de exames têm sido desenvolvidas. Dentre essas no-

vas modalidades de imagem, que fornecem não apenas informações estruturais, mas também funcionais, podemos citar a difusão e a espectroscopia por RM, o PET-CT e a perfusão por RM e TC. Os dados fornecidos por este grupo de exames de imagem têm sido denominados de biomarcadores, por permitirem analisar o comportamento biológico de tecidos saudáveis e doentes e possibilitando, assim, entre outras utilidades, prever precocemente a resposta terapêutica a tratamentos quimioterápicos, principalmente aqueles que utilizam drogas com propriedades citostáticas e antiangiogênicas⁽¹⁾. As indicações são bastante variadas, entre as quais podemos citar a diferencia-

* Trabalho realizado no Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

1. Médico Especializando em Radiologia do Abdome do Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

2. Médico Radiologista do Setor de Abdome do Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

3. Médico Colaborador do Setor de Abdome do Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

4. Médica Pós-graduanda do Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

5. Professor Livre-Docente do Departamento de Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), São Paulo, SP, Brasil.

Endereço para correspondência: Dr. Giuseppe D'Ippolito. Rua Professor Filadelfo Azevedo, 617, ap. 61, Vila Nova Conceição. São Paulo, SP, Brasil, 04508-011. E-mail: giuseppe_dr@uol.com.br

Recebido para publicação em 13/9/2011. Aceito, após revisão, em 10/10/2011.

ção entre processos inflamatórios e tumorais, o grau de comprometimento funcional de certos órgãos, a presença de tecido tumoral residual ou recidivado após terapêuticas minimamente invasivas, entre outras⁽¹⁻⁷⁾. Entre estas ferramentas, a perfusão por TC (PTC) tem despertado, recentemente, o interesse de muitos pesquisadores^(1,3,5,7), em virtude da sua reprodutibilidade, robustez e eficácia, decorrente da maior disponibilidade de tomógrafos equipados com tecnologia de múltiplos detectores (TCMD) e atualmente disponíveis na rede pública, como na nossa Instituição.

APLICAÇÕES DO MÉTODO

A PTC é técnica relativamente recente, que permite um estudo funcional dos tecidos pela avaliação de sua vascularização. Este método mensura as alterações temporais na densidade tecidual, após a injeção de meio de contraste intravenoso, usando séries dinâmicas de aquisição de imagens⁽¹⁾.

A PTC assumiu, inicialmente, um papel de destaque na avaliação de pacientes com insulto vascular cerebral isquêmico agudo, pois permite uma análise estrutural e funcional do *status* vascular cerebral, auxiliando no planejamento terapêutico e, conseqüentemente, influenciando na avaliação do prognóstico do paciente⁽⁸⁾.

Nos últimos anos ocorreu uma ampliação do uso deste método, para a radiologia abdominal, principalmente no campo oncológico, em que a PTC tem sido utilizada no diagnóstico, estadiamento, avaliação prognóstica e monitoração da resposta terapêutica, com potencial para ser o método de escolha para a avaliação da resposta tumoral a drogas antiangiogênicas, bem como a tratamentos minimamente invasivos, tais como a embolização intra-arterial, a alcoolização percutânea e a termoablação por radiofrequência^(1,6,9,10).

Estudos têm mostrado, ainda, outras utilidades da PTC no campo abdominal, como na diferenciação entre diverticulite e neoplasia colorretal⁽⁷⁾, na avaliação das alterações perfusionais na cirrose hepática^(2,4,5,11) e na avaliação pós-transplante de órgãos⁽¹²⁾.

Alguns resultados obtidos nesses estudos têm-se revelado bastante interessantes, como os observados na diferenciação entre diverticulite e câncer colorretal⁽⁷⁾ e na

avaliação de pacientes com pancreatite aguda grave⁽¹³⁾. Na pancreatite aguda, a PTC tem mostrado sensibilidade de 100% e especificidade de 95% na detecção de isquemia pancreática, o que pode auxiliar em prever um posterior desenvolvimento de necrose pancreática⁽¹³⁾. Sabe-se que a necrose pancreática aumenta substancialmente a morbimortalidade do paciente e sua detecção precoce permite um tratamento mais intensivo, prevenindo outras complicações e melhorando, assim, o prognóstico⁽¹³⁾. Também na distinção entre diverticulite e o câncer colorretal, a PTC revelou-se útil ao permitir identificar uma diferença significativa entre os principais parâmetros perfusionais dos pacientes com câncer colorretal e os pacientes com diverticulite. Foi observado que o volume sanguíneo (*blood volume* – BV) e o fluxo sanguíneo (*blood flow* – BF) apresentam, respectivamente, sensibilidade de 80% e especificidade de 75% para o diagnóstico de câncer⁽⁷⁾.

