

# INTRODUÇÃO HISTÓRICA À FÍSICA E À QUÍMICA DAS RADIAÇÕES A CONTRIBUIÇÃO DE MADAME CURIE

Camila de Araújo Pan – Universidade do Grande ABC - UniABC

Adilson Camilo de Barros – Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

**RESUMO:** Este artigo pretende ser um trabalho de revisão de acontecimentos histórico-epistemológicos que se sucederam no desenvolvimento da teoria quântica em um capítulo específico denominado física e química das radiações. O século XX foi marcado por muitas descobertas científicas que foram responsáveis por evoluções nas áreas tecnológicas e do pensamento humano. Dentre as contribuições científicas iremos destacar o período de incubação da teoria quântica, e as primeiras contribuições, principalmente de Marie Curie, Pierre Curie e Antoine Henri Becquerel, para a composição do que mais tarde seria denominado física moderna. O principal objetivo deste trabalho é contribuir para a formação acadêmica discente acerca do desenvolvimento científico.

**ABSTRACT:** This article was a review study of epistemological-historical events that have taken place in the development of quantum theory in a chapter called physics and chemistry of radiation. The twentieth century was marked by many scientific discoveries that were responsible for developments in the areas of technology and human thought. Among the scientific contributions will emphasize the incubation period prescribed quantum theory, and the first contributions, mainly of Marie Curie, Pierre Curie e Antoine Henri Becquerel, to the composition of what would later be called modern physics. The main objective of this paper is to contribute towards academic education of undergraduate students about the scientific development.

**PALAVRAS-CHAVE:**

Radiação; Estudos de Quântica; Ensino de Química; Ensino de Física; História da Ciência.

**KEYWORDS:**

Radiation; Quantum studies; Teaching of Chemistry; Teaching of Physics; History of Science.

*Artigo Original*

Recebido em: 18/12/2012

Avaliado em: 24/06/2013

Publicado em: 17/06/2014

*Publicação*

Anhanguera Educacional Ltda.

*Coordenação*

Instituto de Pesquisas Aplicadas e Desenvolvimento Educacional - IPADE

*Correspondência*

Sistema Anhanguera de Revistas Eletrônicas - SARE  
rc.ipade@anhanguera.com

## 1. INTRODUÇÃO

Tomamos como ponto de partida histórico a própria conferência Solvay, patrocinada pelo industrial belga Ernest Solvay (1838-1992), que viabilizou cinco encontros da conferência entre 1911 e 1927 (McEvoy & Zarate, 2012), reunindo os principais cientistas da época como Albert Einstein, Max Planck, Madame Curie, Niels Bohr, Erwin Schrödinger, Louis de Broglie, entre outros. Na figura 1, os participantes da 5<sup>o</sup> conferência.



Figura 1 – Participantes da 5<sup>o</sup> conferência Solvay em 1927, Marie Curie é a terceira a partir da esquerda na linha da frente

A atuação direta desses pensadores da ciência permitiu o surgimento da física quântica e todas as possibilidades de interpretações de fenômenos que ocorrem em escala subatômica como, por exemplo, a radiação térmica (não ionizante) e a radiação ionizante (eletromagnética ou particulada). Escolhemos discorrer um pouco sobre um desses cientistas e optamos por Madame Curie.

O conhecimento do contexto sociocultural e histórico em que a radioatividade foi estudada e divulgada proporciona um olhar mais crítico e uma reflexão no desenvolvimento do pensamento científico, fornecendo subsídios para uma melhor compreensão do fazer ciência.

O caráter interdisciplinar da História da Ciência não aniquila o caráter necessariamente disciplinar do conhecimento científico, mas completa-o, estimulando a percepção entre os fenômenos, fundamental para grande parte das tecnologias e desenvolvimento de uma visão articulada do ser humano em seu meio natural, como construtor e transformador desse meio (Trindade, 2008).

O início do século XX foi um período de grandes contribuições para a ciência.

Ao fim do século XIX, surgiram fenômenos que estremeceram as bases da ciência até então conhecida. Com o advento do elétron, da radiação X e da radioatividade, os cientistas imediatamente devotaram imensos esforços para compreendê-los. Como a física clássica não conseguia responder as questões que esses eventos suscitavam, uma nova ciência passou a ser construída (Cordeiro & Perduzzi, 2011).

Dentre os cientistas que buscavam respostas para estes novos fenômenos, estava Marie Curie que foi, se não a maior, certamente, a mais brilhante cientista mulher de sua

época. À frente de seu tempo soube superar os obstáculos impostos a uma mulher com ambições intelectuais com o propósito de buscar na ciência um meio de saciar sua sede de instrução, que para ela era um elemento fundamental para o progresso das sociedades. Foi a primeira mulher doutora em ciências e professora na Universidade de Sorbonne na França, a primeira a receber um Prêmio Nobel de Física em 1903 e a primeira pessoa que recebeu o Prêmio Nobel pela segunda vez, agora em Química no ano de 1911. No entanto, esses méritos, apenas reforçam os aspectos mais valiosos da sua personalidade. Ela foi uma mulher romântica, forte e ainda feminina, sensível e altruísta. Em seu papel de mãe, foi muito cuidadosa com a criação e a educação de suas filhas, a que dedicou os melhores momentos de sua vida (Giroud, 1989).

Ela sempre será lembrada por suas conquistas científicas, a descoberta do rádio e do polônio, e a denominação da radioatividade, propriedade intrínseca destes elementos. Para realizar tais façanhas suportou condições humilhantes impostas a ela e a seu trabalho, superou obstáculos que para muitas pessoas teria sido intransponível.

Seus trabalhos não só contribuíram no desenvolvimento de uma nova teoria, como também marcaram o início de uma nova era no domínio da investigação e de tratamentos médicos. Além disso, não poderíamos esquecer a professora e educadora Madame Curie, que preparava e esquematizava as suas aulas para um grupo de crianças como podemos ver na figura 2 que traz um original datado de abril de 1907 (Chavannes, 2007). Em suas memórias: “... entretanto, continuo acreditando que as idéias a nos guiarem então eram as únicas que podem conduzir a um verdadeiro progresso social. Não podemos esperar construir um mundo melhor sem melhorar os indivíduos” (Giroud, 1989).

