

# Marie Curie: pioneira na descoberta da radioactividade, dos primeiros radionuclidos e suas aplicações em medicina

Fernando P. Carvalho

Instituto Superior Técnico/Campus Tecnológico Nuclear, Universidade de Lisboa  
carvalho@itn.pt

## Sumário

Os trabalhos científicos de Marie Curie sobre radioactividade e, em particular, a descoberta e caracterização do rádio e do polónio, os primeiros elementos radioactivos descobertos através das radiações, deram início a uma nova época da química e da física nuclear e das suas aplicações em medicina. A energia de Marie Curie na actividade de investigação científica e o empenho que colocou na aplicação das suas descobertas modificaram de forma significativa o tratamento de doenças da pele e tumores, e deram início às disciplinas de radioterapia e curieterapia (actual braquiterapia). Este artigo recorda os principais passos da descoberta da radioactividade e dos novos elementos radioactivos e o nascimento da radioterapia, colocados no contexto científico da época.

## Summary

*The scientific work carried out by Marie Curie on radioactivity and in particular the discovery and characterization of radium and polonium, the first radioactive elements discovered through radiation, started a new era in chemistry and nuclear physics sciences and their applications in medicine. The strength of Marie Curie in scientific research and her engagement in the application of her scientific discoveries imprinted the treatment of skin diseases and tumours and paved the way for the foundation of radiotherapy and curietherapy (currently named brachytherapy). This article summarizes the early steps towards the discovery of radioactivity, new radioactive elements and the dawn of radiotherapy placed in the scientific context of the epoch.*

## Introdução

A data de nascimento de Marie Curie, 7 de Novembro, foi agora escolhida para a celebração do Dia Internacional da Física Médica. Não poderia ser mais apropriado. Ainda recentemente se celebrou o centenário do Prémio Nobel de Química atribuído em 1911 a Marie Curie, uma efeméride



Fig. 1 - Marie Curie com 44 anos, fotografada no ano de atribuição do Prémio Nobel da Química.

digna de nota e escolhida pela UNESCO, organismo das Nações Unidas, para lema do Ano Internacional da Química em 2011. Estas escolhas não poderiam ser mais oportunas pois estamos numa época em que progredem rapidamente as aplicações de radioisótopos na medicina e se procura o reforço da utilização do átomo e da radioactividade para a paz. E, sobretudo, porque é, hoje e sempre, oportuno relembrar as descobertas científicas de Marie Curie e a importância que essas descobertas tiveram no contexto científico do seu tempo. É igualmente importante destacar o exemplo do seu trabalho científico, fundamental e aplicado, bem como o significativo contributo que esse trabalho trouxe para a melhoria das nossas vidas. Marie Curie foi, também,

uma mulher multifacetada e atenta aos problemas do seu tempo, cuja acção a coloca entre as mulheres que mais contribuíram para influenciar o mundo. Este artigo passa em revista os factos mais significativos da vida de Marie Curie e o seu contributo para a ciência e a sociedade.

### Breve nota biográfica de Marie Curie (1867-1934)

Maria Sklodovska (Curie) nasceu a 7 Novembro de 1867 em Varsóvia, na Polónia. Filha de um professor de matemática e física e de uma directora de escola, era a mais nova dos cinco filhos do casal. A Polónia tinha perdido a independência e era nessa época dominada pela Rússia czarista. As mulheres não tinham acesso a uma carreira profissional e o mundo universitário e científico era essencialmente um domínio masculino. A intelectualidade dos países do leste europeu, tal como de outros países, sonhava em imigrar para França. Paris, a “Cidade das Luzes”, era então o centro das artes e ciências para onde convergiam intelectuais, artistas e estudantes provenientes de todo o mundo.