TÉCNICA DO EXAME: PRINCÍPIOS BÁSICOS

O estudo e a análise por PTC são baseados nas mudanças temporais de atenuação tecidual, medidas em unidades Hounsfield (UH), após administração intravenosa do meio de contraste. O realce tecidual depende da concentração de iodo no tecido e de forma indireta reflete a vascularização tecidual e a fisiologia vascular^(14,15). Após a administração do contraste iodado, o realce tecidual pode ser dividido em duas fases, baseadas na sua distribuição no compartimento intra e extravascular⁽¹⁴⁾.

Na fase inicial, o realce é puramente atribuído à distribuição do contraste no interior do espaço intravascular, e esta fase usualmente dura cerca de 40 a 60 segundos, após a chegada do meio de contraste neste compartimento^(1,2,14-16). Na segunda fase, o contraste passa do compartimento intravascular para o extravascular, através da membrana basal. Desta forma, o realce tecidual resulta da distribuição do meio de contraste entre esses dois compartimentos^(1,14).

Na primeira fase, o realce é determinado em grande parte pelo fluxo sanguíneo tecidual e pelo volume sanguíneo, ao passo que na segunda fase é mais influenciado pela permeabilidade vascular⁽¹⁾.

O fluxo sanguíneo ou perfusão é definido como sendo o fluxo sanguíneo através do tecido de interesse por unidade de tempo e volume e medido em mililitros de sangue por 100 gramas de tecido por minuto (ml/100 g/min). O volume sanguíneo é o volume de sangue que passa pela região de interesse, medido em mililitros de sangue por 100 gramas de tecido (ml/100 g). O pico de realce (*peak enhancement* – PE) representa o pico de realce tecidual decorrente da administração do meio de contraste e medido em UH⁽¹⁰⁾.

O tempo para o pico de realce (*time to peak* – TTP) é definido como o tempo decorrido para se atingir o pico de realce e é medido em segundos. Já o tempo de trânsito médio (*mean transit time* – MTT) representa o tempo médio que o sangue leva para atravessar a rede capilar de uma determinada região passando das arteríolas para as vênulas e é medido em segundos. A superfície de permeabilidade (*permeability surface* – PS) está relacionada ao coeficiente de difusão das moléculas do meio de contraste através dos poros do endotélio capilar para o espaço extravascular e é medida em ml/100 g/min⁽¹⁰⁾.

Com os atuais aparelhos tomográficos é possível obter imagens de forma rápida e sucessiva de uma área de interesse durante essas duas fases, captando as mudanças temporais da atenuação tecidual e aplicando a estas imagens modelos matemáticos apropriados para que a perfusão tecidual possa ser quantificada^(1,2,14).

Os dois modelos matemáticos mais usados para o processamento dos dados são o compartimental e o deconvolucional, o que, de certa forma, influenciará o desenho de protocolo de exame^(1,2).

Modelos matemáticos

a) Modelo compartimental

Neste modelo, a análise pode ser realizada pela utilização do método compartimental único ou pelo método duplo^(2,10,16).

No método compartimental único assume-se que os espaços intra e extravasculares são compartimento único, e o cálculo da perfusão tecidual é baseado no princípio da conservação de massa no interior do sistema (princípio de Fick). Por este princípio, estima-se a perfusão usando o ponto máximo da curva de concentração tecidual

normalizado para curva de concentração arterial do contraste em relação ao tempo (função de entrada de dados de fluxo arterial)^(2,10,15).

O método compartimental duplo assume que os compartimentos intra e extravascular são compartimentos distintos^(1,2). Este modelo utiliza a técnica chamada de análise de Patlak, a qual quantifica a passagem do contraste do espaço intravascular para o extravascular e mensura a permeabilidade capilar e o volume sanguíneo^(2,10,14-16).

b) Modelo deconvolucional

Este modelo é baseado no uso da curva arterial e da curva de tempo-concentração tecidual (*tissue time-concentration curve*), para calcular a função de resíduo de impulso (*impulse residue function* – IRF) do tecido de interesse^(1,2), onde IRF é uma curva tecidual teórica que é obtida a partir das informações de dados de fluxo arterial direto (*direct arterial input*). A elevação da curva reflete a perfusão tecidual e a área abaixo da curva reflete o volume sanguíneo⁽²⁾.

Estudos preliminares mostram forte correlação entre os resultados obtidos pelos dois modelos, sugerindo que eles são equivalentes⁽²⁾. Porém, existem diferenças entre os modelos quanto a sua validação, suscetibilidade ao movimento e ruído^(2,17).