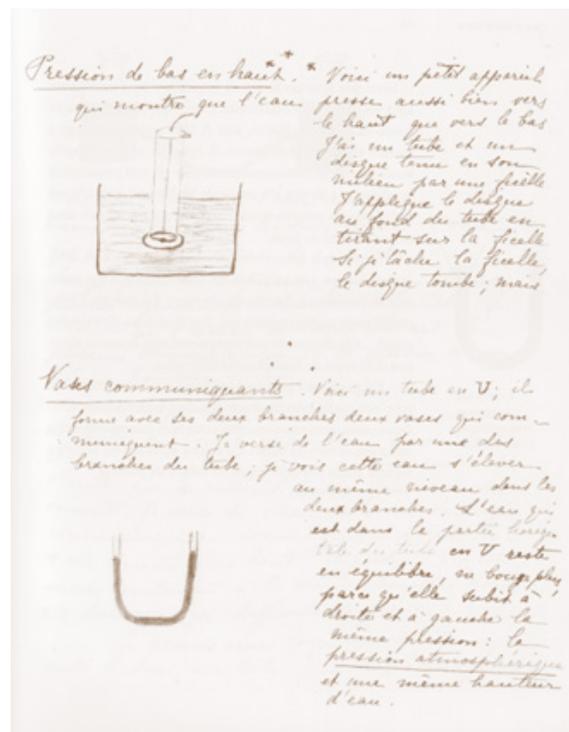


Figura 2- Anotações originais tomadas por Isabelle Chavannes, com 13 anos na época, das aulas de física ministradas por Madame Curie em 1907.

## 2. OBJETIVOS

Apresentar uma revisão do período de gênese da teoria quântica, utilizando como ponto de vista os fenômenos ligados à radioatividade.

Divulgar aspectos históricos do desenvolvimento científico, através das biografias e das teorias dos cientistas precursores desta ciência.

Contribuir para a formação acadêmico-científica do corpo discente.

---

## 3. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo exploratório, em que foram utilizados como instrumentos de pesquisa a revisão filmográfica e bibliográfica. Este trabalho constitui-se em um artigo de revisão. A pesquisa bibliográfica buscou levantar dados sobre vida e obra de um cientista em especial: Madame Curie.

---

## 4. ASPECTOS HISTÓRICOS INICIAIS DA RADIOATIVIDADE

No final do século XIX foi anunciada a existência dos raios-X (Martins, 2004). Esta descoberta, feita por Wilhelm Conrad Röntgen e anunciada em janeiro de 1896, está intrinsecamente ligada ao início, do que pode ser considerado, um novo campo da ciência. O interesse sobre o assunto foi imenso, e em 1901 Röntgen recebeu o primeiro Prêmio Nobel de Física, por essa descoberta. Dentre os interessados no estudo dos raios-X está Antoine Henri Becquerel. Ele pertenceu a uma famosa família de cientistas, desenvolveu suas primeiras pesquisas no laboratório do seu pai. Destacou-se por seus estudos sobre luminescência. Estudou a maioria das substâncias luminescentes que haviam sido colecionadas por seu pai – incluindo alguns compostos de urânio.

Ao pesquisar a relação entre raios-X e a fosforescência, Becquerel observou que cristais de sulfato duplo de urânio de potássio produziam radiações semelhantes aos raios-X mas tinha poderes de penetração diferentes. Em 2 de março de 1896, Henri Becquerel apresentou a academia de Ciências um artigo – que é usualmente descrito como contendo a descoberta da radioatividade (Martins, 2004).

A parte do artigo que supostamente relata a descoberta da radioatividade é a seguinte:

Insistirei particularmente sobre o seguinte fato, que me parece muito importante e estranho ao domínio dos fenômenos que se esperaria observar. Os mesmos flocos cristalinos, colocados junto às chapas fotográficas, nas mesmas condições, isolados pelos mesmos aparatos, mas sem receber excitação pela incidência de radiação e mantidos no escuro, ainda produzem as mesmas impressões fotográficas. Este foi o modo pelo qual fui levado a fazer essas observações: entre os experimentos precedentes, alguns foram preparados na quarta-feira, 26, e na quinta-feira, 27 de fevereiro; e como, nesses dias, o Sol apareceu apenas de modo intermitente, guardei os experimentos que havia preparado e coloquei as chapas com seus envoltórios na obscuridade da gaveta de um móvel, deixando os flocos de sal de urânio em seu

lugar. Como o Sol não apareceu novamente nos dias seguintes, no dia 1 de março eu revelei as chapas fotográficas, esperando encontrar imagens muito fracas. Pelo contrário, as silhuetas apareceram com uma forte intensidade. Eu logo pensei que a ação devia ter continuado na obscuridade [...] (BECQUEREL, 1896b).

Becquerel não esperava a emissão dessas radiações no escuro. Estes raios foram denominados, a princípio, de raios de Becquerel, em sua homenagem, ou raios de urânio. Este estranhamento causado em Becquerel pelo modo como a chapa fotográfica era sensibilizada por “algo” imanente dos cristais de rocha, mesmo com a ausência do Sol, é roteirizado no filme *Madame Curie* de 1943, produção norte americana dirigida por Mervyn LeRoy. Becquerel chama o professor Pierre Curie e Maria Sklodowska (antes do casamento) e expõe a eles sua questão. É justamente esta ausência de resposta por parte dos três ali presentes, que motivará Madame Curie a pesquisar tal fenômeno em sua tese de doutorado.

#### 4.1. Marie Curie

Nesse contexto de descobertas, uma jovem polonesa, que havia recentemente migrado para a França, chega com o objetivo de licenciar-se em ciências na Sorbonne. Na Polônia de 1867, nasce em Varsóvia uma mulher que entraria para história da ciência, Marie Curie-Sklodowska. Neste período a Polônia que estava sobre domínio russo, passava por muitas opressões dentre elas a proibição de mulheres frequentarem a Universidade. Marie foi a filha mais nova de Władysław e Bronisława, que tiveram mais quatro filhos Sophia, Josef, Bronia e Hela. O pai de Marie era professor de matemática e física, que para se formar sucumbiu ao sistema e frequentou uma universidade russa, a única cujo diploma permitia lecionar em escolas do estado. Sua mãe também foi professora, mas faleceu de tuberculose.

A família Sklodowski não tinha muitos recursos, as únicas riquezas que o sr. Sklodowski aprendera a cobiçar fora cultura, saber e inteligência. Ele não fazia distinção entre o menino e as meninas quando se trata de enriquecer seu espírito, de desenvolver seus conhecimentos em todos os campos, de estimular suas ambições intelectuais (Giroud, 1989). Marie tinha dentro de si o desejo de ser alguém e de realizar algo, mas nas condições em que vivia, estava cheia de inseguranças quanto ao seu destino e a realização de seus sonhos.