Maria Sklodovska viria a concluir em Paris a Licenciatura de Física na Faculté de Sciences, no ano de 1893, classificando-se em primeiro lugar. No ano seguinte concluiu a Licenciatura em Matemática, classificando-se em segundo lugar. Maria estava decidida a seguir uma carreira científica e em 1894 procurava um tema de doutoramento. Isso levou-a ao conhecimento de Pierre Curie, professor e investigador na Sorbonne, em cujo laboratório obteve trabalho e com quem viria a casar um ano mais tarde.

Em 1896 classificou-se em primeiro lugar no concurso para agregação em Física, habilitando-se assim a ensinar física a alunos do sexo feminino.

Em 1897 nasce a sua filha, Irene, que viria a seguir também uma carreira científica. A sua segunda filha, Eve, nascerá em 1904.

Marie Sklodovska Curie prosseguiu o seu trabalho no laboratório de Pierre, onde decide escolher como tema de tese o estudo dos “raios urânicos”, radiação emitida pelo urânio e descoberta por Henri Becquerel um par de anos antes.

Em 1898 apercebeu-se que o minério de urânio, a pechblenda, é mais radioactivo que o urânio, o que a levou a supor que existiriam outros elementos radioactivos. Descobre dois desses elementos, que o casal Curie baptiza de polónio e de rádio.

Em 1903 defende na Universidade La Sorbonne em Paris a sua Tese de Doutoramento, “Recherches sur les substances radioactives”. Nesse ano recebe, juntamente com o marido Pierre Curie e com Henri Becquerel, o Prémio Nobel da Física pela descoberta da radioactividade natural. Marie Curie é a primeira mulher a receber o Prémio Nobel.

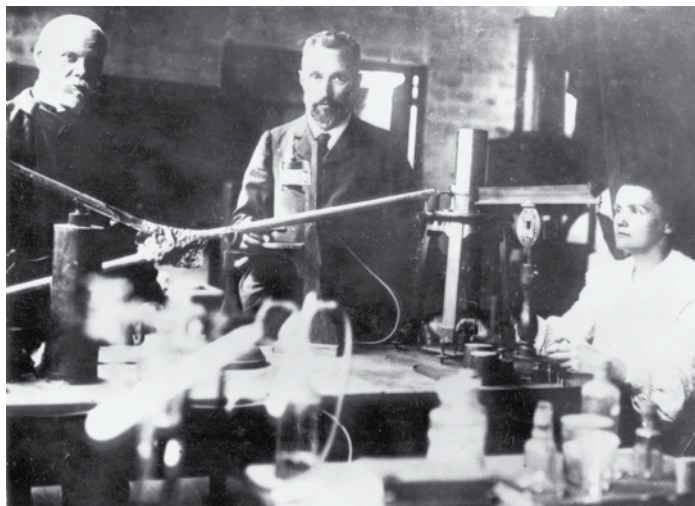


Fig. 2 - Marie Curie e Pierre Curie (ao centro), com o seu técnico de laboratório. Sobre a bancada, o electrómetro de Curie.

Em 1906, Pierre é atropelado mortalmente por uma carruagem de cavalos, em Paris. Marie Curie sucede-lhe na chefia do laboratório e é contratada como *Chargée de Cours*<sup>1</sup>, sendo a primeira mulher a ensinar na Universidade La Sorbonne.

Em 1910 publica o seu “Traité sur la Radioactivité”.

Em 1911 enfrenta o escândalo, que na época alcançou grandes proporções, de ter uma ligação amorosa com o físico Paul Langevin. A Académie des Sciences rejeita a sua candidatura para membro. Em Novembro desse ano é-lhe atribuído o Prémio Nobel da Química pelos seus trabalhos de separação e identificação do polónio e do rádio.

Em 1914 é inaugurado o Instituto do Rádio, mais tarde designado Instituto Curie, sendo constituído por um laboratório de estudos sobre a radioactividade chefiado por Marie Curie, e por um laboratório de aplicações do rádio na biologia e medicina.

Em 1921 visita os Estados Unidos da América onde é recebida em apoteose, e onde recebe a oferta de um grama de rádio que utilizará no Instituto do Rádio. Voltará aos EUA de novo em 1929.