A análise compartimental é baseada na hipótese de que o *bolus* de meio de contraste deve estar retido no órgão de interesse no momento da mensuração, o que pode resultar em uma subestimação dos valores perfusionais em órgão com rápido trânsito vascular^(1,2,18).

A análise deconvolucional, no entanto, assume que a forma do IRF é um platô com um *washout* exponencial único. Embora esta hipótese seja validada para a maioria dos órgãos, pode não ser adequada para órgão com complexa via de circulação^(1,2,18).

Sendo assim, o método compartimental é preferível na avaliação de órgãos com complexa via de circulação, como baço e rins⁽¹⁾. Também é bastante útil na avaliação hepática, pois estima separadamente os componentes arterial e portal⁽¹⁹⁻²³⁾.

Por outro lado, o método deconvolucional é apropriado para mensurar baixos valores de perfusão tecidual (< 20 ml/min/100 ml), tipicamente observados nos casos de tumores pós-tratamento^(1,2,19,20).

O modelo deconvolucional é menos sensível ao ruído, permitindo o uso de menores correntes no tubo (kV) e a aquisição de imagens com melhor resolução temporal. No modelo compartimental, a presença de ruído nas imagens pode resultar em erros no cálculo dos valores perfusionais⁽¹⁾. Diversos fabricantes adotam modelos distintos de cálculo da PTC nos seus equipamentos (Tabela 1).

Protocolo de exame

Vários protocolos de PTC têm sido propostos e dependem de muitas variáveis, tais como órgão de interesse, modelo matemático utilizado (compartimental ou deconvolucional), equipamento disponível e objetivo clínico. Entre estas variáveis, o modelo matemático e o equipamento utilizado interferem diretamente no protocolo de exame (por exemplo: volume de contraste, velocidade de injeção e intervalo entre início da

injeção e da aquisição de dados ou *delay*) e em seus parâmetros técnicos (kV e mAs). Desta forma, iremos detalhar cada uma destas variáveis.

Tipicamente, a PTC consiste em uma fase sem contraste intravenoso, seguida de uma fase contrastada em que são obtidas imagens dinâmicas da área de interesse. A aquisição dinâmica das imagens pode incluir o estudo da primeira passagem do contraste, o estudo tardio, ou ambos, conforme os parâmetros a serem avaliados⁽²⁾.

a) Fase sem contraste

É a primeira fase do exame, em que se realiza uma varredura desde as bases pulmonares até a sínfise púbica, utilizando os parâmetros técnicos habituais de cada serviço. Esta fase, basicamente, serve para localizar e demarcar a área de interesse (ou área de cobertura) que irá ser analisada após a administração do meio de contraste. Esta área de cobertura dependerá da configuração do tomógrafo utilizado. Equipamentos com 4 ou 16 canais possuem área de cobertura de até 2 cm; os com 64 canais possuem área de cobertura de 4 cm. Áreas de cobertura maiores (8 a 16 cm) são possíveis em equipamentos com 128 e 320 canais ou com diversos algoritmos de reconstrução⁽¹⁾.

b) Fase dinâmica (pós-contraste)

Esta fase é a mais importante do estudo, pois por intermédio dela se obtêm os dados necessários para o processamento e análise perfusionais. Nesta fase são obtidas imagens da área previamente demarcada, de forma dinâmica, após administração do meio de contraste.

Tabela 1 Principais fabricantes, com os modelos matemáticos adotados e as vantagens e desvantagens de cada um deles⁽⁴⁾.

Modelo matemático	CT Perfusion (GE)	Functional CT (Siemens)	Brilliance Perfusion (Philips)
	Deconvolucional	Compartimental duplo	Compartimental
Vantagens	<ul style="list-style-type: none"> Apropriado para mensurar baixos valores de perfusão tecidual Menos sensível ao ruído, permitindo o uso de menores correntes no tubo (kV) e a aquisição de imagens com melhor resolução temporal Parâmetros perfusionais podem ser calculados em um único exame tomográfico 	<ul style="list-style-type: none"> Análise simples Eficiente no cálculo do valor da razão da constante <i>K</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Curto tempo de aquisição das imagens Preferível na avaliação de órgão com complexa via de circulação
Limitações	<ul style="list-style-type: none"> Sensível a artefatos de movimento⁽⁴⁾ Volume parcial, necessitando de correção 	<ul style="list-style-type: none"> Assume que o refluxo do contraste do intra para o extravascular é insignificante 	<ul style="list-style-type: none"> Imagens bastante sensíveis ao ruído

Para o estudo de primeira passagem do contraste, utilizando o método deconvolucional, as imagens são obtidas a cada segundo; no método compartimental as imagens são obtidas a cada 3 a 5 segundos, durante os primeiros 40 a 60 segundos^(2,4,7).

