

EVOLUÇÃO DAS RADIAÇÕES EM SAÚDE: MODIFICAÇÕES TÉCNICAS E RELEVÂNCIA MÉDICO-CIENTÍFICA

JOANA DA FONSECA E OLIVEIRA*
SÉRGIO RICARDO JOAQUIM VALENTE**

A convergência digital tem sido responsável pelo aparecimento e afirmação ao longo das últimas décadas de equipamentos radiológicos mistos, isto é, que conjugam diferentes valências, e pelo não menos relevante desenvolvimento de *softwares* dedicados à reconstrução e/ou fusão de imagem. Os equipamentos de Tomografia por Emissão de Positrões/Ressonância Magnética (PET/MRI), encarados atualmente como a vanguarda em termos de investigação, e os de Tomografia por Emissão de Positrões/Tomografia Computadorizada (PET/CT), já presentes na generalidade das unidades de medicina nuclear, são caracterizadores da recente evolução tecnológica.

De mencionar que este tipo de equipamentos mistos, bem como os procedimentos que lhes estão associados, implicam da parte dos profissionais conhecimentos tanto em medicina nuclear quanto em radiologia. Deste modo, a tendência atual é para a confluência de saberes entre a medicina nuclear, a radiologia e, também, a radioterapia. Sintomático desta tendência é a recente substituição em Portugal, aliás seguindo a prática existente noutros países, dos anteriores cursos superiores dedicados a cada uma destas disciplinas pelo Curso de Imagem Médica e Radioterapia.

A presente perceção da área permite a recuperação de um entendimento historiográfico de conjunto no que se refere à aplicação das radiações às ciências da saúde.

* Docente Assistente Convidada na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa (ESTeSL). jotoliveira@hotmail.com.

** Investigador na Cátedra de Estudos Sefarditas «Alberto Benveniste». sergiov@campus.ul.pt.

Os desenvolvimentos ocorridos neste campo de aplicação encontram-se naturalmente arreigados ao processo de conhecimento científico do fenómeno da radiação¹.

O marco de maior significância para a compreensão moderna das radiações são as experiências conduzidas por Wilhelm Röntgen em 1895, que permitiram a descoberta dos raios-X, assim denominados pelo desconhecimento existente em relação à natureza dos mesmos. No entanto, tal como afirma, entre outros, Widder², o mérito de Röntgen não decorre da observação e descrição da fluorescência do platinocianeto de bário, pois as experiências com raios catódicos já decorriam há cerca de 20 anos e é indubitável que fenómenos de fluorescência já tivessem sido observados anteriormente; mas sim da determinação das propriedades deste novo tipo de radiação através de um conjunto de experiências que decorreram num intervalo temporal de muito curta duração. Com efeito, pode afirmar-se que a investigação de Röntgen decorreu a uma velocidade verdadeiramente alucinante. A descrição apresentada por Bynum na sua monografia *Science and the Practice of Medicine in the Nineteenth Century* exprime, de modo bastante claro, esta ideia:

Working with the vacuum tube perfected by the English scientist (and psychical researcher) William Crookes (1832-1919), Röntgen effectively discovered x-rays in early November; on 22 December he x-rayed his wife's hand, which photograph becomes one of the most potent images of the whole century. On 28 December he communicated his findings to the Würzburg Physical-Medical Society; ten days later newspapers all over the world had been informed of Röntgen's rays³.

O meio científico, que então centrava os seus esforços na eletrodinâmica e na ótica, não apercebia a radiação como uma prioridade. Porém, as notícias da descoberta, primeiramente recebidas com incredulidade, produziram um interesse crescente entre a opinião pública e alguns sectores da comunidade científica, entre os quais o da saúde.

A potencialidade decorrente da aplicação dos raios-X ao diagnóstico médico foi reconhecida imediatamente após a publicitação da descoberta. Logo, a 7 de janeiro de 1896, ocorre o primeiro registo radiográfico com finalidade clínica. A extemporaneidade desta adaptação decorre da mediatização da descoberta e, principalmente, do processo de desenvolvimento de técnicas e instrumentos de mediação entre o corpo do paciente

¹ Por radiação entende-se a transferência de energia no espaço, podendo esta manifestar-se sob a forma eletromagnética (como: ondas de rádio — associadas à ressonância magnética —, raios-X — associados à radiografia e tomografia computadorizada, raios gama — associados à medicina nuclear, micro-ondas, infravermelhos e ultravioletas) e corpuscular (por exemplo: feixe de neutrões, prótons, eletrões e partículas alfa e beta).