Falece em 1934, em França, vítima de leucemia causada por exposição excessiva ao rádio e às radiações ionizantes.

Em 1995, as suas cinzas, bem como as de Pierre Curie, são transferidas para o Panteão, em Paris, onde repousam os cidadãos mais ilustres da Nação Francesa [1-4].

### A descoberta da radioactividade

Os raios X, descobertos pelo físico alemão Wilhelm Röntgen, eram conhecidos desde 1895 e sobre eles até ao final de 1896 foram publicados cerca de 1000 artigos e 50 livros. Em 1896, o físico francês Henri Becquerel descobre que o urânio emite uma radiação espontânea de natureza desconhecida, que designou por “raios urânicos”, e que não estava ligada à fosforescência como anteriormente se pensara [5].

<sup>1</sup> Docente



quantidade de bário misturado, mas a radioatividade do rádio parece ser enorme” [10]. No seu caderno de notas do laboratório a palavra *Radium*, seguida de um ponto de interrogação, aparece anotada a 18 Novembro de 1898 [8].

Em Dezembro de 1898, com um novo fornecimento de resíduos de urânio provenientes da mina de Joachimstal e cedidos pela Áustria, partiram para uma nova separação química visando a extracção e purificação do rádio, o que viriam a conseguir. “Uma primeira prova de que o elemento rádio existia foi fornecida pela análise espectral. O espectro de um cloreto enriquecido pela cristalização exibiu uma nova risca que Demarcay (um espectroscopista reputado da época) atribuiu ao novo elemento” [9]. Na caracterização do novo elemento Marie Curie procedeu à determinação do seu peso atómico e, a 21 de Julho de 1902, obtém o valor 225, e mais tarde em 1907, 226,45 (sendo o valor actual 226,0254) como peso atómico do rádio, determinações estas conseguidas com uma amostra de 0,120 gramas de cloreto de bário-rádio, que conteria apenas cerca de 1 milionésimo de rádio em relação ao bário. Esta amostra, na qual a quantidade de cloreto de rádio o tornava pela primeira vez visível, teria uma radioactividade 1 milhão de vezes superior ao urânio metálico [9,10]. “Assim, tínhamos chegado ao final e estabelecido sem margem para dúvidas que o rádio era um elemento novo. (...). Tínhamos produzido a prova absoluta de que o rádio é um novo elemento químico e que a hipótese inicial estava confirmada. Estes resultados foram depois também corroborados por muitos outros cientistas” [11].

Em Novembro de 1903, Marie Curie apresentou a sua Tese de Doutoramento, intitulada “Recherches sur les Substances Radioactives” na Sorbonne [12].

Nesse mesmo ano foi-lhe atribuído o Prémio Nobel da Física, partilhado com Pierre Curie e Henri Becquerel, pela descoberta da radioactividade.

Em 1911, de novo a Academia Sueca lhe atribuiria o Nobel, desta vez o Prémio Nobel da Química pela sua descoberta dos novos elementos, o polónio e o rádio.

Os resultados desta pesquisa extraordinária evidenciam a tenacidade dos Curie no trabalho de investigação científica, a clareza do raciocínio ao formularem as hipóteses de trabalho, o procedimento experimental seguindo com rigor o método científico e aceitando com abertura de espírito e curiosidade reforçada os resultados que não confirmavam as hipóteses que pretendiam demonstrar. Aliás, Marie Curie conquistou desde cedo o respeito dos seus colegas de La Sorbonne e do meio científico francês, sendo reputada pela precisão das suas medições de radioactividade. Nesta mesma linha iniciou um trabalho de preparação de fontes padrão de radioactividade, baseadas no urânio metálico, e que



Fig. 4 - Diploma do Prémio Nobel da Química atribuído a Marie Curie, 1911 (Foto: Academia das Ciências, Oslo).

eram essenciais ao bom trabalho dos laboratórios de química que se dedicavam à produção de rádio e aos trabalhos de aplicação da radioactividade na medicina. Em 1912 viria a preparar o primeiro padrão internacional de radioactividade, o curie (Ci), baseado no rádio, e depositado no Bureau International de Poids et Mesures<sup>2</sup> em Sèvres [13].

