



**CAPTAR**  
ciência e ambiente para todos

volume 3 • número 2 • p 1 - 11

## **As descobertas científicas de Marie Curie e o seu legado à ciência e à humanidade**

O ano de 2011, Ano Internacional da Química, é também o centenário da atribuição do Prémio Nobel da Química a Marie Curie pela descoberta do polónio e do rádio. Para além das descobertas científicas, Marie Curie empenhou-se nas suas aplicações práticas e, em particular, na utilização do rádio no tratamento do cancro. O seu esforço foi compensado com a criação do Instituto do Rádio em Paris, iniciativa rapidamente replicada em muitos países. Com a invenção da radioterapia e da curieterapia, o caminho aberto por Marie Curie permitiu o desenvolvimento de novas aplicações de radionuclidos na medicina e no combate ao cancro. O trabalho científico de Marie Curie (1867-1934) permanece um exemplo de plena atualidade.

### **Palavras-chave**

Marie Curie  
Ano Internacional da Química  
radionuclidos  
Polónio  
Rádio  
medicina

Fernando P Carvalho\*

Instituto Tecnológico e Nuclear, Sacavém,  
Portugal

\* carvalho@itn.pt

ISSN 1647-323X

## INTRODUÇÃO

O centenário do Premio Nobel de Química atribuído em 1911 a Marie Curie, é uma efeméride digna de nota. A UNESCO, organismo das Nações Unidas, declarou 2011 Ano Internacional da Química e escolheu-a para lema das atividades. Esta escolha não poderia ser mais oportuna numa época em que, na esteira da descoberta do rádio e da sua aplicação no tratamento do cancro, progredem rapidamente as aplicações de radioisótopos na medicina. Para além disso, é sempre oportuno lembrar o trabalho de Marie Curie e destacar o exemplo do seu trabalho científico - fundamental e aplicado - e o contributo significativo que trouxe para a melhoria das nossas vidas. É esse o propósito deste artigo.

## O INÍCIO DE UMA PRODIGIOSA CARREIRA CIENTÍFICA E A DESCOBERTA DA RADIOATIVIDADE

Maria Sklodovska (Curie) nasceu em 1867 em Varsóvia, na Polónia. Filha de um professor de matemática e física e de uma diretora de escola, era a mais nova dos 5 filhos do casal. Na época a Polónia, que tinha perdido a independência, era dominada pela Rússia czarista. As mulheres não tinham acesso a uma carreira profissional e o mundo universitário e científico era essencialmente 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 de todo o mundo (Figura1).



FIGURA 1: Marie Curie com 44 anos, no ano de atribuição do Prémio Nobel da Química. (Foto: Institut Curie, Paris)

Maria Sklodovska pretendia estudar Física em Paris tendo para isso feito um trato com a sua irmã mais velha, Bronya, que partiu primeiro para Paris para estudar Medicina, ficando Maria a trabalhar em Varsóvia para ajudar a pagar os estudos de Bronya. Mais tarde, quando a irmã já trabalhava como médica, Marie juntou-se-lhe sendo então Bronya, por sua vez, a apoiá-la.

Marie Sklodovska viria a concluir a Licenciatura de física na “Faculté de Sciences” de Paris, no ano de 1893, classificando-se em primeiro lugar. No ano seguinte concluiu Licenciatura em matemática, classificando-se em segundo lugar. Marie estava decidida a seguir uma carreira científica e em 1894 procurava um tema de doutoramento o que a levou ao conhecimento de Pierre Curie, professor e investigador na universidade Sorbonne. Foi aceite no seu laboratório e com ele viria casar um ano mais tarde.

Vivia-se então uma época de rápido desbravar de conhecimento na Física e na Química. Os raios X, descobertos pelo físico alemão Wilhelm Roentgen em 1895, suscitavam enorme curiosidade e, até ao final de 1896, sobre eles foram publicados cerca de 1000 artigos e 50 livros.