Motivada por sua irmã, Bronia, Marie frequentou algumas reuniões da Universidade volante. Que era um grupo de patriotas que tinha como proposta a transmissão do conhecimento para educar as massas. Reuniam-se clandestinamente à noite para aulas de história, sociologia, anatomia. Motivados pela filosofia do positivismo de Auguste Comte, com base no domínio da razão e da ciência como o único guia humanidade capaz de estabelecer a ordem social sem apelar ao obscurantismo teológico ou metafísico. Para Comte, as ciências se ordenaram hierarquicamente da seguinte forma: matemática, astronomia, física, química, biologia, sociologia; cada uma tomando por base a anterior e atingindo um nível mais elevado de complexidade. Em sentido mais amplo, o positivismo

designa várias doutrinas filosóficas do século XIX que se caracterizam pela valorização de um método empirista e quantitativo, pela defesa da experiência sensível como fonte principal do conhecimento e pela consideração das ciências empírico-formais como paradigmas de cientificidade e modelos para as demais ciências (Japiassú & Marcondes, 1996). Apesar de breve, este foi um período intenso na vida de Marie.

Bronia e Marie fizeram planos e promessas de se auxiliarem para alcançar os seus fins, o desejo de instrução. Pouco antes de completar dezoito anos, Marie apresenta-se em uma agência de empregos em busca de um trabalho regular. Ela aceita um trabalho de governanta na casa dos Zorawski, com o que ganha ajuda Bronia a estudar Medicina em Paris, na Sorbonne. Trabalha por quatro anos e se apaixona pela primeira vez, pelo belo Casimir, filho do sr. Zorawzki. Mas sem o consentimento da família dele para o casamento, Marie se cala e convive com o seu sofrimento e humilhação. Ela que não podia deixar seu trabalho, pois o futuro de Bronia dependia do seu salário. O pai de Casimir, dominado pela raiva, insistiu que jamais seu filho seria autorizado a se casar com uma governanta pobre, obrigada a trabalhar em “casa de outras pessoas”. A mãe ameaçou deserdá-lo. Casimir por fim voltou atrás e desistiu do casamento (Goldsmith, 2006).

Após terminar o contrato com os Zorawzki, Marie volta para Varsóvia, e começa a desenvolver suas habilidades e o seu interesse pela pesquisa experimental aprendendo análise química qualitativa e quantitativa, química dos minerais, no laboratório do “museu da indústria e da agricultura”, figura 3, que foi fundado por seu primo Josef Boguski, que fora assistente de Mendeleiev, o organizador da tabela periódica. Marie escreveu: “Eu desenvolvi lá meu gosto para a pesquisa experimental durante estes primeiros testes” (Joliot, 2011).

Marie deixou a Polônia e foi para Paris em outubro de 1891.



Figura 3: Museu da indústria e da agricultura em Varsóvia.

Em novembro de 1891, aos 24 anos, matricula-se na Sorbonne, figura 4. Mora por um período com Bronia e depois se muda para um pequeno hotel mais próximo à faculdade, assim teria mais tempo a dedicar aos estudos.



Figura 4 - Universidade Sorbonne na França.

Em 1893 licenciou-se em Ciências Físicas em primeiro lugar. No ano seguinte licencia-se, em segundo lugar, em Matemática. Marie estava pesquisando as propriedades magnéticas de aços, um trabalho encomendado pela Sociedade de Incentivo à Indústria Nacional. Quando, por falta de espaço, foi trabalhar no laboratório da Escola de Química e Física, onde dividira o laboratório com Pierre Curie, que tinha 35 anos e era um pesquisador respeitado.

#### 4.2. Pierre Curie

Ele estava trabalhando com seu irmão Jacques nas propriedades piezoelétricas – fenômeno de compressão ou dilatação de cristais assimétricos. Ao compartilhar com Marie sobre seu trabalho, surpreendeu-se com o fato de uma mulher entender o que ele estava dizendo. E deu-se início a uma amizade e recíproca admiração. Com seus diplomas em mãos Marie vai passar o verão de 1894 na Polônia. Ela comunica-se com Pierre por correspondências. Muito introvertido, Pierre escreve com liberdade sobre os seus sentimentos à Marie. Ele está decidido a reencontrá-la, mas Marie está dividida entre a Polônia, a quem está ligada por seu compromisso patriótico e a sua outra pátria, a Ciência (Giroud, 1989).

Na época, Marie pensou que seu dever era ensinar na Polônia. Eventualmente, Pierre encontrou as palavras para superar suas hesitações: “Seria uma coisa boa, em que eu quase

não ousou acreditar passar nossas vidas perto um do outro hipnotizados pelos nossos sonhos, seu sonho, nosso sonho patriótico humanitário, e nosso sonho científico” (Joliot, 2011).

Depois de voltar para Paris, Marie aceita o convite de Pierre para conhecer seus pais, a família Curie a recebe com muito carinho. Marie e Pierre casam-se em julho de 1895, numa cerimônia sem bênção e sem alianças, figura 5.



Figura 5 – Pierre e Marie a caminho da lua de mel em 1895.

Marie se divide entre as tarefas domésticas e os estudos. Ela começa a estudar para um concurso de efetivação para lecionar em um colégio no ano seguinte, e procura algum trabalho de pesquisa remunerado. Ela consegue a autorização do diretor da escola em que Pierre leciona, para trabalhar no laboratório, desde que custeie as despesas com suas pesquisas. O seu primeiro teste é na área do magnetismo, área na qual Pierre é uma autoridade. Assim ele podia balizar os seus experimentos. Ela consegue gratuitamente amostras de metais na sociedade de metalurgia.

Em 1897 Marie estava grávida e em 12 de setembro nasce Irène, poucos dias após a mãe de Pierre morrer. Com o falecimento seu pai decide vir morar com eles, assim auxilia Marie com a pequena Irène, futura prêmio Nobel pela descoberta da radioatividade artificial

e sobre a transmutação dos elementos. Não passava pela cabeça de Marie e nem pela de Pierre que ela interrompesse suas atividades por muito tempo. Quanto à pequena Irene, tornou-se doutora em ciências em 1925 com uma tese sobre a radiação alfa do polônio. Após alguns anos, seu trabalho intitulado *Production artificielle d'éléments radioactifs - Preuve chimique de La transmutation des éléments* foi publicado em 1934 e em 1935 foi laureada com o prêmio Nobel de química. (Nobelprize, 2012), figura 6.



Figura 6 – à esquerda: A família Curie com a pequena; à direita: Irène-Joliot Curie.