A descoberta dos novos elementos, rádio e polónio, foi efectuada com base na radioactividade espontânea destes elementos. Na realidade, ambos são fáceis de detectar com base nas radiações ionizantes que emitem. No entanto, a separação química efectuada por Marie Curie deparou-se com dificuldades de vulto pois estes elementos estão presentes em quantidades muito pequenas na crosta terrestre. Nos minérios de urânio, o rádio está presente em concentrações de massa da ordem de 1 g/ton, e o polónio está presente em concentrações da ordem de 0,1 mg/ton, sendo dos elementos mais raros no nosso planeta.

### As primeiras aplicações do rádio e o nascimento da radioterapia

Poucos anos depois da descoberta dos “raios urânicos”, Ernest Rutherford e Frederick Soddy mostraram que a radiação emitida pelas substâncias radioactivas era, na realidade, composta por três tipos distintos de radiação. Estas radiações comportavam-se de modo diferente quando submetidas a um campo magnético e possuíam diferente energia. Mais de 80% da radiação emitida era devida às partículas alfa, com pouco poder de penetração. A radiação beta era também constituída por partículas com carga eléctrica, mas muito menores que as partículas alfa e com energia muito mais elevada e capaz de penetrar nos tecidos até uma certa profundidade. O terceiro tipo de radiação era a radiação gama, que contribuía para 1% da radiação total, mas possuindo elevada energia, comprimento de onda curto e grande poder de penetração [3].

“O interesse especial do rádio reside, como sabeis, na intensidade da sua radiação a qual é um milhão de vezes mais elevada que a intensidade da radiação do urânio. Por essa razão os efeitos da radiação do rádio são tão importantes.

<sup>2</sup> Bureau Internacional de Pesos e Medidas

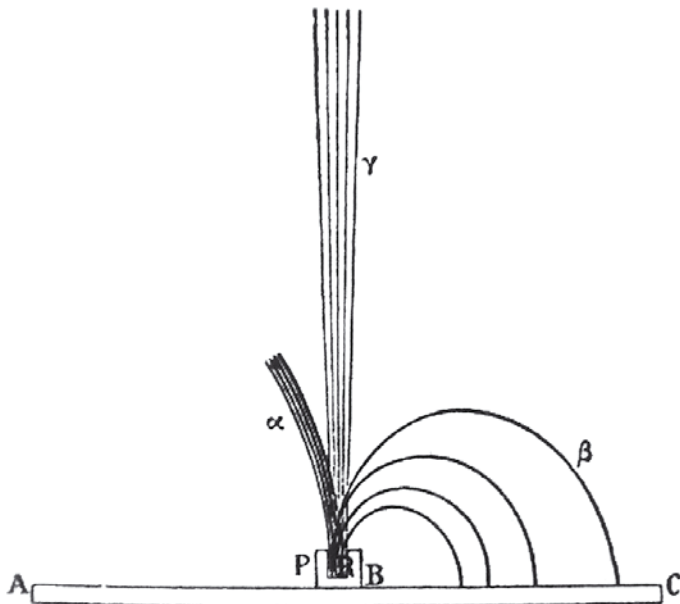


Fig. 5 - Comportamento dos três tipos de radiação, alfa, beta e gama, num campo magnético. Ilustração atribuída a Pierre Curie.

Uma atenção especial foi dada (...) aos efeitos fisiológicos dessa radiação, os quais foram descobertos (...) em França. Foi também em França que foi iniciada a terapia usando rádio, por vezes chamada também curieterapia” [11].