Com esta aquisição dinâmica conseguimos acompanhar a chegada do meio de contraste e sua primeira passagem através do compartimento intravascular⁽¹⁾.

Para se obter esta fase, alguns parâmetros técnicos são de extrema importância, como o mAs, o kVp, o volume e a concentração do meio de contraste e a sua velocidade de injeção, pois influem diretamente nos resultados obtidos. Observa-se, na literatura, grande variação destes parâmetros, os quais dependem do tomógrafo empregado (marca e número de detectores) e do modelo matemático que é utilizado na análise dos dados. Deste modo, comentaremos a respeito de cada um deles.

b.1) Parâmetros técnicos (mAs e kVp)

A utilização de baixa voltagem (kVp) e corrente do tubo (mAs) é recomendada para reduzir a dose de radiação recebida pelo paciente. Voltagem do tubo entre 80 e 100 kVp é geralmente apropriada para a maioria das aplicações clínicas em PTC^(1,2,10).

A análise da literatura mostra grande variação nos valores de mAs (entre 50 e 250 mAs), na dependência do modelo matemático que será utilizado. Para o método deconvolucional recomenda-se adotar valores entre 50 e 100 mAs. Para o método compartimental são necessários valores de mAs mais altos, entre 100 e 250^(1,5,24) (Tabela 2).

b.2) Dose de radiação

A dose de radiação efetiva empregada em alguns estudos variou entre 10 e 12

mSV^(7,9,24), na dependência dos parâmetros técnicos utilizados.

Na nossa experiência, a técnica de PTC agregou cerca de 12 mSv em média por paciente ao exame de TC convencional, cuja dose de radiação para as três fases tem variado entre 20 e 25 mSv (entre 7 e 8 mSv por fase de aquisição). Estes valores encontram-se dentro dos limites recomendados para exposição anual à radiação ionizante⁽²⁵⁾. Diversos estudos têm procurado demonstrar o valor da PTC obtida com baixas doses de radiação, reduzindo-se o kVp^(5,9) e o mAs^(7,24) (Tabela 3).

b.3) Volume de contraste, concentração e velocidade de injeção

Um volume de contraste entre 40 e 70 ml e uma velocidade de injeção entre 3,5 e 10 ml/s são geralmente adequados para uma ótima avaliação perfusional^(1,2,10,16).

Esta grande variação ocorre em função do modelo matemático que cada aparelho utiliza. Para os que adotam o método compartimental, injeção com velocidade entre 5 e 10 ml/s é preferida. Em equipamentos que adotam o método deconvolucional, utilizam-se menores fluxos de injeção (por exemplo: entre 3,0 e 5,0 ml/s). No entanto, como já citado, altas velocidades de injeção (7 a 10 ml/s) são consideradas benéficas para maximizar o realce tecidual e otimizar a relação sinal-ruído (Tabela 3)⁽¹⁾. Nos nossos estudos temos adotado velocidade de injeção de 6,0 ml/s, utilizando-se cateterização de veia antecubital calibrosa através de Gelco calibre 18G ou 20G.

Devido à relação linear entre a concentração de iodo e o realce tecidual, maiores concentração de iodo no meio de contraste (370 a 400 mg/ml) são ideais^(1,2,16) e esta tem sido a estratégia adotada por nós, sempre que possível.

b.4) Intervalo (delay)

Na maioria das aplicações clínicas, um intervalo de 5 a 15 segundos entre o início da injeção e o início da aquisição das imagens (delay) é considerado adequado, na dependência da região avaliada, sendo ideal um delay entre 5 e 8 segundos para estudos da região cervical, tórax e abdome, e entre 10 e 15 segundos para estudos da pelve e das extremidades⁽¹⁾.

Aquisição das imagens tomográficas

Em nossa instituição, os exames de TC de abdome e pelve são realizados em equipamento *multislice* com 64 fileiras de detectores, marca Philips, modelo Brilliance 64 (Philips Medical Systems; Best, Holanda) com *software* de perfusão da própria empresa (Brilliance Perfusion 4.0).

O exame de PTC é constituído por duas fases, conforme relatado anteriormente.

A primeira fase é realizada sem administração intravenosa de meio de contraste, executada com técnica *multislice* e aquisição volumétrica estendendo-se desde o diafragma até a sínfise púbica. Os parâmetros técnicos da TC usados nessa fase envolvem colimação de 64 x 0,625 mm, 120 kVp, mAs 120, *pitch* de 0,891 e espessura de corte de 3 mm. Esta primeira fase é utilizada para realizar a marcação da área de interesse, que terá uma extensão de 4 cm, onde será realizado o estudo perfusional. Novos programas de aquisição e reconstrução (por exemplo: Jog-scan[®]), ainda não amplamente disponíveis, permitem multiplicar por dois a extensão da área de estudo ao longo do eixo z.