### 4.3. O trabalho

Ao retomar suas atividades, Marie é surpreendida pelo fenômeno descoberto por Henry Becquerel, que os sais de urânio emitem raios tal como os raios-X. Para estabelecer uma relação de igualdade de gênero, Marie sabia que era preciso ter, no mínimo, os mesmos títulos que os homens. Ela percebe que a descoberta de Becquerel lhe oferecerá a possibilidade de explorar algo novo para tecer a sua tese de doutorado.

O local em que Marie inicia seus trabalhos é um velho depósito, representado nas figuras 7 e 8, que também servia como sala de máquinas. Marie não se abateu com a falta de estrutura para trabalhar, ao contrário, ela agradece ao diretor. Este episódio também é retratado no filme *Madame Curie* de 1943, na cena em que Marie interrompe o veemente protesto de Pierre à banca de doutores e agradece ao diretor pelo galpão. A descrição do laboratório em que Marie trabalhou, por um químico alemão interessado em seus trabalhos: “Aquilo mais parecia uma cavaliariça ou um celeiro de batatas; se eu não tivesse visto a mesa de trabalho com seu material de química, acharia que se tratava de uma brincadeira” (Giroud, 1989).

O seu plano de pesquisa parte do material que se pode utilizar gratuitamente.



Figura 7 – Depósito que foi o laboratório de Marie e Pierre Curie.



Figura 8 – Laboratório de Marie e Pierre Curie.

O equipamento que utilizará será o eletrômetro a quartzo piezoelétrico, inventado por Pierre, figura 9. E as amostras são doações de professores e engenheiros. São pedaços de minérios, amostras de metais. Ao final de cada dia de trabalho Marie compartilha o desenvolvimento de suas pesquisas com Pierre, mas ele ainda não participa delas.

Marie inicia seus testes utilizando o eletrômetro para medir as quantidades de eletricidade formadas no ar por raios de urânio, ela também verifica esta propriedade em

outras substâncias, e logo a constata no tório. Ela retoma suas medições com o eletrômetro para quantificar a intensidade da corrente dos compostos de tório e de urânio. Observa que a atividade destes compostos depende apenas do teor de urânio. Ela confirma que “a radioatividade é inseparável dos átomos de certos elementos privilegiados, tais como, o urânio e o tório; é consequência de um fenômeno que intervém no próprio interior do átomo” (Giroud, 1989) E nomeia este fenômeno de radioatividade.

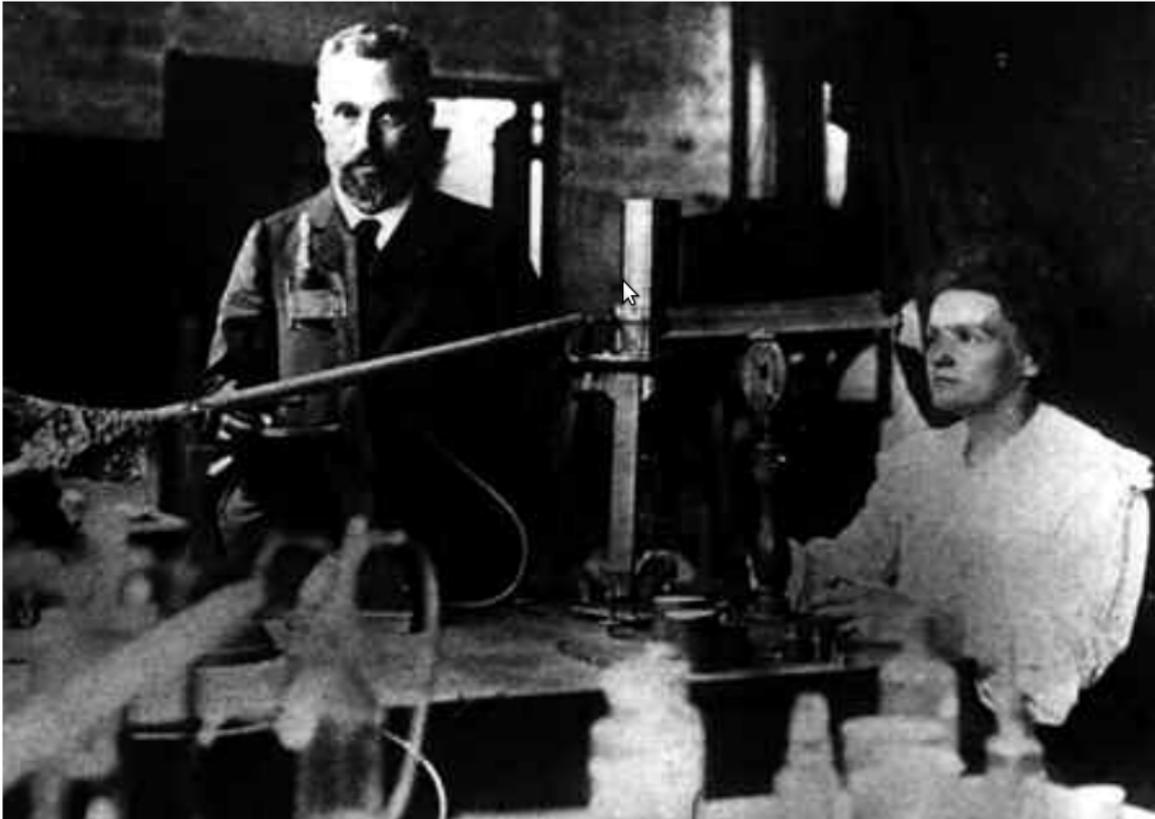


Figura 9 – Eletrômetro a quartzo piezoelétrico utilizado pelo casal Curie.

Ela continua com as medições em outros minérios, entre eles a pechblenda, ou uraninita, e observa que este é radioativo, mas considera que sua atividade é muito mais forte do que poderia prever. Começa então uma investigação para entender este fenômeno inesperado. Ela refaz uma série de experiências para certificar-se que não cometeu nenhum erro e pesquisa uma explicação. Surge então a hipótese de que os minerais examinados continham outra substância, que era muito mais radioativa do que o urânio ou o tório, uma nova substância.

Em 12 de abril de 1898 Marie emite uma nota à Academia de Ciências: “Esse fato é muito marcante e leva a crer que estes minerais podem conter um elemento muito mais radioativo do que o urânio” (Giroud, 1989).

Pierre decide interromper seus estudos para auxiliar Marie, figura 10. O trabalho consistia em separar os elementos da uraninita. A composição do minério era conhecida por análises químicas. Esperavam encontrar na amostra 1% de novos elementos radioativos, novas substâncias. Este processo de separação envolvia etapas longas e minuciosas. A cada

etapa de separação e purificação obtinham uma substância cada vez mais ativa. No filme de 1943 podemos ver o exaustivo processo de separação por evaporação sucessiva das amostras.