A ideia de utilizar a radiação emitida pelo rádio para o tratamento de doenças dermatológicas e destruição de tumores remonta a 1900, e às queimaduras de pele observadas por dois cientistas alemães, Friedrich Walkoff e Friedrich Giesel. Essa ideia tem também raízes comuns com o acidente de Henri Becquerel que, tendo transportado durante 14 dias uma pequena ampola contendo rádio no bolso do colete, desenvolveu uma queimadura no tórax. Becquerel mencionou esse facto a Pierre Curie o qual, surpreendido com esse efeito, decidiu confirmá-lo aplicando uma pequena fonte de rádio contra o seu antebraço durante dez horas, obtendo uma queimadura localizada. Isso deu-lhe a ideia que o rádio poderia ser usado na terapêutica médica. Entretanto Becquerel, cuja queimadura não melhorava, foi consultar um dermatologista no Hospital St. Louis, em Paris. O dermatologista, Dr. Ernest Besnier, observou que a queimadura era semelhante às queimaduras causadas pelos raios X e de imediato lhe ocorreu que o rádio poderia ser usado na terapia tal como se usavam os raios X. Persuadiu os Curie a emprestar uma pequena fonte de rádio ao seu colega de hospital Dr. Henri Danlos. Danlos usou essa fonte com muito sucesso para tratar casos de Lupus eritematoso e outras doenças dermatológicas, tendo relatado em 1901 os primeiros resultados obtidos [14].

Do outro lado do Atlântico, o primeiro uso de rádio em terapia parece ter ocorrido mais ou menos ao mesmo tempo pelas mãos de um físico de Boston, Francis William, e seu cunhado médico, Dr. William Rollins. Francis estava ao corrente do uso de raios X no tratamento de Lupus e ocorreu-lhe que o recém-descoberto rádio poderia ser usado para tratar aquela doença. Nos finais de 1900, Francis preparou uma fonte radioactiva selada, contendo cerca de 500 mg

de cloreto de rádio, para que Rollins a usasse em terapêutica [15,16].

Na apresentação dos resultados obtidos nos primeiros 42 casos que o Dr. William Rollins tratara com rádio ele compara-os com os resultados obtidos previamente usando raios X, nos seguintes termos: “A comparação até este momento é favorável ao rádio. (...) Quando o rádio é usado para tratamentos não é necessário recorrer a nenhum aparelho que atrapalhe. O rádio é portátil e está sempre pronto para ser usado. Para além disso a dose do rádio é mais uniforme e a intensidade do feixe não varia, pelo que a dose depende apenas da duração da exposição e da distância da fonte à parte a ser tratada. O rádio pode ser aplicado em regiões do corpo que não são facilmente acessíveis aos raios X como a boca e a vagina. Para além disso, a acção terapêutica do rádio é mais rápida”. Rollins também escreveu acerca das queimaduras que o rádio poderia causar nos tecidos saudáveis e da necessidade de protecção [16].

Após estes relatos a prática médica progressivamente adoptou o rádio no tratamento de doenças da pele e tumores malignos e, em muitos hospitais, procurava-se disponibilizar o tratamento com rádio. Entre os estabelecimentos e médicos pioneiros contam-se, por exemplo, a Clínica Gussenbauer em Viena (1902), o Laboratório de Biologia do Instituto do Rádio em Paris pela mão de Louis Wickham (1904), e os Hospitais de Nova Iorque pela mão de Robert Abbé (1904) e William Morton (1914), entre muitos outros, e todos eles contribuindo para o desenvolvimento da disciplina da radioterapia [17].

## Os raios X na ajuda médica na frente de guerra

Em 1914 estala a 1ª Grande Guerra, que duraria até 1918 e custaria 19 milhões de vidas. Tratava-se de uma guerra de trincheiras, e a frente de batalha, essencialmente entre a França e a Alemanha, oscilava em avanços e recuos episódicos, às vezes disputando apenas algumas centenas de metros. Os feridos por estilhaços de obuses, um dos novos instrumentos bélicos na época, eram muito numerosos e os cirurgiões não tinham mãos a medir. Na altura a medicina dispunha de poucos meios de diagnóstico e a utilização dos raios X estava ainda no seu início.