A segunda fase, que corresponde ao estudo perfusional propriamente dito, é realizada após a administração intravenosa do meio de contraste iodado, hidrossolúvel

Tabela 2 Principais artigos e os parâmetros técnicos utilizados por diversos autores.

	kVp	mAs
Yao et al. ⁽³⁾	120	100
d'Assignies et al. ⁽⁹⁾	100	100
Sahani et al. ⁽²⁵⁾	100-120	200-240
Sahani et al. ⁽⁵⁾	100	240
Goh et al. ⁽⁷⁾	120	60
Goh et al. ⁽²⁴⁾	120	60
Bellomi et al. ⁽⁶⁾	120	300

Tabela 3 Parâmetros técnicos (volume/concentração/fluxo de contraste) utilizados nos principais artigos.

	Volume / concentração / fluxo
Bellomi et al. ⁽⁶⁾	40 ml (370 mg/ml) + 40 ml solução salina 4 ml/s
Goh et al. ⁽⁷⁾	100 ml (340 mg/ml) / 5 ml/s
Yao et al. ⁽³⁾	50 ml (300 mg/ml) / 6 ml/s
d'Assignies et al. ⁽⁹⁾	40 ml (350 mg/ml) / 4 ml/s
Sahani et al. ⁽⁵⁾	70 ml (300 mg/ml) / 7 ml/s
Goh et al. ⁽²⁴⁾	100 ml (340 mg/ml) / 5 ml/s
Sahani et al. ⁽²⁵⁾	125 ml (300 mg/ml) / não informado

e não iônico, obtendo-se cortes axiais na área demarcada anteriormente, utilizando os parâmetros tomográficos relacionados na Tabela 4, conforme já publicado⁽³⁾.

Para diminuir a presença de artefatos de movimento respiratório, que é a principal causa de insucesso na aquisição das imagens, é utilizada uma faixa de compressão abdominal (disponível no próprio aparelho), sendo o paciente orientado para respirar da forma a mais lenta e pausada possível. Desta maneira garante-se a obtenção de imagens de boa qualidade e sem artefatos de respiração (Figura 1).

Tabela 4 Parâmetro técnicos utilizados em nossa instituição.

KVp	120
mAs	100
Volume de contraste	50 ml
Concentração de contraste	350 mg/ml
Volume de solução salina	30 ml
Velocidade de injeção	6 ml/s
Delay	5 segundos
Número de ciclos	20 ciclos
Intervalo entre os ciclos	3 segundos
Duração de aquisição das imagens	60 segundos
Espessura de corte	2 × 10 mm
Pitch	0