² WIDDER, 2014: 150-151.

³ BYNUM, 2006: 173.

e os sentidos cognitivos do clínico, que teve como episódio inaugural o aparecimento do estetoscópio.

Se tivermos em conta que no último quartel do século XIX existiu um interesse crescente por parte dos clínicos em relação às técnicas de fotografia médica e se a tal associarmos a simplicidade do processo e baixo custo envolvido na produção de raios-X é perceptível o porquê de as «fotografias interiores» obtidas mediante o emprego dos raios de Röntgen terem sido acolhidas no meio médico-científico com gáudio e alguma ligeireza.

A área da física das radiações, que podemos considerar haver sido inaugurada por Röntgen, tornou-se logo em 1896 das mais profícuas tanto em número de investigações como de publicações. Note-se que foi nesse ano que Henri Becquerel e Marie Curie, levando a cabo experiências com sais de urânio, descobriram a radioatividade natural. Este fenómeno tornar-se-ia o tema da tese de doutoramento de Marie Curie e o seu campo de investigação primacial ao longo de toda a vida.

1896 foi igualmente relevante quanto aos desenvolvimentos ocorridos tendo em vista a aplicabilidade da radiação para fins clínicos. Entre estes merecem principal destaque: as experiências com vista à obtenção de imagens encefálicas realizadas por Thomas Edison (um dos principais responsáveis pela difusão dos raios-X nos Estados Unidos da América); a descoberta por Walter Cannon de que o estômago e intestino podiam ser observados num ecrã fluorescente mediante a ingestão de sais de bismuto; a observação dos primeiros efeitos da exposição à radiação, como ruborização, queimaduras, ulceração, dermatite e alopecia; e a realização das primeiras tentativas de utilização da radiação para fins terapêuticos.

Persiste ainda, entre a historiografia específica, uma querela sobre quem primeiramente terá aplicado a radioterapia: se Leopold Freund em Viena no tratamento de uma doença cutânea; se Emil Grubbé em Chicago no tratamento de um carcinoma da mama; se Victor Despeignes em Lyon no tratamento de um cancro do estômago. Não pretendemos tomar parte nesta discussão, nem tal facto nos parece merecedor de tal disputa, o que parece sim significativo, é que menos de um ano após a divulgação da descoberta, os raios-X já fossem vistos como indutores de alterações nos tecidos biológicos⁴.

Coube a um dos nomes vulgarmente apontados como pioneiros da radioterapia, Leopold Freund, a realização de uma experiência em finais de 1896, na qual expôs uma criança de 5 anos aos raios-X, para provar que estes induziam à queda de cabelo. As observações levaram-no a concluir os efeitos biológicos e acumulativos da radiação. No entanto, após discussão pública dos resultados, o próprio Freund tornou-se cético das

⁴ Os raios-X são um tipo de radiação ionizante. Designa-se por radiação ionizante os raios ou partículas que, quando em contacto com a matéria, provocam direta ou indiretamente a ionização dos átomos, podendo, por isso, ser responsáveis por alterações ao nível das células.

conclusões a que anteriormente havia chegado, como o mesmo faz questão de referir na primeira monografia dedicada à radioterapia, publicada por este investigador em 1903.

Os efeitos da radiação permaneceram um assunto controverso mesmo entre o meio científico. A experiência de Robert Kienböck, em 1900, foi crucial para demonstrar que os raios-X são agentes ativos na produção de alterações biológicas. A experiência, envolvendo coelhos posicionados a diferentes distâncias de uma fonte de radiação, demonstrava que os efeitos dependem da dose de radiação recebida, bem como da variação inter-individual quanto à sensibilidade radiológica. Com base nesta experiência, Kienböck foi o primeiro a recomendar que se deveria evitar a exposição desnecessária à radiação, enunciando um dos princípios básicos das atuais normas de proteção e segurança radiológica.

Outro importante testemunho dos efeitos da radiação é o relato efetuado por Marie Curie e Henri Becquerel, quando, em julho de 1901, Curie se expôs, intencionalmente, a uma pequena dose de rádio que colocou junto ao braço durante 10 horas.