Em 1896, Henri Becquerel efetuava experiências com o sal duplo de urânio e potássio, conhecido pelas propriedades de fosforescência. Expôs o sal duplo à luz solar, em seguida pô-lo sobre uma película fotográfica protegida da luz por papel negro e, quando revelou a película, esta estava escurecida. Concluiu, na linha do que já Henri Poincaré tinha afirmado, que a emissão de uma radiação penetrante, semelhante aos raios X, estava ligada à fosforescência do sal duplo. Contudo em fins de fevereiro de 1896, quando

pretendia repetir a experiência de excitação do sal de urânio para produzir a fosforescência e a radiação penetrante, o céu encoberto obrigou-o a adiar a sua realização. Arrumou o sal numa gaveta, junto de uma película fotográfica protegida num envelope negro. Alguns dias mais tarde acabou por revelar a película e constatou que o sal duplo de urânio e potássio produzira o mesmo escurecimento da película, apesar de não ter sido exposto à luz solar. Concluiu que o sal de urânio emitia uma radiação espontânea de natureza desconhecida, que designou por “raios urânicos”, e que afinal não estava ligada à fosforescência. Henri Becquerel anunciou a sua descoberta à “Académie des Sciences” no mesmo mês (Becquerel, 1896).

Até finais de 1896 apenas 20 artigos tinham sido publicados sobre os “raios urânicos”. Quando Marie Curie decidiu orientar a sua tese para o estudo dos “raios urânicos” este assunto era pois muito menos conhecido que o dos raios X. Nessa escolha, não terá sido um fator de menor importância o facto de Pierre Curie e o seu irmão Jacques Curie terem inventado pouco antes um electrómetro que permitia medir com precisão a ionização provocada pelas radiações. Escreveu Marie Curie: “A questão era inteiramente nova e o tema não dispunha de qualquer bibliografia. Decidi-me assim a começar um trabalho sobre este tema” (Curie, 1898).

Os “raios urânicos” descobertos por H. Becquerel eram um autêntico desafio científico, pois mantinham as suas propriedades durante meses a fio parecendo que a energia desses raios era criada a partir do nada, numa clara violação ao princípio da termodinâmica de Carnot, segundo a qual a energia pode ser transformada, mas não criada ou destruída.

A estratégia de investigação de Marie Curie é claramente descrita na primeira das notas que publicou nos “*Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*”. Marie Curie anotou: “*Pesquisei se outras substâncias, para além dos compostos de urânio, seriam suscetíveis de tornar o ar condutor de electricidade*” (Curie, 1898). A partir de 11 fevereiro de 1898 ela iniciou a medição de todas as amostras de compostos que pode obter na “École Normale Supérieure” e no laboratório de química da Sorbonne, procedendo à medição da sua radioatividade e tomando como referencia a atividade do urânio metálico. Descobriu assim que todos os sais de urânio eram radioativos e que a pechblenda (minério de urânio, contendo  $UO_2$ , óxido com cor negra) proveniente da mina de Joachimstal e o fosfato de urânio natural eram mais ativos (radioativos) que o urânio metálico. Marie Curie escreveu a este respeito: “*Este facto é notável e leva a crer que estes minérios podem conter um elemento muito mais ativo que o urânio*” (Curie, 1898).



## A DESCOBERTA DOS NOVOS ELEMENTOS, POLÓNIO E RÁDIO

Como nem Marie nem Pierre Curie eram químicos procuraram a ajuda de Gustave Bémont, professor na “*École de Physique et Chimie de la Ville de Paris*”. A 19 de abril de 1898 iniciaram o tratamento químico da pechblenda, minério 2,5 mais radioativo que o urânio metálico, para isolar o suposto elemento responsável por essa radioatividade (Figura 2). Viriam a medir a radioatividade mais intensa na fração contendo o bismuto, indicando a presença de uma substância que podia, talvez, ser separada deste. Conseguiram essa separação através da precipitação de sulfuretos a partir de uma solução contendo chumbo, bismuto e a substância radioativa, e assim isolar um precipitado 300 vezes mais radioativo que o urânio. Na nota publicada a 18 de julho de 1898 nos “*Comptes-rendues de l'Académie des Sciences*”, intitulada “*Sur une nouvelle substance rádio-active contenue dans la pechblende*”, escreveram: “*Acreditamos que a substância*

