

ANO
2020

KAROLINE DOS SANTOS TARNOWSKI | MARIE SKŁODOWSKA CURIE
EPISÓDIOS DE ENSINO: CONTRIBUIÇÕES AO ENSINO DE CIÊNCIAS

Material de apoio aos professores da área de Ciências da Natureza para auxiliar em sua prática pedagógica envolvendo a temática de radioatividade a nível de Educação Básica e/ou Superior, sendo para tanto utilizada a história da cientista Marie Skłodowska Curie como contexto.

Orientadora: Prof. Dra. Ivani Teresinha Lawall

Joinville, 2020



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS, MATEMÁTICA
E TECNOLOGIAS – PPGECDT

PRODUTO EDUCACIONAL

MARIE SKŁODOWSKA CURIE
*Episódios de Ensino: Contribuições ao
Ensino de Ciências*

KAROLINE DOS SANTOS TARNOWSKI

JOINVILLE, 2020



MARIE SKŁODOWSKA CURIE

Episódios de Ensino:
Contribuições ao
Ensino de Ciências

M. Skłodowska-Curie

KAROLINE DOS SANTOS TARNOWSKI
IVANI TERESINHA LAWALL

Instituição de Ensino: Universidade do Estado de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação: Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias

Nível: Mestrado Profissional

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Linha de Pesquisa: Ensino, aprendizagem e formação de professores

Título: Marie Skłodowska Curie – Episódios de Ensino: Contribuições ao Ensino de Ciências

Autora: Karoline dos Santos Tarnowski (karol.tarnowski@hotmail.com)

Orientadora: Ivani Teresinha Lawall (ivani.lawall@udesc.br)

Data: 30/07/2020

Produto Educacional: Desenvolvimento de material didático e instrucional

Nível de ensino: Educação Básica e/ou Superior

Área de Conhecimento: Ciências da Natureza

Tema: História da Ciência – Radioatividade

Descrição do Produto Educacional: Desenvolveu-se um material de apoio aos professores da área de Ciências da Natureza para auxiliar em sua prática pedagógica envolvendo a temática de radioatividade a nível de Educação Básica e/ou Superior, sendo para tanto utilizada a história da cientista Marie Skłodowska Curie como contexto.

Biblioteca Universitária: udesc.br/bibliotecauniversitaria

Publicação Associada: A história de Marie Skłodowska Curie viabilizando a Alfabetização Científica e Tecnológica

URL: udesc.br/cct/ppgecmt/d_pe

Arquivo	Descrição	Formato
19352 kB	Texto completo	Adobe PDF

Licença de uso: Este item está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) (Atribuição – Não Comercial – Compartilha Igual – CC BY-NC-SA).





Caro(a) professor(a),

Este Produto Educacional foi desenvolvido com o intuito de contribuir ao ensino de Ciências por meio da utilização da história de vida de Marie Curie como contexto. Inicialmente, a fim de situá-lo(a), são brevemente abordados aspectos biográficos e indicados materiais de apoio que se referem ao assunto, tais como: publicações originais da cientista e de colaboradores; biografias; filmes e documentários¹.

Posteriormente, são apresentadas três proposições de ensino elaboradas e implementadas², denominadas como Episódios de Ensino. O referencial teórico que subsidiou a construção dos Episódios foi a Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) na perspectiva de Fourez (1995; 2003; 2005). Isso porque ela tem por objetivo formar, inserir e desenvolver a capacidade criativa e de reflexão do cidadão, não apenas no sentido individual, mas também levando em consideração o meio coletivo e social (Fourez, 2003). Mais precisamente, visa fornecer subsídios por meio do conhecimento para que os indivíduos possam compreender questões relativas à ciência e tecnologia sem intimidar-se pela possível ignorância diante do que se depara. Nesse sentido, Fourez (2005) defende a ACT como forma de emancipação de uma sociedade, através de uma renovação no ensino científico pautado em objetivos humanistas, sociais e econômico-políticos.