Os chamados princípios da radiosensibilidade, segundo os quais a sensibilidade de uma célula à radiação é diretamente proporcional à sua atividade reprodutora e inversamente proporcional à sua especialização, foram definidos ainda na primeira década do século XX por Jean Bergonié e L.M. Tribondeau. Porém, apesar do conhecimento acumulado e das inúmeras experiências que se continuaram a realizar, só após H.J. Muller ter demonstrado que a radiação ionizante podia provocar mutações genéticas, isto no ano de 1927, se começaram a aplicar regras de segurança e a utilizar equipamentos de proteção e só com os bombardeamentos das cidades de Hiroshima e Nagasaki a opinião pública teve consciência dos efeitos adversos da radiação.

Note-se que a radioterapia se debateu, durante os primeiros anos da sua aplicação, com três problemas principais: a definição das técnicas a utilizar, a inexistência de medidas objetivas da radiação administrada e ausência de compreensão dos mecanismos de atuação da radiação. No entanto, aspectos como a facilidade e baixo custo dos equipamentos e procedimentos e a pouca importância que a generalidade dos clínicos atribuía aos relatos de efeitos secundários, levaram a que a radiação fosse aplicada enquanto terapia nas mais diversas situações. Este tipo de terapia, inicialmente empregue nas doenças cutâneas, foi mais tarde direcionada para os problemas oncológicos, se bem que com o entusiasmo existente na comunidade médica mesmo queimaduras decorrentes de exposição à radiação chegaram a ser tratadas recorrendo aos raios-X.

Ao nível do diagnóstico, as técnicas foram sendo aprimoradas de modo bastante célere, permitindo que mesmo antes do século XX só fosse necessário uma exposição de 2 a 3 minutos para se obterem imagens com bom contraste, quando inicialmente o tempo de exposição não era inferior a 20 minutos. Os raios-X mostraram-se eficazes na visualização do sistema osteoarticular, de lesões ao nível dos órgãos do tórax (sendo por isso aplicados no rastreio da tuberculose), de cálculos renais e biliares e na deteção

de corpos estranhos. Em relação a este último aspeto há que destacar a adoção da radiologia pela medicina militar com o intuito de rastrear balas alojadas no corpo dos soldados. Esta utilização foi de maior monta durante a I Guerra Mundial, tendo ficado célebres os equipamentos portáteis desenvolvidos por Marie Curie, todavia ocorreu pela primeira vez no conflito armado que opôs os Estados Unidos da América e a Espanha em 1898.

A título de curiosidade, o ano de 1898 é também aquele em que é instalado o primeiro serviço de radiologia em Portugal, no Hospital de São José. Acontecimento assinalável, até porque, como refere o Prof. Manuel Correia, em Portugal «nem sempre é tão célere o acompanhamento do desenvolvimento científico e tecnológico de outros países»⁵. Seguem-se-lhe os Hospitais Universitários de Coimbra em 1902 e o Hospital de Santo António no Porto em 1908.

Já no que concerne aos primeiros serviços de radioterapia e medicina nuclear em Portugal, estes são instalados no Instituto Português de Oncologia de Francisco Gil, nos anos 20 e dos anos 50, respectivamente. Também neste aspecto Portugal não se apartou de forma significativa das ocorrências externas, dado que a autonomização dos serviços de radioterapia face à radiologia e a institucionalização da medicina nuclear enquanto disciplina autónoma remonta na generalidade dos países europeus e americanos às décadas acima referidas.

Retomando a cronologia dos desenvolvimentos em relação ao conhecimento científico do fenómeno da radiação, deve-se a Ernest Rutherford a elaboração da teoria da transmutação radioactiva, em 1902, e a descoberta do núcleo atómico, em 1911. Esta última descoberta permitiu atestar que, tal como defendia Marie Curie, a radiação é um fenómeno atómico.

As investigações com vista à desintegração artificial do átomo e à determinação da sua constituição sucederam-se durante as décadas seguintes, ocupando diversos centros de investigação, sendo o mais célebre deles o Cavendish Laboratory, que contava com a liderança do próprio Rutherford.

De modo coevo, respondendo aos anseios em termos de eficácia de diagnóstico e de capacidade de direcionamento da radiação para áreas internas começaram a ser comercializados no ano de 1913 os tubos termoiónicos de Coolidge, também designados como de cátodo quente. No mesmo ano, G. Hevesy enuncia os princípios dos marcadores radioativos, lançando as bases do que viria a ser a medicina nuclear.

Os contadores Geiger, posteriormente renomeados de Geiger-Müller, começaram a ser utilizados para a deteção de radiação ionizante, ainda assim só com os aperfeiçoamentos introduzidos em meados da década de 20 por Müller, estes obtiveram a robustez necessária para serem aplicados em contexto clínico.

⁵ ANTUNES, 2007: 68.