que extraímos da pechblenda contém um metal ainda não conhecido, com propriedades analíticas semelhantes às do bismuto. Se a existência deste novo metal se confirmar, propomos chamá-lo de Polônio, segundo o nome do País de origem de um de nós” (Curie e Curie, 1898). Esta Nota, assinado por Pierre e Marie Curie é histórica e anuncia a descoberta de um novo elemento mais radioativo que o urânio. A palavra “radioatividade” é ali usada pela primeira vez. O símbolo químico Po é usado no caderno de notas do laboratório a 13 de julho, ali anotado pelo punho de Pierre Curie (Adloff, 1998).

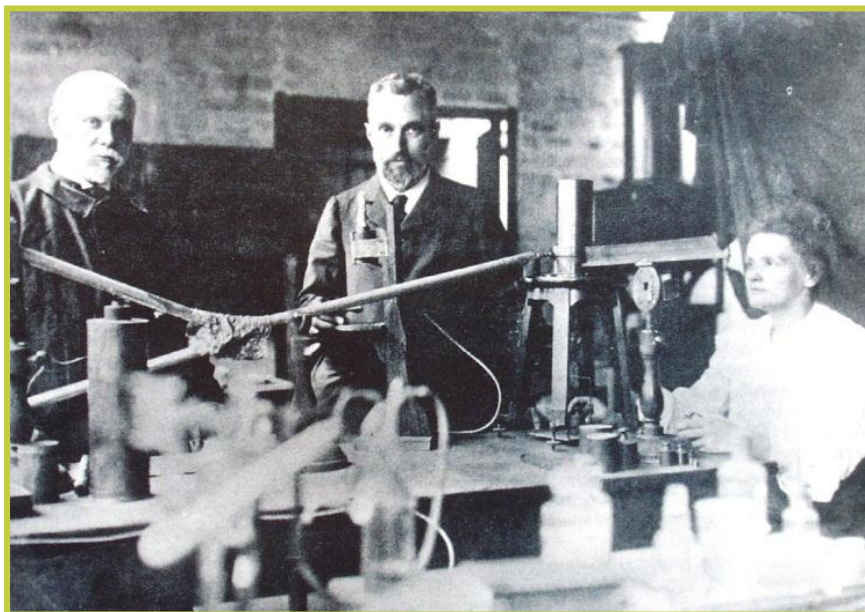


FIGURA 2: Marie Curie (à direita) e Pierre Curie (ao centro), com o seu Técnico de laboratório. Sobre a bancada, o Eletrômetro de Curie (Foto: Institut Curie, Paris).

No entanto, era ainda necessário demonstrar a existência deste novo elemento, pois fora detetado pela medição da sua emissão de radiações, os “raios urânicos”, mas permanecia invisível. Mostrar a sua existência exigia alcançar a sua separação química, determinar o peso atômico e obter um espectro de emissão com riscas espectrais diferentes de outros elementos. Ora, a análise espectral efetuada à substância obtida apenas revelou as riscas do bismuto, o que levou os Curie a duvidar da existência do novo elemento. Recorde-se que, nessa altura, nada se sabia sobre o decaimento radioativo do urânio, e sobre a relação genética de um radionuclido e seus descendentes. Os Curie imaginaram que, a existir na pechblenda outro elemento radioativo para além do urânio, se trataria de uma mistura.

A dúvida sobre a existência do polônio persistiu durante vários anos. Marie Curie retomou anos mais tarde, juntamente com André Debierne, a tarefa de separação química do polônio, usando várias toneladas de resíduos de minério de urânio cedidos pela fábrica de Armet de Lisle, em Nogent-sur-Marne, para levar a cabo o isolamento de 0,2 mg de um produto final contendo apenas 0,1 mg de Po. A análise espectral viria a confirmar a existência de riscas deste novo elemento, cujo lugar na Tabela Periódica se situa ao lado do bismuto, com o número atômico 84 (Curie, 1903).