No caso da dimensão *humanista*, ela está relacionada à capacidade do indivíduo se situar no mundo e compreendê-lo a partir da ciência, em que adota um posicionamento crítico frente à ciência e às tecnologias que se apresentam. Quanto aos objetivos *sociais*, a ACT visa atenuar as desigualdades relacionadas à falta de compreensão do meio científico e tecnológico, possibilitando que os indivíduos participem de modo autônomo de discussões que requeiram conhecimentos científicos e tecnológicos e senso crítico. Sobre os meios *econômico-políticos*, a ACT possibilita que o sujeito faça parte do mundo atual e industrializado, em que também são desenvolvidas as vocações dos que têm interesse em trabalhar com a ciência e a tecnologia.

¹ Pesquisas nas áreas histórico-científicas e de ensino podem ser encontradas na dissertação associada a este Produto Educacional.

² Na dissertação se discute a implementação do Episódio de Ensino I, embora as três proposições tenham sido desenvolvidas com licenciandos.

Dentro de tais objetivos, o desenvolvimento de componentes pessoais, teóricas, culturais, sociais, éticas e econômicas são almejados. Assim, os atributos manifestados pelos estudantes são: autonomia do indivíduo, como componente pessoal; a comunicação com os demais, em relação ao componente cultural, social, ético e teórico; e domínio e responsabilidade, sendo uma capacidade de lidar com o meio, constituindo um componente econômico. No que diz respeito à *autonomia*, ela é adquirida por meio da apropriação de conhecimentos em ciências e tecnologias. Ao possuir esse atributo, o indivíduo tem a capacidade de compreender e representar situações reais e lidar de modo razoável e racional com problemas que se apresentam. Quanto à *comunicação*, ela se refere à capacidade de o sujeito relacionar-se com os demais através de uma manifestação e intercâmbio linguísticos para realizar trocas sobre as questões com que se depara. Por fim, sobre ao atributo *domínio e responsabilidade*, ele diz respeito à tomada de decisão que o indivíduo possui, com base no domínio dos conceitos que detém. Isso é feito alicerçado à sua responsabilidade, a partir do que Fourez (2005) denominou como “saber-fazer” e “poder-fazer”, ou seja, aliando conhecimento e atitudes, mas sem que isso signifique dominação sobre os demais.

Como estratégia de ensino, empregou-se os Três Momentos Pedagógicos propostos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2009) devido à sequência que conferem às aulas, baseados em problematizações, organização e aplicação do conhecimento.

Os Episódios de Ensino tiveram como público-alvo licenciandos no início de seu percurso formativo nas áreas de Física, Química e Biologia. Entretanto, acredita-se que tais propostas possam ser implementadas inclusive com licenciandos no final de sua graduação, com professores em formação continuada, em outros cursos relacionados e níveis de ensino, como o Ensino Fundamental e o Médio. Quanto à Educação Básica, acredita-se nesse potencial tendo em vista que os Episódios de Ensino apresentam correlações com a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018) no que se refere às Competências Específicas e Habilidades no âmbito de Ciências da Natureza e suas Tecnologias.

Esperamos que gostem e que esse material possa contribuir com as práticas na área do ensino.





1 Breve biografia	p. 7
2 Sugestões para aprofundamento	p. 15
3 Episódios de Ensino	p. 23
3.1 Episódio de Ensino I: História e Natureza da Ciência a partir da história de vida de Marie Curie	p. 24
<i>Materiais</i>	p. 26
3.2 Episódio de Ensino II: Os Prêmios Nobel de Marie Curie	p. 58
<i>Materiais</i>	p. 61
3.3 Episódio de Ensino III: Aspectos biológicos das radiações ionizantes	p. 111
<i>Materiais</i>	p. 113
4 Considerações finais	p. 155
5 Agradecimentos	p. 156
6 Referências	p. 157
7 Crédito das imagens	p. 166





1. BREVE BIOGRAFIA

Maria Skłodowska nasceu em 1867 na Varsóvia dominada pelo regime czarista, em que à época já ocorrera, em três momentos, a divisão da Polônia entre os prussianos, os russos e os austríacos. Nessas ocasiões, os poloneses lutaram contra os opressores, sendo obtidos resultados insignificativos e o aumento de represálias por parte do governo (E. Curie, [1937] 1962; R. Reid, 1974). Esse contexto político opressor russo que fazia parte da realidade de Maria fez com que ela percebesse, assim como as demais jovens do seu tempo, a necessidade de emigrar porque às mulheres não era permitido o acesso aos estudos universitários. Assim, a partir de um acordo de financiamento mútuo com uma das irmãs, Maria trabalhou como governanta e tutora em uma família do interior da Polônia durante os anos que manteve sua irmã estudando na França. Ao término da graduação da irmã pôde, então, desfrutar da vida universitária em Paris, adotando para tanto o nome afrancesado “Marie” e realizando estudos na área de Física e posteriormente Matemática.