Figura 10 – Pierre e Marie Curie trabalhando juntos.

Em 18 de julho de 1898 anunciam a descoberta de um novo elemento. Que foi nomeado de Polônio, em homenagem ao país de Marie.

Novas experiências os levam a concluir que a uraninita deve conter outro elemento. Após verificarem a amostra, com um espectroscópio, detectam o seu espectro e concluem que se trata de mais um novo elemento. Em nota à Academia Francesa de Ciências em 26 de dezembro de 1898: “levamo-nos a crer que a nova substância radioativa encerra um elemento novo para o qual propomos a denominação de rádio” (Giroud, 1989).

Iniciava-se mais uma de suas jornadas, em que a sua persistência, determinação e perseverança fariam de Marie uma estrela. A separação do rádio e a determinação de seu peso atômico.

#### 4.4. Desafio

Havia grandes dificuldades a superar, entre elas, a quantidade de minério de uraninita necessária para a extração do rádio, já que este é um minério muito caro. Outra dificuldade seria o processo de separação, pois não havia estrutura para tal operação. A principal usina de extração de urânio da uraninita localizava-se na Boêmia, e com o auxílio do governo austríaco e da academia de Ciências de Viena, a direção da usina aceita vender os resíduos de uraninita. Ao chegar os sacos com o minério, Pierre e Marie deparam-se com mais uma dificuldade, o espaço físico para realizar o armazenamento e a separação do minério.

É concedida a autorização para que eles utilizem um galpão próximo ao laboratório que Marie trabalhava. Este galpão estava desativado e havia sido sala de dissecação para

os estudantes da Escola de Medicina. Neste galpão não havia aquecimento ou exaustão, o teto era envidraçado o que o tornava uma estufa em dias de sol e em dias de chuva havia goteiras. Apesar das condições os Curie estavam felizes por terem conseguido autorização para utilizá-lo. A partir deste momento a determinação e a obstinação de Marie serão decisivas, pois este trabalho lhe custará muita perseverança e esforços puramente físicos.

A primeira fase do processo era separar os resíduos de uraninita, lavar, remover impurezas visíveis, dissolver, filtrar, purificar, cristalizar, repetindo o processo, recristalizar. Marie fará a separação do rádio pelo método de cristalização fracionada, método que ela mesma concebeu. Os sais de rádio se concentram nos cristais. Após cada cristalização, uma medição de atividade avalia o progresso da purificação.

A determinação da massa atômica de rádio tornou-se uma obsessão para Marie Curie. Mesmo com os sinais da radiação, dedos gretados e cansaço excessivo, não eram motivos para desmotivá-la em sua busca, “ela não tem concorrente na busca obsessiva da prova que espera fornecer, o tipo de prova exigido pela ciência química, o fato de ser o rádio um elemento autêntico” (Giroud, 1989).

Em 21 de julho 1902, obteve o valor de  $225 \pm 1$ , agora conhecido por ser 226.0254, em uma amostra de auto-luminosa de 0,120 g de cloreto de rádio com uma proporção de bário rádio de  $10^6$  para um, que foi um milhão de vezes mais ativo do que o urânio.

Em 12 de junho de 1903, Marie apresentou a sua tese, “Pesquisas sobre substâncias radioativas”, na Sorbonne. Mais tarde nesse ano, ela dividiu o Prêmio Nobel de Física com Pierre Curie e Antoine Henry Becquerel (Adloff, 2011).

Os Curie recusaram-se a registrar patente com a técnica de extração e purificação do rádio.

#### 4.5. Divulgação do Rádio

Em 19 de junho de 1903, Pierre viaja para Londres a convite da Royal Institution, onde fez um discurso, pela primeira vez, sobre os efeitos do rádio sobre o corpo humano: queimaduras na pele das áreas expostas, necrose e cicatrizes. Destacou também que placas de chumbo impediam os danos da radiação na pele. Mas o que impressionou o público foram suas referências ao seu efeito de cura do rádio sobre o câncer (Binda, 2009). Se o nome dos Curie é mundialmente conhecido, se ecoou até nos lares mais humildes, é porque foi imediatamente associado à cura do câncer (Giroud, 1989).

Em 1904 Pierre recebe a cadeira de Física Geral na Sorbonne. Passando a ter um laboratório para desenvolver suas pesquisas, no qual Marie atuará como coordenadora de pesquisas. Neste mesmo ano nasce a segunda filha de Marie, Ève. Ela quem escreverá uma famosa biografia de Marie e que, juntamente com seu marido, receberá o prêmio Nobel da Paz em 1962 por seus esforços durante a Segunda Guerra Mundial.

Em 1905 Pierre e Marie viajam para Estocolmo para um discurso na Academia de Ciências da Suécia. Ele expôs sobre a ação do rádio em cobaias, congestão pulmonar, alteração no número de leucócitos no sangue; e seus efeitos terapêuticos em alguns casos de câncer, procedimento que foi denominado curieterapia ou radioterapia (Binda, 2009).

Pierre termina o seu discurso assim:

“Podemos conceber ainda que, em mãos criminosas, o rádio possa tornar-se muito perigoso e, nesse ponto, podemos perguntar-nos se é vantajoso a humanidade conhecer os segredos da Natureza, se ela está madura para aproveitá-los ou se esse conhecimento não lhe é prejudicial. O exemplo das descobertas de Nobel é típico: os explosivos potentes que possibilitam ao homem realizar trabalhos admiráveis também são um terrível meio de destruição nas mãos de grandes criminosos que arrastam os povos à guerra. Sou daqueles que pensam, como Nobel, que as novas descobertas trarão mais benefícios do que danos à humanidade” (Giroud, 1989).

Neste mesmo ano, Einstein submeteu três artigos para publicação no periódico alemão Anais da Física (*Annalen der Physik*). Einstein caracterizou o primeiro artigo, sobre o quantum de luz, “como muito revolucionário”. Neste artigo ele estudou o fenômeno do quantum, a unidade fundamental de energia, descoberto pelo físico alemão Max Planck. Ele explicou o efeito fotoelétrico, segundo o qual para cada elétron emitido, uma quantidade específica de energia é usada. Este é o efeito quântico que diz que a energia é emitida em quantidades fixas que podem ser expressas usando apenas números inteiros. Esta teoria formou a base para grande parte da mecânica quântica (Hawking, 2005).