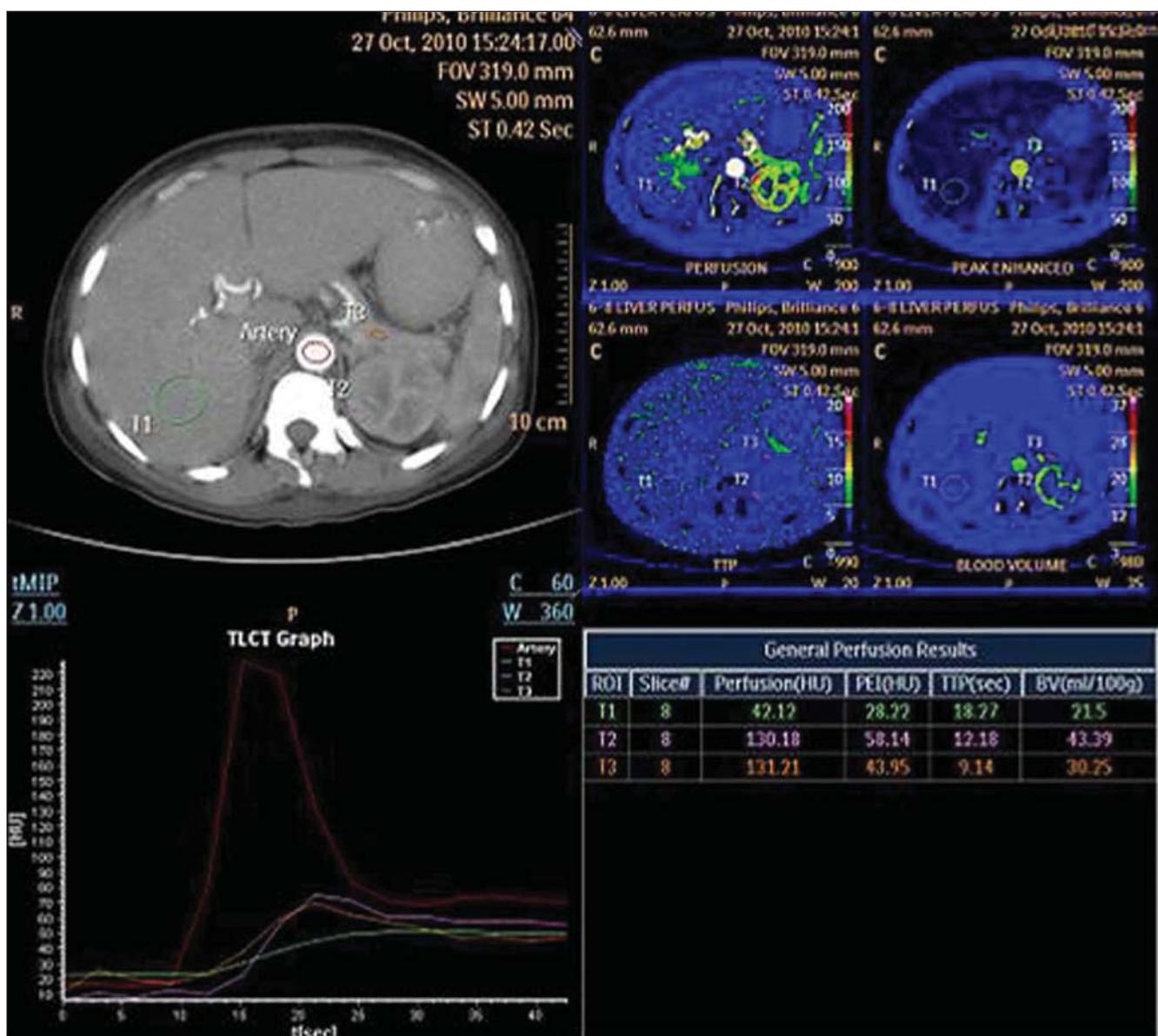


Figura 1. Exame de PTC, em que se obtêm os parâmetros perfusionais do fígado (segmento VI), cortical renal e pâncreas fornecidos em forma de mapa, gráficos e valores absolutos. A sequência foi adquirida durante respiração livre, sem artefatos de respiração expressivos.

Processamento das imagens

Ao término do exame de PTC, as imagens adquiridas e reconstruídas são transferidas para uma estação de trabalho, e utilizando-se o programa CT Perfusion são realizados o seu processamento, a criação dos mapas funcionais coloridos e o cálculo dos parâmetros funcionais.

O programa utilizado é de fácil manuseio e automatizado, sofrendo pouca interferência do usuário na obtenção dos mapas funcionais.

Inicialmente, deve-se fazer uma avaliação da qualidade técnica do exame confirmando a ausência de artefatos respiratórios e de movimento. Em seguida, uma região de interesse (ROI) circular deve ser desenhada na região central de um vaso sanguíneo arterial calibroso (por exemplo: aorta), para ser usado como referência da concentração arterial do meio de contraste e se obter a curva de concentração arterial do contraste em relação ao tempo (*artery input function*) (Figura 2). Nos exames da pelve po-

demos utilizar a artéria íliaca como o vaso sanguíneo de referência do fluxo arterial.

A seguir, desenham-se as ROIs, à mão livre, ao redor das lesões/área de interesse, coincidindo exatamente com os limites externos das mesmas para a quantificação dos parâmetros funcionais (Figura 2). Depois de definidas as ROIs nas lesões em estudo, o programa CT Perfusion calcula automaticamente os valores perfusionais, de acordo com o equipamento e o modelo matemático utilizado⁽¹⁾.