Durante sua estadia em Paris e por conta de pesquisas que desenvolvia na área de magnetismo, conheceu Pierre Curie, que posteriormente se tornou seu marido. Quando Marie decidiu investigar como tema de seu doutorado os raios então misteriosos relatados por Henri Becquerel observados em substâncias contendo urânio, percebeu durante suas investigações um fenômeno até então desconhecido. Pierre juntou-se a ela na pesquisa e à medida que trabalhavam, identificaram dois elementos químicos novos, aos quais atribuíram o nome “polônio”, em homenagem ao povo polonês, e “rádio”, de origem latina para os raios emanados – identificado com o auxílio do químico André Debierne. As investigações por eles e colaboradores desenvolvidas foram notórias à área científica e foram motivo aos Prêmios Nobel, em Física e em Química, nos anos de 1903 e 1911, respectivamente (M. Curie, 1923).

Esse sucinto contexto comumente apresentado sobre a história de Marie Skłodowska Curie se estabelece como introdução à breve seleção de fotos comentadas relativas à sua vida, que servem de subsídio à compreensão global de sua história pessoal, cuja influência foi notória também no âmbito científico. Posteriormente, são apresentados outros materiais de apoio.



M. Skłodowska Curie

ÁLBUM BIOGRÁFICO

1



1867, 7 nov.

Maria Skłodowska nasce em Varsóvia, dominada pelo Império Russo

2



Pais de Maria, Władysław Skłodowski (1832-1902) e Bronisława Skłodowska (1836-1878)

3



1872

Maria (caçula) em meio aos irmãos Zofia, Helena, Jozéf e Bronisława

4



1876, 1 jan.

Falecimento da irmã Zofia (1861-1876) por tifo

5



1878, 9 mai.

Falecimento de sua mãe por tuberculose [Foto de 1860]

6



1883

Aos 16 anos

7



1883, 12 jun.

Diploma russo do ensino secundário de Maria Skłodowska

8



1886

Maria e sua irmã Bronisława

9



1890

Maria com seu pai e as irmãs Bronisława e Helena

10



1891, 3 nov.

Se muda para França e se matricula em Física na Sorbonne, agora "Marie"

11



1892

Na casa da irmã e do cunhado, na qual residiu

12



1893 e 1894

Gradua-se em Ciências Físicas e Matemáticas [Foto de 1903]



1834
 Conhece Pierre Curie através de um amigo de ambos, o polonês Kowalski



1895, 26 jul.
 Casamento de Marie e Pierre (Sceaux, França)



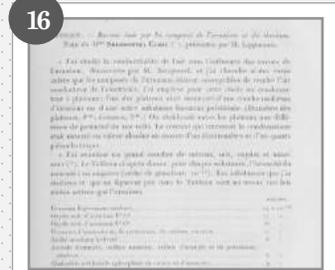
1895
 Em frente à sua casa com novas bicicletas, na época do seu casamento

1896, 15 out.
 Finaliza estudos para lecionar no ensino secundário

1897, 12 set.
 Nascimento da filha Irène



1897, dez.
 Início de investigações sobre os raios descobertos por Becquerel [Foto de 1903]



1898, 12 abr.
 Nota de Marie à Academia de Ciências sobre os raios estudados, inclusive do tório



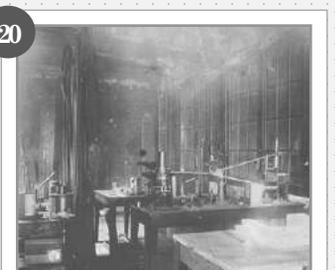
1898, 18 jul.
 Nota do casal à Academia sobre possível nova substância, "polônio"



1898, 26 dez.
 Nota o casal e Bémont à Academia sobre possível nova substância, "rádio"



1898
 Laboratório concedido pela Ecole Municipale de Physique et de Chimie Industrielles (EMPCI)



1900, ca.
 Onde os experimentos com minério de urânio ocorreram



1900, ca.