A pesquisa dos Curie sobre a radioatividade da pechblenda, em 1898, não ficara terminada com a descoberta do polônio, pois aperceberam-se que na pechblenda havia talvez mais outro elemento radioativo, uma vez que na fração do bário mediram também intensa radioatividade. Confirmaram esta

suspeita em três etapas. Primeiro verificaram que o bário normal não era radioativo, depois constataram que uma substância radioativa podia ser concentrada por cristalização fracionada do cloreto de bário obtido a partir da pechblenda, e por último prosseguiram esta operação de concentração até obter um cloreto com uma radioatividade 900 vezes superior à do urânio na forma de metal. A análise espectroscópica revelou riscas que não correspondiam a nenhum elemento conhecido e cuja intensidade aumentava com a radioatividade, isto é com a purificação do cloreto. Os Curie anotaram a este respeito: “ *Há uma forte razão para acreditar que a substância obtida contém um novo elemento. Propomos chamar-lhe Rádio. A nova substância radioativa obtida contém provavelmente uma grande quantidade de bário misturado, mas a radioatividade do rádio parece ser enorme*” (Curie et al., 1898). No seu caderno de notas do laboratório a palavra Radium, seguida de um ponto de interrogação, aparece anotada a 18 novembro de 1898 pela primeira vez (Adloff, 1998). Faltava, ainda, comprovar a existência deste elemento, separando-o primeiro e determinando as suas propriedades depois.

Em dezembro de 1898, com um novo fornecimento de resíduos de urânio, partiram para uma nova aventura de separação química para obter uma amostra de rádio. Viriam a alcançar este objetivo obtendo uma amostra de 0,120 gramas de cloreto de bário-rádio, que conteria talvez apenas cerca de 1 milionésimo de rádio em relação ao bário. Esta amostra, na qual a quantidade de rádio era, mesmo assim, pela primeira vez visível, teria uma radioatividade 1 milhão de vezes superior ao urânio metálico. A 21 de julho de 1902 Marie Curie determinou o peso atômico do novo elemento, obtendo o valor de  $225 \pm 1$  (valor atual 226.0254) (Curie, 1903; Curie, 1921a].

Em novembro de 1903, Marie Curie apresentou a sua tese de Doutoramento, intitulada “*Recherches sur les Substances Radioactives*”, na Sorbonne (Curie, 1903).

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

Em 1911, de novo a Academia Sueca lhe atribuiria o Nobel, desta vez da Química, pela sua descoberta e caracterização dos novos elementos, o polónio e o rádio (Figura 3). No seu discurso na cerimónia de entrega do Prémio Nobel, em Stockholm, Marie Curie resumiu assim o percurso das suas descobertas: (...) “*Pode dizer-se que a tarefa de isolar o rádio é a pedra de toque do edifício da ciência da radioatividade*”. (...) “*A radioatividade dos sais de rádio é cerca de*



FIGURA 3: Diploma do Prémio Nobel da Química atribuído a Marie Curie, 1911 (Foto: Academia das Ciências, Oslo).

*5 milhões mais elevada que a de igual quantidade em peso do elemento urânio. Devido a esta radioatividade, os sais de rádio são espontaneamente luminosos. Gostaria de lembrar também que o rádio*



solução sobre a face de um disco de folha de prata. Esse disco é uma fonte emissora de partículas alfa, que permite a quantificação de polónio por espectrometria alfa.

A descoberta destes dois novos elementos foi efetuada com base na radioatividade espontânea por eles emitida. Ambos são fáceis de detetar e quantificar com base nas radiações. A extração e separação químicas efetuadas por Marie Curie encontraram, na realidade, dificuldades maiores pois estes elementos estão presentes em pequena quantidade na crosta terrestre. Nos minérios de urânio o rádio está presente em concentrações de massa da ordem de  $1 \text{ g ton}^{-1}$ , e o polónio está presente em concentrações da ordem de  $0,1 \text{ mg ton}^{-1}$ , e é dos elementos mais raros no nosso planeta.