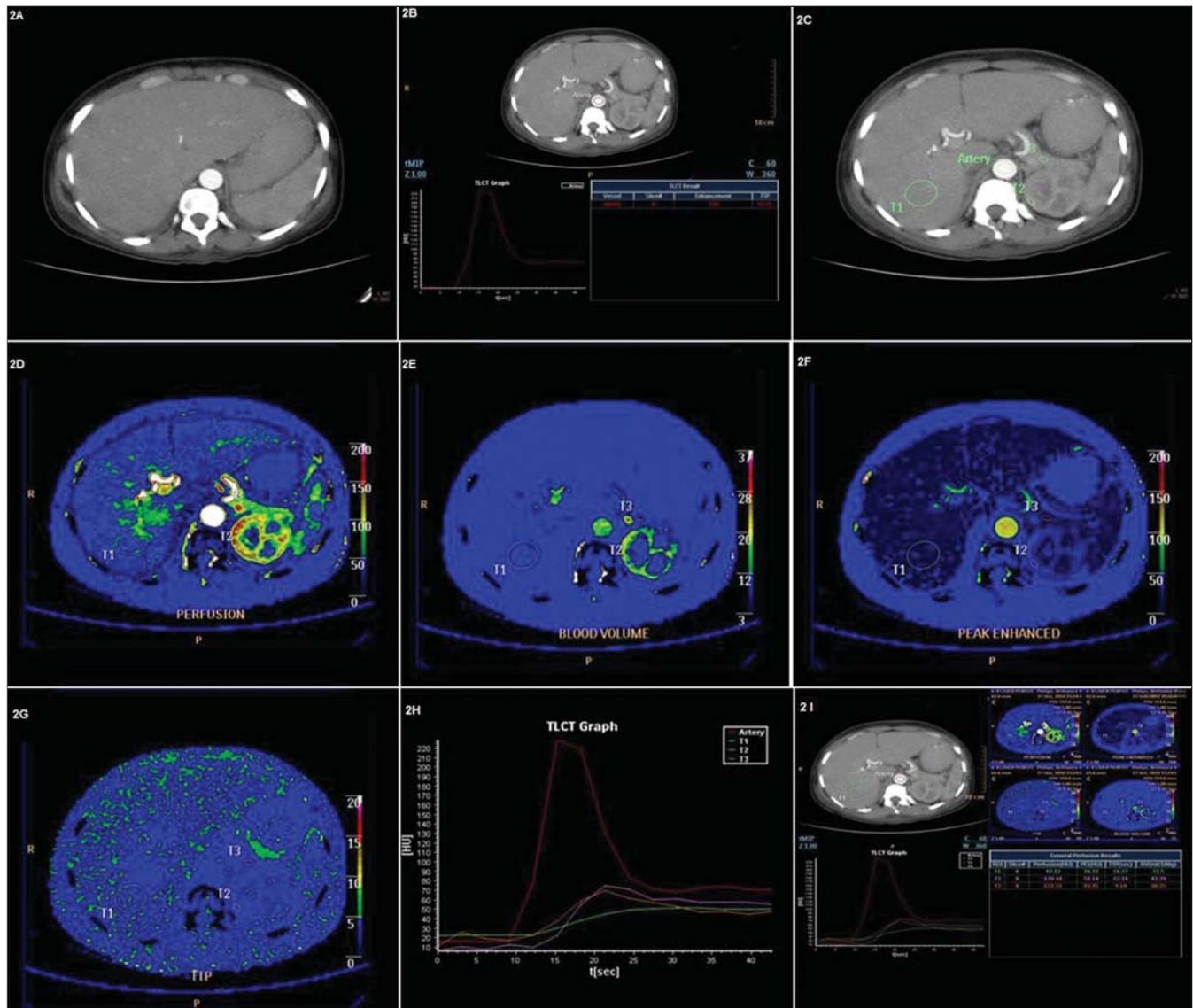


Figura 2. Exame de PTC mostrando passo a passo as principais etapas do processamento das imagens. **A:** O passo I envolve a escolha das imagens dinâmicas/pós-contraste da área de interesse de estudo. **B:** O passo II consiste na colocação da ROI na aorta para ser usada como referência da concentração arterial do meio de contraste e se obter a curva de concentração arterial do contraste em relação ao tempo. **C:** O passo III é a colocação de ROIs na área de interesse a serem estudadas; neste caso foram colocadas de forma aleatória no fígado, cortical renal e pâncreas. **D,E,F,G,H:** Em seguida (passo IV) são obtidos de forma automática os parâmetros perfusionais (perusão, BV, PE e TTP), com representação em forma de mapas coloridos, gráficos e valores absolutos. **I:** Display geral do exame, com todos os parâmetros perfusionais e suas diversas formas de representação (mapas coloridos, gráficos e valores absolutos).

CONCLUSÃO

A PTC possui indicações bastante variadas, tais como a diferenciação entre processos inflamatórios e tumorais, comprometimento funcional de certos órgãos, diagnóstico de recidiva tumoral após terapêuticas minimamente invasivas, entre outras.

O seu principal diferencial sobre as outras técnicas reside na capacidade de caracterizar comportamentos perfusionais distintos e que traduzem alterações biológicas de determinadas lesões e tecidos doentes.

Após ampla revisão da literatura e a inserção do exame na nossa rotina de atendimento, podemos concluir que a PTC é um método de fácil execução, com aplicabilidade em diversas doenças abdominais. Por isso, acreditamos que este método terá espaço não apenas no campo da pesquisa, mas também na prática diária, sendo uma ferramenta adicional ao estudo tomográfico convencional.

No entanto, estratégias de redução de dose de radiação e programas (*softwares*) que possam proporcionar um aumento na área de avaliação podem ampliar ainda mais a utilização do método.