[1900-1906]
 Marie Curie com suas alunas da Ecole Normale Supérieure de Sèvres



André Debierne trabalhou com o casal (1901-1902) para o isolamento do cloreto de rádio a partir do cloreto de bário radifero

23



1901

André Debierne

24



1902

Purificam cloreto de rádio e determinam sua massa atômica [Foto de 1922]

25



1902

Falecimento de seu pai [Foto de 1890]

26



1903, dez.

Casal Curie no laboratório da EMPCI

27



1903, 25 jun.

Defende tese "Pesquisas sobre Substâncias Radioativas" na Sorbonne

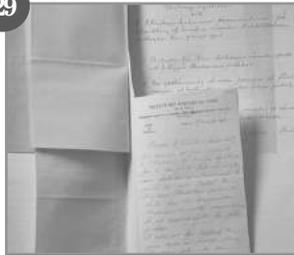
28



1903

Atribuição do Prêmio Nobel em Física ao Henri Becquerel e ao casal Curie

29



1903, 19 nov.

Carta do casal à Academia Real Sueca de Ciências agradecendo o Nobel

30



1904

Pierre, Marie e Irène em sua casa na Boulevard Kellermann

31



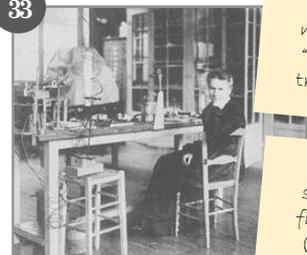
1904, 1 out.

Pierre se torna professor de Física na Sorbonne

32



33



1904

Casal dispõe de um novo laboratório pelo cargo de Pierre

Marie nomeada "chefe do trabalho"

Nasce segunda filha, Ève (6 dez.)



34



1904

35



1905

Marie com suas filhas
Irène e Ève

36



1906, 19 abr.

Falecimento de Pierre em
um acidente de trânsito

37



1906, 5 nov.

Marie é indicada para
ocupar o cargo de Pierre
como professora

38



1908, 16 nov.

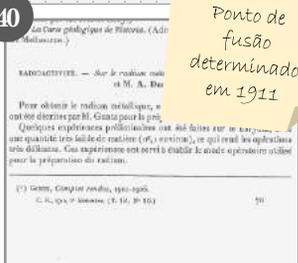
Se torna professora titular
de Física Geral na Sorbonne

39



1908

40



1910

Obtém com Debierne o rádio
metálico a partir de
eletrólise de seu cloreto

Ponto de
fusão
determinado
em 1911

41



[1910-1915]

Marie e suas alunas

42



1910

Publica o "Tratado de
Radioatividade"

43



1911

1ª Conferência Solvay
30 out. a 3 nov.

44

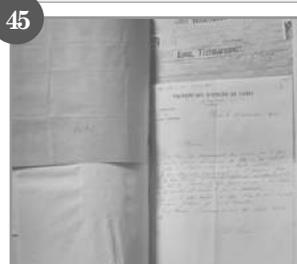


1911

Indicada ao Prêmio Nobel
em Química

Repercussão
do caso
Curie-
Langevin

45



1911, 14 nov.

Agradecimento à Academia
Real de Ciências da Suécia
pelo Prêmio Nobel



46

**1911, 23 jan.**

Perde a eleição à título de membro da Academia de Ciências francesa

47

**1912, set.**

Volta ao trabalho após se recuperar de uma doença renal [Foto de 1913]

48

**1914, 31 jul.**

Conclusão do Instituto do Rádío em Paris [Foto de 1925]

Declarada a 1ª Guerra Mundial 4 dias depois

49

**1914-1918**

Irène e Marie trabalham com aparelhos de raios X na Primeira Guerra Mundial

50

**[1914-1918]**

Atuação na Bélgica

51

**1914**

Carro à serviço de saúde militar do exército francês e da Cruz Vermelha

52

**1915**

Equipamento radiológico instalado em Hoogstade (Bélgica)

53

**1915**

Visita a um hospital de campanha britânico (Veurne, Bélgica)

54

**1915**

Diálogo com o rei Albert I (Hoogstade, Bélgica)