### UMA MULHER ATENTA AOS PROBLEMAS DO SEU TEMPO

Em 1914 iniciou-se a Primeira 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-se apenas algumas centenas de metros. Os feridos por estilhaços de obuses eram 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 no seu início.

Com o deflagrar do conflito, Marie Curie ofereceu-se como voluntária para operar junto da linha da frente os aparelhos de radiologia. Contudo estes eram poucos e não eram móveis. Os engenheiros tinham adaptado uma camioneta da Renault e nela colocado 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 conduzir a camioneta com o aparelho de raios X. Em pouco tempo, o número destes veículos aumentou 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 (Curie, 1921b).

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



### O RÁDIO AO SERVIÇO DA MEDICINA E DA HUMANIDADE

Concluída a Guerra, e conhecidas já as propriedades biológicas das radiações, designadamente a capacidade de destruir células, o uso de fontes de rádio para o tratamento de 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, que tratou com sucesso vários pacientes com Lupus eritematoso usando uma fonte de rádio emprestada pelo casal Curie. Contudo, não havia instalações médicas especializadas onde se pudesse usar o rádio (Danlos e Bloch, 1901; Abbé, 1904).

Marie Curie conseguiu do Estado Francês a verba para a criação do Instituto de Rádio, aprovado em 1909 e inaugurado em 1914, embora a sua atividade 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 radioativas, e um centro de investigação das aplicações do rádio em biologia e medicina, cuja direção estava entregue ao biólogo Claudius Regaud (Vários, 2011a).

Após a descoberta do rádio Marie Curie e Pierre Curie tinham decidido não registar patente do processo de produção deste elemento radioativo nem da sua aplicação no tratamento de cancro e outras doenças. Poderiam tê-lo feito e ganhar muito dinheiro com isso. Contudo entenderam que o rádio e a sua aplicação eram do interesse da humanidade.



### **MARIE CURIE, PRECURSORA DA RADIOTERAPIA E DA CURIETERAPIA**

Os tratamentos com rádio faziam-se com aplicadores externos, que por vezes eram simples moldes de cera impregnados com rádio para aplicação direta sobre o tumor (radioterapia), e mais tarde através da colocação de fontes de rádio (agulhas) no interior do tumor para irradiação interna dos tecidos (curieterapia). No Instituto do Rádio foram desenvolvidos muitos dos procedimentos terapêuticos e alguns dos tratamentos iniciais tornaram-se casos relatados nos anais de medicina (Danlos e Bloch, 1901). Merecem especial destaque os tratamentos de pacientes com Lupus realizados por Henri Danlos. Seguiram-se tratamentos em Viena, Boston, Nova Iorque, e em muitas outras cidades. Em poucos anos abriram Institutos do Rádio em vários países e hospitais por todo o mundo que procuravam disponibilizar o tratamento com rádio (Abbé, 1904; Mould, 2007).

Marie Curie desmultiplicou-se em atividades de promoção do rádio e das novas técnicas de radioterapia, na Europa e nos Estados Unidos. A sua viagem aos Estados Unidos em 1921 e as conferências que efetuou em várias cidades foram um sucesso que estimulou uma campanha de recolha de fundos para aquisição de rádio. Os cidadãos dos EUA ofereceram 1 grama deste elemento ao Instituto de Marie Curie após esta visita. Este grama de rádio proveniente das minas do Colorado, foi adquirido por 100 000 dólares, o que a preços atuais corresponde a cerca de um milhão de Euros (Mould, 2007). O preço astronómico do rádio no início do século XX, explica-se pelas poucas minas de urânio-rádio então existentes e pela escassa produção de rádio.