REFERÊNCIAS

1. Kambadakone AR, Sahani DV. Body perfusion CT: technique, clinical applications, and advances. *Radiol Clin North Am.* 2009;47:161–78.
2. Miles KA. Perfusion CT for the assessment of tumor vascularity: which protocol? *Br J Radiol.* 2003;76 Spec No 1:S36–42.
3. Yao J, Yang ZG, Chen TW, et al. Perfusion changes in gastric adenocarcinoma: evaluation with 64-section MDCT. *Abdom Imaging.* 2010; 35:195–202.
4. Pandharipande PV, Krinsky GA, Rusinek H, et al. Perfusion imaging of the liver: current challenges and future goals. *Radiology.* 2005;234:661–73.
5. Sahani DV, Holalkere NS, Mueller PR, et al. Advanced hepatocellular carcinoma: CT perfusion of liver and tumor tissue – initial experience. *Radiology.* 2007;243:736–43.
6. Bellomi M, Petralia G, Sonzogni A, et al. CT perfusion for the monitoring of neoadjuvant chemotherapy and radiation therapy in rectal carcinoma: initial experience. *Radiology.* 2007;244:486–93.
7. Goh V, Halligan S, Taylor SA, et al. Differentiation between diverticulitis and colorectal cancer: quantitative CT perfusion measurements versus morphologic criteria – initial experience. *Radiology.* 2007;242:456–62.
8. Koenig M, Klotz E, Luka B, et al. Perfusion CT of the brain: diagnostic approach for early detection of ischemic stroke. *Radiology.* 1998;209:85–93.
9. d'Assignies G, Courvelard A, Bahrami S, et al. Pancreatic endocrine tumors: tumor blood flow assessed with perfusion CT reflects angiogenesis and correlates with prognostic factors. *Radiology.* 2009;250:407–16.
10. Miles KA, Charnsangavej C, Lee FT, et al. Application of CT in the investigation of angiogenesis in oncology. *Acad Radiol.* 2000;7:840–50.
11. Van Beers BE, Leconte I, Materne R, et al. Hepatic perfusion parameters in chronic liver disease: dynamic CT measurements correlated with disease severity. *AJR Am J Roentgenol.* 2001; 176:667–73.
12. Dawson P. Functional imaging in CT. *Eur J Radiol.* 2006;60:331–40.
13. Tsuji Y, Yamamoto H, Yazumi S, et al. Perfusion computerized tomography can predict pancreatic necrosis in early stages of severe acute pancreatitis. *Clin Gastroenterol Hepatol.* 2007;5:1484–92.
14. Miles KA. Tumour angiogenesis and its relation to contrast enhancement on computed tomography: a review. *Eur J Radiol.* 1999;30:198–205.
15. Miles KA, Griffiths MR. Perfusion CT: a worthwhile enhancement? *Br J Radiol.* 2003;76:220–31.
16. Miles KA. Functional computed tomography in oncology. *Eur J Cancer.* 2002;38:2079–84.
17. Cao J, Yang A, Long XY, et al. CT hepatic volume measurement combined with CT perfusion imaging in evaluating the hepatic functional reserve. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban.* 2007;32:422–6.
18. Miles KA, McPherson SJ, Hayball MP. Transient splenic inhomogeneity with contrast-enhanced CT: mechanism and effect of liver disease. *Radiology.* 1995;194:91–5.
19. Miles KA, Hayball MP, Dixon AK. Functional images of hepatic perfusion obtained with dynamic CT. *Radiology.* 1993;188:405–11.
20. Blomley MJ, Coulden R, Dawson P, et al. Liver perfusion studied with ultrafast CT. *J Comput Assist Tomogr.* 1995;19:424–33.
21. Tsushima Y, Blomley JK, Kusano S, et al. The portal component of hepatic perfusion measured by dynamic CT: an indicator of hepatic parenchymal damage. *Dig Dis Sci.* 1999;44:1632–8.
22. Bader TR, Herneth AM, Blaicher W, et al. Hepatic perfusion after liver transplantation: noninvasive measurement with dynamic single-section CT. *Radiology.* 1998;209:129–34.
23. Miles KA, Leggett DA, Bennett GA. CT derived Patlak images of human kidney. *Br J Radiol.* 1999;72:153–8.
24. Goh V, Halligan S, Daley F, et al. Colorectal tumor vascularity: quantitative assessment with multidetector CT – do tumor perfusion measurements reflect angiogenesis? *Radiology.* 2008;249: 510–7.
25. D'Ippolito G, Medeiros RB. Exames radiológicos na gestação. *Radiol Bras.* 2005;38:447–50.