Com o deflagrar do conflito, Marie Curie ofereceu-se como voluntária para operar os aparelhos de radiologia junto da linha da frente. Contudo estes aparelhos eram poucos e não eram móveis. Os engenheiros tinham adaptado uma camioneta da Renault e colocado nela um aparelho de raios X, criando assim a primeira unidade móvel de radiologia que servia para apoiar o socorro médico na frente de batalha. Marie Curie tirou a carta de condução, o que na época poucas mulheres faziam, para poder



Fig. 6 - Henri Danlos, médico do Hospital de St Louis em Paris, tratando com rádio um paciente com Lupus, em 1904.

conduzir a camioneta com o aparelho de raios X, e apelou ao donativo de veículos particulares para transformação em unidades móveis de radiologia. O número destes veículos alcançou a meia centena e Marie Curie, então com 47 anos, treinou cerca de 50 enfermeiras no uso destes aparelhos de radiologia, entre as quais a sua filha Irene. Mais de um milhão de feridos de guerra foram radiografados por estas unidades, que eram conhecidas como os *Petit Curie*, contribuindo para facilitar o diagnóstico e a cirurgia [18].

No final da guerra, Marie Curie prosseguiu ainda esta actividade, contribuindo para a criação de postos de radiologia fixos espalhados pela França.

### A criação do Instituto do Rádio

Concluída a guerra, e conhecidas já as propriedades biológicas das radiações, designadamente a capacidade de destruir células, o uso de fontes de rádio no tratamento de doenças dermatológicas e tumores cancerígenos tendia a crescer.

O seu potencial fora brilhantemente demonstrado por vários médicos, tendo sido pioneiro o dermatologista Henri Danlos, do Hospital Saint Louis em Paris. Contudo não havia instalações médicas especializadas onde se pudesse usar o rádio [14-16].

Marie Curie conseguiu do Estado Francês a aprovação da verba para a criação do Instituto de Rádio, aprovado em 1909 e inaugurado em 1914, embora a sua actividade tivesse sido iniciada apenas após o final da guerra. Este Instituto, mais tarde renomeado Instituto Curie, tinha duas partes: um laboratório dirigido por Marie Curie destinado a prosseguir a investigação sobre as substâncias radioactivas, e um centro de investigação das aplicações do rádio em biologia e medicina, e cuja direcção estava entregue ao biólogo Claudius Regaud [2].

Os tratamentos com rádio faziam-se, então, com aplicadores externos, por vezes simples moldes de cera impregnados com rádio para aplicação directa sobre o tumor (radioterapia), e mais tarde através da colocação de fontes de rádio (agulhas) no interior do organismo para irradiação de tumores (endocurieterapia). No Instituto do Rádio foram desenvolvidos muitos dos primeiros procedimentos terapêuticos com radionuclídeos e alguns dos tratamentos iniciais tornaram-se casos de antologia médica [14-15].

Marie Curie desmultiplicou-se em actividades de promoção da nova técnica de radioterapia na Europa e nos Estados Unidos. A sua viagem aos Estados Unidos em 1921 e as conferências que deu em várias cidades foram um sucesso que estimulou uma campanha de recolha de fundos, tendo os cidadãos dos EUA oferecido um grama de rádio ao Instituto de Marie Curie após esta visita. Este grama de rádio, proveniente das minas do Colorado, foi adquirido por cem mil dólares, o que a preços actuais corresponde a cerca um milhão de euros [17].

Marie Curie e o Instituto do Rádio de Paris recebiam de muitos países estagiários a quem transmitiam o seu conhecimento, contribuindo para que a radioterapia e os sucessos no tratamento do cancro rapidamente se tornassem conhecidos.

Em poucos anos abriram-se Institutos do Rádio em vários países e muitos hospitais procuravam disponibilizar o tratamento com rádio [2,3].