### **A PRODUÇÃO DE RÁDIO NO MUNDO E EM PORTUGAL**

As necessidades de rádio para o Instituto do Rádio em Paris, e também para os centros de oncologia que abriam por todo o mundo, desencadearam uma corrida à extração de minério de urânio para a produção do rádio.

A extração de minérios radioativos cresceu. De início na Europa, funcionaram minas em Joachimstal na República Checa, na Alemanha, em França, e até em Portugal, que produziram rádio para o Instituto do Rádio e para outros hospitais. Ao longo do século XX os principais produtores de rádio foram de início os países europeus, depois na década de 20 os EUA e o Canadá, e a partir dos anos 30 o principal produtor passou a ser a Bélgica em virtude da descoberta de importantes filões de urânio-rádio na província do Alto Katanga, no então Congo Belga (Mould, 2007).



Em Portugal a primeira exploração mineira foi a de Rosmaneira (Sabugal, distrito da Guarda) em 1908, a que se seguiram outras como a da Urgeiriça (Nelas, distrito de Viseu), 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 atividade prosseguiu nas instalações da Urgeiriça onde se iniciou a exploração em 1913, mantendo a laboração até 2001. Até à segunda Guerra Mundial, 1939-1945, e à descoberta da fissão do urânio, estas minas destinavam-se à exploração de rádio e o urânio era um sub-produto sem valor. A situação inverter-se-ia a partir daí, com a valorização do urânio no mercado internacional (IAEA, 2005).

O rádio manter-se-ia em uso na medicina, até pelo menos aos anos 70-80 do século XX. As fontes de rádio encapsulado (“bombas de rádio”), estiveram em uso nos centros de oncologia até mais tarde. O rádio viria a ser posto de lado em virtude dos problemas de proteção radiológica que este radionuclido de vida longa (período 1600 anos) coloca e seria substituído por radionuclidos de período mais curto, como o cobalto-60 e o céσιο-137. A aplicação de rádio em curieterapia, por exemplo na forma de agulhas de rádio, veio também gradualmente a ser posta de lado. Essas agulhas, após vários casos de perda acidental e acidentes radiológicos, vieram a ser recolhidas da maior parte das instalações hospitalares. Em substituição do rádio outros métodos e outros radionuclidos e equipamentos foram adotados (Eisenberg, 1992).

O polónio encontrou também diversas aplicações. Por exemplo em geradores termo-elétricos miniaturizados para colocação nos satélites em órbita, como fontes de eliminação de eletricidade estática e nas fontes de neutrões polónio - berílio usadas para iniciar a reação nuclear em cadeia nos reatores nucleares. Devido à escassez do polónio na crosta terrestre, a maioria do polónio usado em aplicações não é extraído dos minérios radioativos mas produzido por ciclotrões. Como a atividade específica do Po-210 é muito elevada e é muito radiotóxico, a sua manipulação requer condições de laboratório especiais, pelo que não é correntemente utilizado em medicina.

## O LEGADO CIENTÍFICO DE MARIE CURIE

Marie Curie faleceu em 1934, vítima de leucemia causada por exposição excessiva ao rádio e às radiações ionizantes. Anos depois, em 1995, as suas cinzas, bem como as de Pierre Curie, foram transferidas para o Panteão, em Paris, onde repousam os heróis da Nação Francesa (Curie, 1938; Vários, 2011a,b; Balibar, 2006).

O legado de Madame Curie é vasto. A descoberta da radioatividade e a descoberta do polónio e do rádio, valeram-lhe dois Prémios Nobel, facto raro na história do Prémio e caso único entre as mulheres que receberam o Nobel (Figura 5).

A descoberta da radioatividade marcou o desenvolvimento da Física Nuclear (Curie, 1905). A descoberta do rádio e do polónio iniciou uma nova área da química, a Radioquímica, e, por sua vez, abriu 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 uma



FIGURA 5: Uma abundante iconografia de Marie Curie foi criada em muitos Países. Aqui, reprodução de um selo dos correios de França.

ferramenta essencial no tratamento do cancro. Muito do que se faz hoje na medicina nuclear com uso de radionuclídeos, como o tecnécio, iodo, paládio, etc., foi por desenvolvido na esteira da radioterapia e da curieterapia (Vários, 2011a).