Nos anos 20 ocorre a adoção de unidade de medida da radiação internacionalmente aceites, como o Curie e o Röntgen, o que teve claras implicações na uniformização de procedimentos e numa maior rapidez na adoção de novas práticas.

A radioterapia registou um desenvolvimento particularmente significativo nesta década, principiando-se o seu processo de autonomização. Este processo ficou-se a dever sobretudo à introdução, por Gustave Roussy e Simone Laborde das bombas de rádio (predecessoras das bombas de cobalto) e ao desenvolvimento de investigações com vista à diminuição dos danos causados nas células benignas. Estas investigações, que tiveram em Claudius Regard e Henri Coutard as figuras de maior relevo, culminaram como a implementação nos primeiros anos de 1933 do fracionamento da dose (divisão da dose total por diferentes sessões) a aplicar para fins terapêuticos. Note-se que o fracionamento em radioterapia implicou uma preparação técnica e procedimentos com maior especificidade, que obrigaram a uma mudança do paradigma clínico e profissional.

A década de 30 correspondeu aos anseios dos investigadores, permitindo um claro aumento do conhecimento ao nível dos fenómenos atómicos. Assim, deve-se a J. Chadwick, colaborador de Rutherford, a descoberta do neutrão logo em 1932; enquanto no ano de 1933 W. Pauli introduziu ao conhecimento científico uma nova partícula, designada por neutrino e Carl Anderson descobriu a antipartícula do electrão — o positrão. No ano seguinte, Enrico Fermi apresentou a primeira teoria para o declínio beta (modo de decaimento de alguns radioisótopos). Não obstante, foram Frédéric e Irène Joliot-Curie os responsáveis pela descoberta da radioatividade artificial em 1934, quando, através da irradiação de uma placa de alumínio com partículas α , produziram um isótopo instável com semivida muito curta e, por isso, inexistente na natureza.

Nesta década surgem os primeiros aceleradores de partículas, como o de J.D. Cockcroft e E.T.S. Walton na Grã-Bretanha e o de Niels Bohr na Dinamarca. Estes equipamentos utilizam uma fonte de partículas carregadas expostas a campos elétricos e magnéticos que as aceleram e as desviam da sua trajetória. A adaptação desta tecnologia à radioterapia levou ao surgimento de um dos principais instrumentos empregados por esta disciplina médica: o acelerador linear. Concomitantemente, é construído, por Ernest Lawrence em Berkeley (Califórnia), o primeiro ciclotrão, o que permitiu o início da produção de radionuclídeos para uso médico — surgia assim o que hoje designamos por medicina nuclear. Esta especialidade assenta na introdução de substâncias radioisotópicas, emissoras de radiação gama e beta, que ligadas a moléculas específicas, podem ser acompanhadas no organismo, mediante a utilização de equipamentos apropriados.

A fissão nuclear por irradiação do urânio com neutrões foi provocada pela primeira vez por Otto Hahn e Fritz Strassmann ainda antes da II Guerra Mundial, porém foi Lise Meitner, auxiliada por O.R. Frisch, que conseguiu fazer a interpretação dos resultados. Assim, apesar do pouco crédito que lhe tem sido atribuído, foi Meitner quem soube

extrair do fenómeno as implicações que lhe deram futuro científico e tecnológico: as bombas atómicas, mas também a produção de energia para fins pacíficos, por meio de reatores nucleares de fissão. O primeiro destes reatores, conhecido como *Pile-1*, foi construído em Chicago sob supervisão de Enrico Fermi no ano de 1942.

Os reatores nucleares demonstraram ser poderosas fontes de neutrões, permitindo a investigação e comercialização de um cada vez maior e mais variado número de radioisótopos artificiais. Deste modo, ficaram à disposição da física médica diferentes radionuclídeos com características radioativas diversas.

Noutro âmbito, iniciou-se na década de 40 o desenvolvimento dos cristais de cintilação, primeiramente por H. Kallman, e, posteriormente, com a introdução dos cristais de iodeto de sódio ativados com tálio, por Robert Hofstadter. Estes desenvolvimentos ao nível das partes componentes permitiram o aparecimento dos protótipos de *scanner* para Medicina Nuclear em 1949 e principalmente o desenvolvimento da câmara-gama ou de Anger, assim nomeada em referência ao seu inventor, durante os anos 50. Note-se que ao contrário dos equipamentos radiológicos, responsáveis por emitir e detetar a radiação, a câmara-gama, bem como os outros equipamentos de Medicina Nuclear, é um equipamento dedicado exclusivamente à deteção da radiação, uma vez que a fonte de emissão é o próprio paciente.