Após o primeiro Congresso Solvay de 1911, Marie escreve para apoiar uma atitude de Einstein: “Admirei muito os trabalhos que foram publicados por Einstein sobre problemas que dizem respeito à física teórica moderna... Seus trabalhos são realmente de primeira qualidade...” (Giroud, 1989).

#### 4.6. O luto

Em 19 de abril de 1906 Pierre foi atropelado por uma carruagem puxada por cavalos nas ruas de Paris e morreu imediatamente. Esta perda terrível permaneceria com Marie para o resto de sua vida. Durante anos, ela não poderia falar de Pierre a suas filhas.

Marie recusa-se a receber uma pensão oferecida pelo governo francês pela morte de Pierre, em uma demonstração de força e dignidade: “Eu não quero uma pensão, ainda sou jovem e capaz de ganhar a vida para mim e para as minhas filhas” (Binda, 2009).

Em 13 de maio de 1906, por decisão unânime do Conselho da faculdade de ciências, Marie receberá a cadeira de Física Geral da Sorbonne, criada para Pierre. Esta foi a primeira vez que uma mulher ocupou uma posição tão alta no ensino universitário na França. Marie não apresentava características típicas “feministas” da época. Ela estava profundamente convencida de que as mulheres e os homens eram iguais em suas potenciais capacidades intelectuais.

#### 4.7. Instituto do rádio

Após a morte de Pierre Curie, por força das circunstâncias, Marie assume como diretora o laboratório na rua Cuvier. Apesar da tristeza, ela retoma suas atividades. E escreve em seu diário: “Não concebo mais nada que possa me dar alegria pessoal a não ser o trabalho científico” (Giroud, 1989).

Em 1908, o Instituto Pasteur e a Universidade de Paris decidiram construir um novo instituto multidisciplinar para pesquisar as aplicações de radioatividade, que foi chamado o *Institut du Radium* (Instituto Rádio) e teria duas seções, uma dedicada a estudos físicos e químicos, o Pavilhão Curie, dirigido por Marie, e o outro se concentraria em aplicações médicas e biológicas, Pavilhão Pasteur, dirigido por Cláudio Regaud (Boudia, 2011). A obra do instituto foi finalizada em 1914, mas o laboratório passará a operar em condições normais somente após a Primeira Guerra Mundial.

Após um árduo trabalho, auxiliada por André Debierne, Marie isola o rádio. Conseguiram condensar, pela eletrólise de uma solução de rádio com um cátodo de mercúrio, uma quantidade infinitesimal de um sólido branco, com um ponto de fusão de 700°C, o que comprova que o rádio é um metal (Giroud, 1989). Em 1910, uma comissão internacional formada por pesquisadores da radioatividade adotou o curie, sugerido por Marie e André Debierne, como a unidade internacional de medida de radioatividade e encarregou Marie com o estabelecimento de um padrão internacional de rádio que serviria para calibrar diferentes fontes radioativas para pesquisa e aplicações da radioatividade.

Em novembro de 1911, Marie recebe a notícia de que receberia o Prêmio Nobel de Química em reconhecimento de “seus serviços no avanço da química pela descoberta do rádio e polônio, purificação do rádio e seus compostos”, tornando-se a primeira pessoa a receber o Prêmio Nobel por duas vezes (Binda, 2009).

Durante os anos 1920 eram quatro os principais laboratórios que dominavam as pesquisas sobre radioatividade, o Laboratório Cavendish, em Cambridge, dirigido por Ernest Rutherford, que se concentrou no estudo das alterações físicas radioativas e sobre os mecanismos de desintegração destes elementos. O *Institut für Radiumforschung* em Viena, dirigido por Stefan Meyer. O *Kaiser Wilhelm Institut für Chemie* em Berlim, sob a direção de Otto Hahn e Meitner Lise, tinha seus pesquisadores especializados na identificação de novos elementos radioativos e no estudo físico de suas emissões. No laboratório de Marie, o trabalho era dedicado ao estudo das propriedades físicas e químicas de elementos radioativos, com especial destaque para o desenvolvimento de aplicações para estes elementos, tais como no campo da medicina e da produção industrial.

#### 4.8. Instituto do Rádio no Brasil

Em 1922 é criado o Instituto do Rádio, figura 10, em Belo Horizonte primeiro centro destinado à luta contra o câncer no Brasil. O Instituto tinha por objetivo estudar o rádio e os raios-X, e também a tarefa de divulgar a doença ao público, realizar pesquisas científicas, realizar o tratamento do câncer e de afecções pré-cancerosas (Fenelon & Almeida, 2001).



Figura 10 – Fachadas principal e lateral do Instituto, publicadas no La Presse Médicale, de 20 de outubro de 1923.

Um momento marcante da história do Instituto foi representado pela visita de Marie Curie e sua filha Irène, em agosto de 1926, figuras 11 e 12. Marie Curie proferiu, uma conferência sobre a radioatividade e suas aplicações na medicina na Faculdade de medicina (Fenelon & Almeida, 2001).

Marie Skłodowska Curie     14 août 1926  
 Irène Curie     " " " "  
 Carlota Teixeira de Aguiar     15 de Agosto de 1926  
 Maria Amalberto     17 de Agosto de 1926  
 Maria Guion de Aguiar     19 de Agosto de 1926  
 A. A. Curvelo     25 Nov 1926.  
 Sr. M. E. Gomes     25 Nov 1926  
 João H. Jammy     25 Nov 1926  
 Antônia Carolina Ribeiro de Aguiar, 201.  
 29 de Jan. de 1926.

Figura 11 – Assinaturas de Marie Curie, de Irène no livro de visitas do Instituto.



Figura 12 – Irène e Marie Curie aparecem no centro da fotografia, sentadas sob a árvore (roupa preta).

A partir de 1950, o Instituto do rádio passou a chamar-se Instituto Borges da Costa, em homenagem a seu fundador e primeiro diretor. Em 1967, foi incorporado ao patrimônio da UFMG.

#### 4.9. O uso do Raio-X na Primeira Guerra Mundial

Durante a Primeira Guerra Mundial, o serviço de saúde militar não estava preparado para a enorme demanda pelos diagnósticos por raios-X. Marie ajudou a estabelecer estações de raios-X em vários hospitais e dezenas de ambulâncias que foram convertidas em unidades

móveis de raios-X, que poderiam operar perto da frente de batalha. As habilidades de Marie em análise, tomada de decisão e organização se mostraram bastante úteis neste esforço, ela ajudou examinando os feridos para entender melhor como os raios-X poderiam ser usados e organizou um treinamento de radiologia para enfermeiros. As ambulâncias, durante a guerra, ficaram conhecidas como “pequenas curie”, figura 13. Durante 4 anos, Marie levou suas “pequenas curie” para os campos de batalha, ajudando desta forma a salvar milhares de vidas (Binda, 2009).