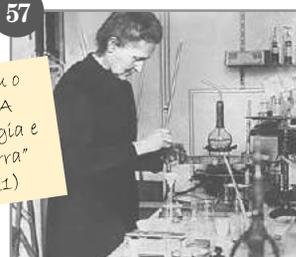
55

**1916**

56

**1917, out.**

57

**1919**

Pós-guerra: Instalação do laboratório no Instituto do Rádío [Foto de abr. 1921]

Publicou o livro "A Radiologia e a Guerra" (1921)



58



→ Parceria
com dr.
Claudius
Regaud

1920

Criação da Fundação Curie
para realizar estudos
biológicos da radioatividade

59



1921

Instituto do Rádío

60



1921, mai.-jun.

À convite, com as filhas nos
Estados Unidos

61



1921

Primeira visita a um
fabricante de rádío
(Pittsburgh, EUA)

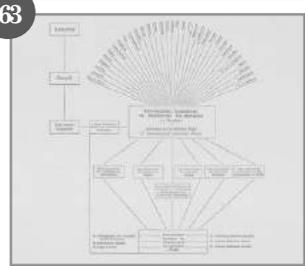
62



1921, 20 mai.

Recebe 1 g de Ra oferecido
pelo presidente W. Harding
após fundos levantados

63



1922

Participa da Comissão
Internacional de Cooperação
Intelectual

64



1923

Fundos do laboratório

65



1926, 17 ago.

Marie e Irène com Borges da
Costa, fundador do Instituto
do Rádío de Belo Horizonte

66



1926

Visita de Marie e Irène ao
Museu Nacional do Rio de
Janeiro

Marie doou
agulhas de
Ra para
curieterapia

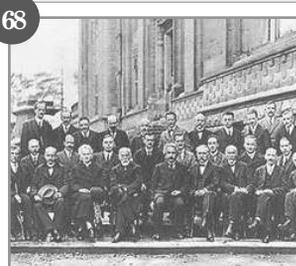
67



1926, 27 ago.

Com membros da Federação
Brasileira para o Progresso
Feminino

68



1927, out.

5ª Conferência Solvay

69



1932, 29 mai.

Plantando árvores na
inauguração do Instituto de
Rádío em Varsóvia

70

**1932, jul.**

Com filha mais velha, netos, genro e a mãe dele em Soisy-sur-Seine, França

71

**1934, 4 jul.**

Falece provavelmente por anemia aplástica, pela exposição à radiação

72

**1970**

Fusão da Fundação Curie e Instituto do Rádio, tornando-se Instituto Curie

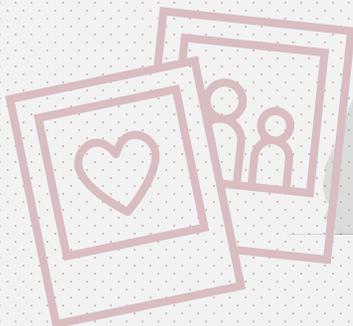
Objetivos:
pesquisa,
ensino e
assistência

73

**1995, 20 abr.**

Transferência das cinzas do casal Curie ao Panthéon, em homenagem

SKłodowska Curie





2. SUGESTÕES PARA APROFUNDAMENTO

A seguir são apresentados materiais de sugestão aos que gostariam de aprofundar seus conhecimentos sobre a história de Marie Skłodowska Curie, dentre eles: publicações originais de Marie Curie e de outros cientistas; biografias; filmes; documentários e exposições. As referências encontram-se no final do Produto Educacional.

PUBLICAÇÕES DE MARIE CURIE



1898

- Propriétés magnétiques des aciers trempés (M. Curie)
- Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium (M. Curie)
- Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende (P. Curie e M. Curie)
- Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende (P. Curie, M. Curie e G. Bémont)

1899

- Les rayons de Becquerel et le polonium (M. Curie)
- Sur le poids atomique du métal dans le chlorure de baryum radifère (M. Curie)
- Effects chimiques produits par les rayons de Becquerel (P. Curie e M. Curie)
- Sur la radioactivité provoquée par les rayons de Becquerel (P. Curie e M. Curie)