### A produção de rádio

Nos primeiros anos do século XX eram poucas as minas de urânio, e a produção de rádio era escassa. As necessidades de rádio para fornecer o Instituto do Rádio em Paris e os centros de oncologia que abriam por todo o mundo desencadearam uma corrida à extracção de minério de urânio e produção do rádio.

No início do século XX o rádio era produzido apenas na Europa, e o minério de urânio extraído de minas como Joachimstal (hoje no território da República Checa), e na Alemanha, França, e Portugal, que forneciam rádio para o Instituto do Rádio de Paris e para outros hospitais. Na segunda década do século passado a produção europeia já era insuficiente e, nos anos vinte, os principais produtores de rádio passaram a ser os EUA e o Canadá. A partir dos anos trinta o grande produtor passou a ser a Bélgica com a descoberta de importantes filões de urânio no então Congo Belga [16].

Em Portugal a primeira exploração mineira foi a da Rosmaneira em 1908, a que se seguiram outras, como a da Urgeiriça iniciada em 1913. O processamento do minério fez-se nas instalações da Fábrica dos Sais de Rádio, na aldeia do Barracão, perto da Guarda. Estas instalações terão funcionado de 1908 a 1926, mas a actividade foi prosseguida nas instalações da Urgeiriça que se mantiveram em laboração até 2001. Até ao final da segunda Guerra Mundial (1945) e à descoberta da fissão do urânio, estas minas destinavam-se à exploração do rádio, e o urânio era um subproduto sem valor. A situação inverter-se-ia a partir daí, com a valorização do urânio no mercado internacional [19,20].



Fig. 7 - Paciente com angioma tratado com rádio no Instituto do Rádio em Paris, início do século XX (antes e depois do tratamento).

O rádio manter-se-ia em uso na medicina, até pelo menos aos anos 70-80 do século XX. As fontes de rádio encapsulado para tele-radioterapia ("bombas de rádio"), estiveram em uso nos centros de oncologia até um pouco mais tarde. Contudo, o rádio viria gradualmente a ser posto de lado nos anos 50 em virtude dos problemas de protecção radiológica que este radionuclido de vida longa (período de semi-desintegração de 1600 anos) coloca. Com a descoberta da fissão nuclear e a produção de radionuclidos artificiais, a partir dos anos 50 o rádio foi substituído por radionuclidos como o cobalto-60 e o cézio-137, emissores de radiação igualmente energética e com períodos de semi-vida muito mais curtos. A aplicação do rádio em curieterapia (braquiterapia), na forma de agulhas de rádio, veio também gradualmente a ser posta de lado, tendo sido substituído por irídio-192. As agulhas de rádio vieram a ser recolhidas da maior parte das instalações hospitalares, após a ocorrência de acidentes radiológicos com agulhas perdidas. Em substituição do rádio, outros métodos e outros equipamentos foram adoptados [15].

O polónio encontrou também várias aplicações industriais, tais como em geradores de energia a bordo de satélites espaciais e no arranque da reacção em cadeia nos reactores nucleares. Como a actividade específica do polónio-210 é muito elevada e é muito radiotóxico, a sua manipulação requer condições especiais de laboratório. Não é correntemente utilizado em medicina.

### Um legado científico que perdura

O legado de Madame Curie é vasto. A descoberta da radioactividade e a descoberta do polónio e do rádio valeram-lhe dois prémios Nobel, facto raro na história do prémio e caso único tratando-se de uma mulher.

A descoberta da radioactividade marcou o desenvolvimento da Física Nuclear. A descoberta do rádio e do polónio abriu, por sua vez, o caminho à aplicação de radioisótopos na medicina, na indústria e em muitas outras áreas. Os serviços prestados por estes radionuclidos foram inestimáveis. Em especial a aplicação do rádio em medicina correspondeu à invenção da radioterapia que hoje continua a ser essencial no tratamento do cancro. O uso de outros radioisótopos em medicina seguiu o caminho aberto por Madame Curie, e muito do que se faz hoje na medicina nuclear com recurso a radiofármacos, envolvendo radionuclidos tais como o tecné-

cio, iodo, e o paládio, foi desenvolvido na esteira da invenção da radioterapia e da curieterapia [2].