Figura 13 – Marie em uma “pequena curie”.

Com o fim da guerra, o Instituto Rádior lentamente retomou a sua pesquisa em um país arruinado pela guerra.

#### 4.10. Relação com os estados unidos

O período pós-guerra não é o melhor momento para a França investir em pesquisa. Com poucos recursos e com o laboratório ultrapassado, Marie tinha apenas 1 g de rádio, em um banco de capital fechado Bordeaux.

Em 1920, Marie aceita ser entrevistada por Marie Mattingly Meloney, apelidada por Missy, editora de uma revista feminina nos Estados Unidos. Oportunidade em que Marie diz que os EUA tinham no mercado 50 gramas de rádio, e que a França tinha apenas um grama.

Após a entrevista, Missy escreveu: “... tinham contribuído para o progresso da ciência e para o alívio do sofrimento humano, mas não tinham o equipamento necessário para o seu gênio ir mais longe ...” (Binda, 2009). Missy embarcou em uma campanha de angariação de fundos. Ela organizou uma campanha de assinaturas entre as mulheres americanas, a fim de oferecer um grama de rádio de Marie Curie em sua visita aos Estados Unidos.

Visita posterior Marie culminou com uma recepção na Casa Branca com o presidente Warren G. Harding, figura 14.



Figura 14 – Marie com o presidente Warren G. Harding na Casa Branca em 20 de maio de 1921.

Ela voltou de suas viagens com recursos adicionais, equipamentos e produtos radioativos para o Instituto de Rádio. Ao mesmo tempo, a Fundação Curie foi criada. Marie apoiou fortemente o uso médico de raios-X e radiação rádio para tratar o câncer.

#### 4.11. A despedida

Marie que sentia há muitos anos os efeitos da exposição excessiva a radiação, percebe sua saúde declinar progressivamente. Sentia-se esgotada, e acompanhada por sua filha mais nova Ève, foi para a uma Clínica em Sancellemoz. E em 04 de julho de 1934, Marie falece, aos 67 anos. Em 1995 seu corpo foi exumado e enterrado no Pateão.

#### 4.12. A química e a física depois das descobertas de Marie

A era da radioatividade, que começou entre 1896 e 1898, levou a descobertas que influenciaram profundamente a química e a física.

Após a descoberta do polônio, mas antes da descoberta rádio pelos Curie, Rutherford estudou os raios Becquerel, a radiação emitida pelo urânio. Ele considerou que esta radiação era complexa e consistia de “pelo menos dois tipos distintos. uma que será denominada por conveniência a radiação  $\alpha$ , e a outra... que será denominada a radiação  $\beta$ ”. Em 1900, na École Normale em Paris, Paul Villard descobriu um terceiro tipo de radiação que é muito penetrantes e análogos aos raios-X, que será mais tarde denominado  $\gamma$  radiação. (Radvayi, 2011)

Em 1911, Rutherford conclui que o átomo contém um pequeno “núcleo”, onde quase toda a sua massa é concentrada, o núcleo deve levar o cargas positivas, enquanto que é rodeado elétrons carregados negativamente. As consequências dessa descoberta para a física são substanciais. Com base no modelo atômico de Rutherford, usando as regras de quantificação de Planck, o jovem dinamarquês Niels Bohr calcula um novo modelo do átomo. Radioatividade, ele afirma, é uma propriedade do núcleo. (Radvayi, 2011) E em 1913,

introdução do conceito de “quanta energético”, coloca os elétrons em uma órbita definida em torno do núcleo (Guillaumont; Grambow, 2011).

Assim, o polônio e o rádio não só são os fundamentos da ciência da radioatividade, como sugeriu Marie em sua palestra Nobel de 1911, mas eles são os alicerces para a química moderna como um todo (Guillaumont; Grambow, 2011).

O conhecimento da radioatividade foi decisivo em muitas descobertas fundamentais: a radioatividade como uma propriedade atômica, radionuclídeos artificiais, a conclusão da tabela periódica, a fissão nuclear, e elementos transurânicos.

#### 4.13. Aplicações da radiação e radioatividade

Após o trabalho monumental dos Curie na descoberta e caracterização do rádio e do polônio, primeiros elementos químicos a apresentarem uma nova propriedade física denominada radioatividade, todos os demais elementos, radioativos ou não, foram organizados na carta de nuclídeos, da qual a tabela periódica é um resumo (Nucleonica; Brookhaven, 2012). Todos os radionuclídeos, naturais ou artificiais, apresentam uma atividade radioativa de emissão, avaliada pelo seu tempo de meia vida, que é o tempo necessário para esta atividade reduzir-se à metade de seu valor inicial, que por sua vez pode ser de milésimos de segundos à milhões de anos dependendo do radionuclídeo. Independentemente da escala de tempo, todos podem ter sua atividade descrita pela equação algébrica:

Ou na forma de  $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$  equação diferencial:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

Em ambos os casos,  $A$  representa a atividade da amostra de um dado elemento medida em curies ou becqueréis; A constante matemática  $e$  representa a base dos logaritmos neperianos ( $e = 2,71828$ ) enquanto a constante  $\lambda$  representa a probabilidade físico-estatística do decaimento que é uma propriedade de cada radionuclídeo;  $N$  é o número de átomos radioativos enquanto  $dN$  é uma quantidade delimitada deste para a etapa de cálculo;  $t$  representa o tempo de decaimento enquanto  $dt$  representa uma quantidade delimitada também para a etapa de cálculo; A relação de divisão entre  $dN$  e  $dt$  nos dá uma informação sobre o que está acontecendo, chamada taxa de decaimento ou desintegração, que já recebe previamente desta designação semântica de “algo” que está diminuindo com o tempo por causa do sinal de menos ( $-$ ) na equação diferencial. (Bitelli, 2006; Mayer-Kuckuk, 1993).