Atente-se ainda na atividade científica e no percurso de Marie Curie e, em particular, na investigação fundamental sobre radioatividade e na descoberta de elementos radioativos até então insuspeitados. Recorde-se como estas descobertas levaram a outras descobertas fundamentais acerca da composição da matéria e da estrutura do átomo, por exemplo, as descobertas feitas por Rutherford usando a radiação emitida pelo polónio. E combine-se isto com a aplicação prática e valiosa do rádio e de outros radionuclídeos em radioterapia e medicina nuclear e o lugar central que ocupam na luta contra o cancro. Compare-se este percurso, já com um século de idade, e a dicotomia criada nos nossos dias entre ciência fundamental e ciência aplicada e os estéreis debates sobre este assunto. O legado científico de Marie Curie estende-se também a esta área de reflexão epistemológica e oferece uma clara resposta.

O futuro trará certamente o aperfeiçoamento de métodos e a substituição destes radionuclídeos por outras ferramentas criadas pela ciência. Utensílios mais finos, mais seletivos e mais precisos virão substituir as ferramentas atuais do radiodiagnóstico, da curieterapia, e da medicina nuclear. Mas o caminho foi aberto por Marie Curie através do trabalho científico fundamental, e da aplicação das suas descobertas ao serviço da humanidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Abbé R. (1904). The subtle power of radium. *Med Record, New York* 66: 321.
- Adloff J-P (1998). Les carnets de Laboratoire de Pierre et Marie Curie. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris* 1, 11c: 217–228, 457–464, 801–808.
- Balibar F (2006). Marie Curie. Femme savant ou Sainte Vierge de la Science. Editions Gallimard, Paris. 127p.
- Becquerel H (1896). Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris* 122: 689.
- Curie E (1938). Madame Curie. Editions Gallimard, Paris. Nova edição 2010. (Tradução em Português da Ed. Livros do Brasil).
- Curie M (1898). 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 April 1898)
- Curie M (1903). Tese de Doutoramento: Recherches sur les substances radioactives. Paris.
- Curie M (1912). Les mesures en radioactivité et l'étalon du radium. *J. Phys 5th Series* 2:795-798.
- Curie M (1921a). The discovery of radium. Address by Madame M. Curie at Vassar College 14 May 1921. Ellen S. Richards Monographs (nr 2), Vassar College, USA.
- Curie M. (1921b). Radiologie et la Guerre. Librairie Félix Alcan. Paris. 143p.
- Curie P, Curie M (1898). Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris* 127: 175–178. (note du 18 Juillet 1898).
- Curie P, Curie M, Bémont G (1898). Sur une nouvelle substance fortement radioactive, contenue dans la pechblende. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences Paris* 127: 1215–1217 (note du 26 Décembre 1898).
- Curie P (1905). Radioactive substances, especially radium. Nobel Lecture, June 6, 1905. <http://Nobelprize.org>. (Acedido a 20 junho 2011).

- Danlos H, Bloch P (1901). Note sur le traitement du lupus érythémateux par des applications du radium. *Ann Dermatol and Syphilog* 12: 986-988.
- Eisenberg R (1992). Radiology: an illustrated history. St Louis, Mosby Year Book. 606p.
- 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.
- Mould RF (2007). Radium History Mosaic. *Nowotwory Journal Oncology (Warsaw)*, Supp 4, Vol 57.
- NobelPrize.org (2011) Marie Curie - Nobel Lecture. [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1911/marie-curie-lecture.html](http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/marie-curie-lecture.html). (Acedido a 20 junho 2011).
- Vários (2011a). L' héritage Marie Curie. *Les dossiers de la Recherche* 42, Paris.
- Vários (2011b). *Chemistry International* 33(1) ([www.iupac.org/publications/ci/index.html](http://www.iupac.org/publications/ci/index.html)).