1900

- Les nouvelles substances radioactives (M. Curie)
- Sur la pénétration des rayons de Becquerel non déviables par le champ magnetique (M. Curie)
- Sur la charge électrique des rayons déviables du radium (P. Curie e M. Curie)
- Les nouvelles substances radioactives et les rayons qu'elles émetten (P. Curie e M. Curie)

1902

- Sur le poids atomique du Radium (M. Curie)
- Sur les corps radioactifs (P. Curie e M. Curie)

1903

- Recherches sur les substances radioactives (M. Curie)

1904

- Badanie ciał radioaktywnych (M. Curie)

1907

- Sur le poids atomique du Radium (M. Curie)

1910

- Sur le polonium (M. Curie e A. Debierne)
- Sur le radium métallique (M. Curie e A. Debierne)
- Traité de Radioactivité (M. Curie)

1911

- Radium and the New Concepts in Chemistry (M. Curie)

1912

- Les mesures en radioactivité et l'étalon du radium (M. Curie)

1920

- Sur la distribution des intervalles d'émission des particules α du polonium (M. Curie)

1921

- La Radiologie et la Guerre (M. Curie)

1923

- Pierre Curie (M. Curie)

1926

- Stan obecny chemji polonu (M. Curie)

1930

- Sur l'actinium (M. Curie)

ALGUMAS PUBLICAÇÕES DA ÉPOCA -----



1896

- Sur les radiations émises par phosphorescence (H. Becquerel)
- Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents (H. Becquerel)
- Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents (H. Becquerel)
- Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium (H. Becquerel)
- Sur les propriétés différentes des radiations invisibles émises par les sels d'uranium, et du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes (H. Becquerel)
- Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique (H. Becquerel)

1898

- Über die von den Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung (G. Schmidt)
- Sur le spectre d'une substance radio-active (E. Demarçay).

1899

- Note sur quelques propriétés du rayonnement de l'uranium et des corps radio-actifs (H. Becquerel)
- Sur une nouvelle matière radio-active (A. Debierne)

1901

- Action physiologique des rayons du radium (P. Curie e H. Becquerel)
- Sur la radio-activité induite provoquée par les sels de radium (P. Curie e A. Debierne)

1902

- The radioactivity of thorium compounds (E. Rutherford e F. Soddy)
- The cause and nature of radioactivity (E. Rutherford e F. Soddy)

1903

- A comparative study of the radioactivity of radium and thorium (E. Rutherford e F. Soddy)
- Sur la chaleur dégagée spontanément par les sels de radium (P. Curie e A. Laborde)

1904

- Action physiologique de l'emanation du radium (C. Bouchard, P. Curie e V. Balthazard)

1905

- Radio-activity (E. Rutherford)
- Radioactive substances, especially Radium (P. Curie)

BIOGRAFIAS



LIVROS ³

1907

- Aulas de Marie Curie (I. Chavannes)

1937

- Madame Curie (È. Curie)

1939

- The Radium Woman (E. Doorly)

1942

- História Maravilhosa de Madame Curie (G. Marques)

1957

- Madame Curie (E. Bigland)

1959

- Monsieur et Madame Cure (Y. Igot)

1961

- The Story of Madame Curie (A. Thorne)

1974

- Marie Curie (R. Reid)
- Madame Curie (F. Garozzo)

1981

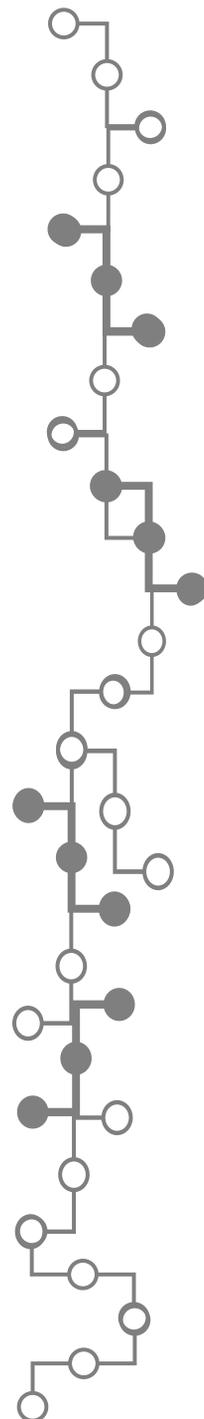
- Marie Curie (F. Giroud)

1988

- Marie Curie (B. Birch)

1995

- Marie Curie: Uma vida (S. Quinn)



³ Essa foi uma seleção de biografias realizada com base em materiais disponíveis para venda em território brasileiro, sejam eles novos (livrarias) ou usados (sebos).