O futuro levará ao aperfeiçoamento e substituição destes e de outros radionuclidos e à criação de novos métodos de diagnóstico e tratamento. O progresso científico não pára e outros utensílios, mais finos, mais selectivos e mais precisos, virão certamente substituir as ferramentas actuais do radio-diagnóstico, da curieterapia, e da medicina nuclear.

Incontestavelmente o caminho foi aberto pelo trabalho científico, rigor, e esforço de aplicação de Marie Curie.

*Por decisão pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.*



**Fernando P. Carvalho** é investigador no Laboratório de Protecção e Segurança Radiológica, Campus Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico. Trabalha em radioactividade ambiente e biogeoquímica dos radioelementos, incluindo o urânio, rádio e polónio.

## Referências

1. Curie E: "Madame Curie". Éditions Gallimard, 1938. Paris. Nova edição 2010. Tradução em Português da Ed. Livros do Brasil.
2. "L' héritage Marie Curie", *Les dossiers de la Recherche*, Fevereiro 2011, Núm. 42. Paris.
3. Chemistry International 33, núm. 1. (2011); [www.iupac.org/publications/ci/index.html](http://www.iupac.org/publications/ci/index.html)
4. F. Balibar, "Marie Curie. Femme savant ou Sainte Vierge de la Science". Éditions Gallimard, 2006, Paris.
5. H. Becquerel, "Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium", *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences Paris* 122, 689 (1896).
6. M. Curie, "Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium", *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 126, 1101-1103 (Note du 12 Avril 1898).
7. P. Curie e M. Curie "Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende", *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris* 127, 175-178 (Note du 18 Juillet 1898).
8. J.-P. Adloff "Les carnets de Laboratoire de Pierre et Marie Curie", *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris, Série IIc, Vol.1*, págs. 217-228, 457-464, 801-808 (1998).
9. "Marie Curie - Nobel Lecture", [Nobelprize.org](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/marie-curie-lecture.html) (acedido a 20 Junho 2011)
10. P. Curie, M. Curie e G. Bémont, "Sur une nouvelle substance fortement radio-active, contenue dans la pechblende", *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences Paris* 127, 1215-1217 (Note du 26 December 1898).
11. M. Curie, "The discovery of radium", Address by Madame M. Curie at Vassar College 14 May 1921. Ellen S. Richards Monographs, No 2, Vassar College, USA.
12. M. Curie, "Recherches sur les substances radioactives", Tese de Doutorado, Paris (1903).
13. M. Curie, "Les mesures en radioactivité et l'étalon du radium", *Journal de Physique* 5<sup>th</sup> Series 2, 795-798 (1912).
14. H. Danlos, P. Bloch, "Note sur le traitement du loup érythémateux par des applications du radium", *Annales de Dermatologie et and Syphiligraphie*, 986-988 (1901).
15. R. Eisenberg, "Radiology: an illustrated history", St Louis, 1992. Mosby Year Book.
16. R. F. Mould "Radium History Mosaic", *Notwotwory Journal Oncology (Warsaw)* 57, Supp 4 (2007).
17. R. Abbé, "The subtle power of radium", *Med. Record, New York*, 66, 321 (1904).
18. M. Curie, "Radiologie et la Guerre", Librairie Félix Alcan. 1921, Paris.
19. IAEA, 2005, "Environmental Contamination from Uranium Production facilities and their Remediation", Proceedings of an International Workshop, Lisbon, 11-13 February 2004. International Atomic Energy Agency, Vienna.
20. F. P. Carvalho, "Marie Curie and the discovery of radium". In: "The New Uranium Mining Boom. Challenge and lessons learned". B. Merkel e M. Schipek (Edts.), págs. 3-13, 2011, Springer-Verlag, Berlin.