No período do pós-guerra surgem também os geradores de Tecnécio-99m que vieram permitir uma maior autonomia e facilidade da parte dos serviços clínicos em aceder aos radiofármacos; tomam forma os primeiros projetos com vista ao desenvolvimento de equipamentos de tomografia, se bem que as primeiras concetualizações desses equipamentos remontem a trabalhos publicados por Karol Mayer em 1916; ocorrem os primeiros desenvolvimentos em ressonância magnética (MRI); são introduzidos os tubos fotomultiplicadores e uma nova geração de intensificadores de imagem, o que propicia uma redução drástica ao nível da quantidade de radiação associada à execução das técnicas radiológicas; e são colocados em prática clínica os primeiros radioisótopos com finalidade terapêutica, como é o caso do Iodo-131, empregue no tratamento do cancro da tiróide.

O pós-guerra, com todas as inovações anteriormente mencionadas, é igualmente o momento de expansão e afirmação por excelência das técnicas radiológicas, permitindo-lhes alcançar uma relevância primeira quanto ao diagnóstico e terapêutica, mas levando, muito por culpa da necessidade de especialização dos profissionais, à segmentação da área.

Nas últimas décadas do século XX assistiu-se à persecução das investigações iniciadas logo após a II Guerra Mundial, sendo alguns equipamentos aprimorados e/ou definitivamente introduzidos na prática clínica. Referimo-nos: à CT (conhecida popularmente por TAC), que permite estudar os diferentes níveis de absorção da radiação pelos diversos tecidos que constituem o organismo e cujos principais desenvolvimentos

se devem a Godfrey Hounsfield nos anos 70; à MRI, cujo equipamento foi apresentado por Paul C. Lauterbur em 1971, mas que só foi direcionado para o uso em humanos em meados da década de 80, e que se baseia na capacidade para a deteção da precessão dos núcleos atômicos devido à influência de radiofrequências e/ou campos magnéticos e o entendimento do significado biológico destas variações; à adoção do sistema de rotação de detetores desenvolvido por John Keyes, que está na base da moderna tomografia; à implementação das técnicas de radioterapia de intensidade modulada (IMRT), que permite a utilização simultânea de radiações com diferentes intensidades, e radioterapia guiada por imagem (IGRT), que tem em atenção eventuais deslocações do tecido-alvo; ao desenvolvimento desde meados da década de 70 dos equipamentos PET, que têm por base a deteção de fotões gama com energias elevadas, resultantes da aniquilação positrão-eletrão e que permite detetar alterações funcionais nos tecidos, antes mesmo de se manifestarem anatomicamente; e à combinação de modalidades, o que demonstra ser bastante vantajoso e promissor com vista a um diagnóstico cada vez mais precoce, o seguimento de patologias e o planeamento de radioterapia e/ou intervenções cirúrgicas.

A invenção do equipamento de CT originou uma mudança de paradigma entre a radiologia tradicional e a imagiologia médica moderna, permitindo que esta não seja somente uma técnica de diagnóstico, mas se venha a afirmar como um recurso essencial para a escolha de um processo terapêutico adequado.

As técnicas radiológicas, tanto em vertente de diagnóstico, como de terapia têm sido sujeitas a uma constante evolução. O carácter marcadamente estrutural das primeiras técnicas de diagnóstico faz parte de um paradigma passado, sendo que atualmente existe um claro enfoque nos estudos funcionais. Por outro lado, como expõe a Dr.^a Maria do Rosário Vieira, a «orientação classicamente dirigida para sistemas e órgãos, pode ser agora orientada para níveis mais elementares: molecular e tissular»⁶, isto em face dos recentes avanços nas ciências biomédicas. Tal como referido anteriormente, as técnicas estão cada vez mais entrecruzadas, o que implica procedimentos e profissionais distintos dos existentes em períodos passados. O foco é cada vez mais aquilo que alguns sectores identificam por teranóstico, ou seja, a adoção de informação biológica individual de modo a otimizar a terapia. Algo que na essência não difere das aspirações médicas anteriormente existentes, e que em grande medida se encontra na medicina nuclear desde os seus primórdios, com o uso de marcadores específicos para tecidos específicos, mas que na atual era de convergência tecnológica parece encontrar as condições para a sua plena exequibilidade.

⁶ INSTITUTO PORTUGUÊS DE ONCOLOGIA DE FRANCISCO GENTIL. Departamento de Radioterapia, [1998]: 131.