1996

- Marie Curie e a Radioatividade (S. Parker)

1998

- Marie & Pierre Curie (J. Senior)
- Curie e a Radioatividade em 90 minutos (P. Strathern)

1999

- A noite dos vagalumes feéricos: A vida de Marie Curie (M. Lobato)

2005

- Gênio obsessivo: O mundo interior de Marie Curie (B. Goldsmith)

2008

- Marie Skłodowska-Curie et la Radioactivité (J. Hurwic)

2012

- Sobre o “Caso Marie Curie”: A Radioatividade e a Subversão do Gênero (G. Pugliese)
- Marie Skłodowska Curie: Imagens de outra face (R. Maia)

2015

- Marie Curie: Coragem, determinação, persistência (B. Santo)

2016

- Madame Curie: Um filme inspirado na vida de Marie Curie (C. Carlos)



ARTIGOS

2006

- Marie Curie, una gran científica, una gran mujer (D. Garcia e C. Garcia)

2009

- Marie Curie, una mujer pionera en su tiempo (M. Binda)

2011

- Marie Curie (E. Montoya)
- Um pouco da vida e da obra da Madame Curie e os 85 anos da sua visita a Belo Horizonte (C. Simal e V. Parisotto)

2013

- Marie Skłodowska–Curie y la radioactividad (A. Páez)

2014

- Marie Curie (F. Carvalho)
- O Nobel e alguns “contos de fada” (G. Pugliese)



FILMES & DOCUMENTÁRIOS



1943

- Madame Curie (M. LeRoy)

2011

- Marie Curie, além do mito (M. Vuillermet)
- Seguindo os passos de Marie Curie (K. Rogulski)

2013

- O gênio de Marie Curie: A Mulher que Iluminou o Mundo (G. Bradshaw)

2014

- Marie Curie: Uma mulher na frente de batalha (A. Brunard)

2016

- Marie Curie (M. Noëlle)

2019

- Radioativo (M. Satrapi)



EXPOSIÇÕES



Museu Marie Skłodowska Curie

- Rua Freta, Varsóvia, Polónia.
- Site <mmsc.waw.pl>.

Museu Curie

- Rua Pierre et Marie Curie, Paris, França.
- Site <musee.curie.fr>.

Monumento Marie Skłodowska Curie

- Praça Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin, Polónia.

Monumento Maria Skłodowska Curie

- Rua Kościelna, Varsóvia, Polónia.

Busto Maria Skłodowska Curie

- Parque Henryka Jordana, Cracóvia, Polónia.





3. EPISÓDIOS DE ENSINO

Nesta capítulo são apresentados os Episódios de Ensino, envolvendo o estudo científico-tecnológico com base na história de Marie Curie. Na seção [3.1](#) “História e Natureza da Ciência a partir da história de vida de Marie Curie” se discute as características que permearam o desenvolvimento científico. Em [3.2](#) “Os Prêmios Nobel de Marie Curie”, são propostas atividades a partir da conferência dada por Curie ao ser laureada com o segundo Prêmio Nobel, mas também são realizadas menções ao seu primeiro Nobel. Por fim, na seção [3.3](#) “Aspectos biológicos das radiações ionizantes” aborda-se a interação da radiação proveniente de elementos radioativos com o corpo humano. Após a contextualização de cada um dos Episódios de Ensino são trazidos os materiais necessários à sua aplicação. O **Quadro 1** descreve as características dos Episódios de Ensino.