No século XXI, pudemos constatar que as aplicações das radiações em geral, mas das radiações ionizantes em especial, se diversificaram e alcançaram áreas completamente distintas de atuação do homem. As radiações são utilizadas na medicina, nas áreas da radioterapia, radiodiagnóstico e medicina nuclear (Bitelli, 2006); Na biologia em vários

estudos desde fisiologia e metabolismo até a paleontologia com métodos de datação de fósseis com o  $^{14}\text{C}$  entre outros (Okuno, 1982); Na indústria em gamagrafia de peças de navios, aviões e dispositivos especiais para verificar se não há falhas nas soldas de partes críticas como asas e cascos. Também de uso industrial são os detectores de vazamento de substâncias gasosas com marcadores radioativos e radioesterilização de diversos produtos já embalados como seringas, agulhas de injeção, de sutura e de acupuntura; Na agricultura em irradiação de alimentos para desinfestação e aumento da vida útil de produtos agrícolas (Diehl, 1995); Em ciências da conservação, na preservação e restauro de obras de arte e livros, como descontaminação de estátuas de madeira (barrocas) infestadas por cupins, análises da composição de suportes de obras por fluorescência de raios- X (Potts & West, 2008), descontaminação de acervos bibliográficos por fungos devido à inundações; Em química na produção de radiofármacos para aplicação em medicina nuclear e modificação de materiais poliméricos, cura de tintas, vernizes e adesivos (CNEN, 2012); Em geologia para a datação de rochas e história geológica da Terra (Coelho, 1977); Em odontologia para radiodiagnóstico; Em veterinária para radioterapia e radiodiagnóstico; Em ecologia para estudos ambientais e tratamento de efluentes industriais e lixo hospitalar; Também para o beneficiamento de pedras preciosas, mas há muitas outras aplicações não comentadas aqui (CNEN, 2012).

---

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As radiações sejam elas, térmicas, ionizantes ou particuladas, constituíram o primeiro objeto de estudo da ciência moderna, que conduziram ao nascimento da mecânica quântica, para explicar comportamentos da natureza nos quais a concepção newtoniana falhava. Na presente época, as teorias quânticas descrevem desde métodos instrumentais em química analítica como a espectroscopia, até o funcionamento de dispositivos semicondutores de alto desempenho, na engenharia eletrônica, como o diodo túnel ou diodo Esaki.

---

## REFERÊNCIAS

- ADLOFF, J.P.; A Short History of Polonium and Radium. Chemistry International. The News Magazine of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), v.33, n°1, p.21-23, 2011.
- BECQUEREL, H.; Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents. Comptes Rendus des L'Académie des Sciences. p.502-503, 1896.
- BINDA, M.C.; Marie Curie, una mujer pionera en su tiempo: Primera parte. Rev. Argent. radiol., vol.73, n°3, p.265-270. Dic 2009.
- BINDA, M.C.; Marie Curie, una mujer pionera en su tiempo: Segunda parte. Rev. Argent. radiol., vol.73, n°4, p.409-416. Dic 2009.

- BITELLI, T.; Física e dosimetria das radiações. São Paulo: Atheneu; Centro Universitário São Camilo, 422p. 2006.
- BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Apostilas educativas. Disponível em <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp>>. Acesso em 14 nov. 2012.
- BROOKHAVEN NATIONAL LABORATORY. Chart of nuclides. Disponível em <[www.nndc.bnl.gov](http://www.nndc.bnl.gov)>. Acesso em 14 nov. 2012.
- CHAVANNES, I.; Aulas de Marie Curie: anotadas por Isabelle Chavannes em 1907. Trad. Waldyr Muniz Oliva. São Paulo: Edusp, 2007.
- COELHO, A.P.; Energia nuclear. Rio de Janeiro: Iarte, 474 p. 1977.
- CORDEIRO, M.D.; PEDUZZI, L.O.Q. Aspectos da natureza da ciência e do trabalho científico no período inicial de desenvolvimento da radioatividade. Rev. Bras. Ens. Física, v.33, n.3, 3601 (2011).
- DIEHL, J.F.; Safety of irradiated foods. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc.,1995. 453 p.
- FENELON, S.; ALMEIDA, S. S.; A histórica visita de Marie Curie ao Instituto do Câncer de Belo Horizonte. Radiol Bras 2001;34(4):VII-VIII, 2001.
- GUILLAUMONT,R; GRAMBOW, B. C.; Chemistry after the Discoveries of Polonium and Radium. Chemistry International. The News Magazine of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), v.33, nº1, p. 24-27, 2011.
- GIROUD, F.; Marie Curie. Trad. Ramon Américo Vasquez. São Paulo: Martins Fontes Ltda, 264 p. 1989.
- GOLDSMITH, B.; Gênio obsessivo: o mundo interior de Marie Curie. Coleção grandes descobertas. São Paulo: Companhia das letras, 2006.
- HAWKING, S.; Os gênios da ciência: sobre os ombros de gigantes. Ed. Especial ilustrada. Trad. Marco Moriconi. Rio de Janeiro: Elsevier, 198p. 2005.
- JOLIOT, H.L.; Marie Curie and Her Time. Chemistry International. The News Magazine of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), v.33, nº1, p. 4-11, 2011.
- JAPIASSU, H.; MARCONDES, D.; Dicionário básico de filosofia. 3 ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 296p. , 1996.
- MADAME CURIE. Direção: Mervyn LeRoy. Intérpretes: Greer Garson ; Walter Pidgeon. Produção: Sidney Franklin. Roteiro: Paul Osborn. Los Angeles: Metro Goldwyn Mayer (120 min), 1943,son., P & B.
- MAYER-KUCKUK,T.; Física nuclear. 4 ed. Lisboa:Calouste Gulbenkian, 1993. 481p.
- MARTINS, R.A.; Hipóteses e interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. Ciência & Educação, v.10, n.3, p.501-516, 2004.
- McEVOY, J.P.; ZARATE,O. Entendendo teoria quântica: um guia ilustrado. Trad. Márcio Marciolino. São Paulo: Editora Leya, 176 p. 2012.
- NOBEL PRIZE. Disponível em: <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/chemistry/laureates/1935/joliot-curie-bio.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1935/joliot-curie-bio.html)>. Acesso em: 27 out. 2012.
- NUCLEONICA. Karlsruhe Nuclide Chart. Disponível em <[www.nucleonica.com](http://www.nucleonica.com)> . Acesso em 14 nov. 2012.
- OKUNO,E.;CALDAS,I.L.;CHOW,C.; Física para ciências biológicas e biomédicas. São Paulo: Harbra. 490 p. 1982.
- RADVANYI, P.; Physics and Radioactivity after the Discovery of Polonium and Radium. Chemistry International. The News Magazine of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), v.33, nº1, p. 32-35, 2011.
- POTTS, P.J.; WEST, M. Portable X-ray fluorescence spectrometry: capabilities for in situ analysis. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 291 p. 2008.

TRINDADE, D.F.; A interface ciência e educação e o papel da história da ciência para a compreensão do significado dos saberes escolares. *Revista Iberoamericana de Educación*, nº47/1, p.01-07, 2008.