BIBLIOGRAFIA

- ANTUNES, Maria da Luz, *coord. ed.* (2007) — *O livro*. Lisboa: Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa.
- BOTELHO, Luís da Silveira, *coord.* (2000) — *O Instituto Português de Oncologia: 75.º aniversário*. [Lisboa]: Elo.
- BRITISH INSTITUTE OF RADIOLOGY (2016) — *History of radiology*. Disponível em <<http://www.bir.org.uk/patients-public/history-of-radiology/>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].
- BYNUM, W. F. (2006) — *Science and the practice of medicine in the nineteenth century*. Cambridge: Cambridge University Press.
- COSSET, J.-M. (2016) — *Laube de la radiothérapie, entre coups de génie, drames et controverses*. «Cancer/ Radiothérapie», vol. 20, n.º 6-7, p. 595-600. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1278321816303778>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].
- ENTRALGO, Pedro Lain, *dir.* (1975) — *Historia universal de la medicina*. Barcelona: Salvat, vol. 7.
- EUROPEAN SOCIETY OF RADIOLOGY (2012) — *The story of radiology*. Viena: European Society of Radiology, 3 vols. Disponível em <<http://www.internationaldayofradiology.com/publications/>> [Consulta realizada em 28/09/2016].
- GIL, F. B. (2004) — *Nota de abertura*. In BEYER, Robert T. — *Textos fundamentais da física moderna*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, vol. 3, p. v-xxvii.
- GIOVANELLA, Luca *et al.* (2013) — *Nothing new under the nuclear sun: towards 80 years of theranoostics in nuclear medicine*. «European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging», vol. 41, p. 199-201. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007/s00259-013-2609-2>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].
- HASEGAWA, Tomoyuki; MURAYAMA, Hideo (2013) — *Hal Oscar Anger, D.Sc. (hon.) (1920-2005): a pionner in nuclear medicine instrumentation*. «Radiological Physics and Technology», vol. 7, p. 1-4. Disponível em <<http://link.springer.com/article/10.1007/s12194-013-0252-z>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].
- INSTITUTO PORTUGUÊS DE ONCOLOGIA DE FRANCISCO GENTIL. Departamento de Radioterapia, *org.* (1995) — *Centenário dos raios X (1985-1995), comemorações da Universidade Nova de Lisboa e Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil: ciclo de conferências e mesas redondas*. Lisboa: Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DE ONCOLOGIA DE FRANCISCO GENTIL. Departamento de Radioterapia, *org.* [1998] — *Centenário da descoberta do rádio (1898-1998): comemorações do 75.º aniversário do Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil: ciclo de conferências e mesas redondas*. Lisboa: Instituto Português de Oncologia de Francisco Gentil.
- MARCO, Margherita Silvia (2015) — *Towards and epistemology of medical imaging*. Lisboa: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Tese de doutoramento.
- MORRIS, Peter J.; SCATLIFE, James H. (2014) — *From Röntgen to Magnetic Resonance Imaging*. «North Carolina Medical Journal», vol. 75, n.º 2, p. 111-113. Disponível em <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24663131>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].
- PORTER, Roy (1999) — *The greatest benefit to mankind: a medical history of humanity from Antiquity to the present*. [London]: Fontana Press.
- REISER, Stanley Joel (1999) — *Medicine and the reign of technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SLATER, James M. (2012) — *From x-rays to ion beams: A short history of radiation therapy*. In LINZ, Ute, *ed.* — *Ion beam therapy: fundamentals, technology, clinical applications*. Heidelberg: Springer. Disponível em <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-21414-1_1>. [Consulta realizada em 28/09/2016].
- SELLÉS, Manuel; SOLÍS, Carlos (2005) — *Historia de la ciencia*. Barcelona: Espasa.

SOURNIA, Jean-Charles (1992) — *História da medicina*. [Lisboa]: Instituto Piaget.

THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR THE HISTORY OF RADIOLOGY (2011) — *ISHRAD*.

Disponível em <<http://ishrad.org/>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].

WATSON, B. W., ed. (1979) — *Medical imaging techniques*. London: Peter Peregrinus.

WIDDER, Joachim (2014) — *The origins of radotherapy: Discovery of biological effects of X-rays by Freund in 1897, Kienböck's crucial experiments in 1900, and still it is the dose*. «Radiotherapy and Oncology», vol. 112, p. 150-152. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167814014002680>>. [Consulta realizada em 28/09/2016].