Quadro 1 – Descrição dos três Episódios de Ensino

Episódios de Ensino		Temática central	Principais conteúdos	Número de aulas
<u>I</u>	História e Natureza da Ciência a partir da história de vida de Marie Curie	Percurso pessoal e científico de Marie Curie	Radioatividade Átomo	6 aulas de 50 minutos
<u>II</u>	Os Prêmios Nobel de Marie Curie	Prêmios Nobel de Marie Curie e as mudanças ocorridas na História e Ciência	Radioatividade Desintegração atômica Tempo de meia-vida Métodos analíticos	6 ⁴ aulas de 50 minutos
<u>III</u>	Aspectos biológicos das radiações ionizantes	O elemento rádio descoberto e a interação das radiações ionizantes com o corpo humano	Radioatividade Fissão nuclear Isótopos radioativos Radiações alfa, beta e gama Tempo de meia-vida Células e DNA	6 aulas de 50 minutos

⁴ Existe uma reunião com grupos de estudantes durante a proposta. Se ela for realizada durante o horário da disciplina, considera-se mais um encontro de uma ou duas aulas, a depender do número de grupos.



3.1 EPISÓDIO DE ENSINO I

História e Natureza da Ciência a partir da história de vida de Marie Curie

O Episódio de Ensino I inicia o Primeiro Momento Pedagógico – Problematização Inicial com questionamentos sobre Marie Curie e problematizações quanto às características científico-tecnológicas que podem ser percebidas a partir de sua história (Etapa 1), como ilustra o **Quadro 2**.

O Segundo Momento Pedagógico – Organização do Conhecimento envolve inicialmente a reprodução de um documentário a fim de contextualizar sua história de vida (Etapa 2), sendo posteriormente elaborado individualmente um texto manuscrito pelos licenciandos sobre as principais percepções quanto ao vídeo (Etapa 3). Depois são realizadas discussões em turma com base em perguntas sobre o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia (Etapa 4) e realizada uma breve atividade sobre características desse âmbito, em que duplas recebem uma característica, discutem entre si e depois apresentam de modo exemplificado à turma (Etapa 5). Como sugestão aos alunos, recomenda-se a leitura extraclasse de um texto sobre a contribuição de Marie Curie à Ciência, o qual poderá subsidiar a atividade posterior em grupos e turma envolvendo pontos de discussão previamente selecionados sobre o documentário, quanto aos aspectos históricos, sociais, políticos, pessoais e conceituais inerentes ao desenvolvimento científico-tecnológico (Etapa 6).

Por fim, no Terceiro Momento Pedagógico – Aplicação do Conhecimento ocorre a leitura e discussão em turma de um texto sucinto sobre cientistas que foram ignorados nas premiações Nobel, em que se analisa os contextos apresentados (Etapa 7). A proposta se encerra com um trabalho em duplas ou trios envolvendo uma análise crítica a respeito de um caso científico de interesse da equipe, ainda não discutido em turma. Caso as atividades ao longo da proposta se estendam, pode-se solicitar esse trabalho final como uma análise textual contendo uma apresentação gráfica e esquemática das ideias, para entregar (sugestão discutida posteriormente nos materiais). Caso haja tempo, esse trabalho final pode ser desenvolvido em sala com cartazes feitos a partir de pesquisas trazidas pelos licenciandos, com posterior exposição e discussão em turma (Etapa 8).

Quadro 2 – Episódio de Ensino I: História e Natureza da Ciência a partir da vida de Marie Curie

Momento Pedagógico	Etapa	Recurso empregado	Material para avaliação
1º Problematização inicial	1) Questionamento inicial e discussão	“Vocês conhecem Marie Curie?”, “O que sabem sobre sua história?”, “Com o percurso de vida dela, o que podemos dizer sobre como a Ciência e a Tecnologia são constituídas?”	Respostas orais e comentários dos licenciandos aos questionamentos
2º Organização do conhecimento	2) Documentário	“Marie Curie, além do mito” com cópia do vídeo transcrito aos alunos	-
	3) Elaboração textual individual	Reflexão e elaboração textual sobre as principais percepções do documentário	Produção textual dos licenciandos
	4) Reflexão e discussão	“O que para vocês é a Ciência?”, “O que ela faz?”, “Como ela funciona?”, “Como ela se apresenta?” e “O que pode influenciar o desenvolvimento científico?”	Respostas orais e comentários dos licenciandos aos questionamentos
	5) Atividade em duplas/turma sobre Natureza da Ciência	Conhecimento de algumas características científicas e apresentação exemplificada à turma	Apresentação oral da dupla à turma sobre um aspecto da Natureza da Ciência
	Tarefa	Leitura do texto “A contribuição de Marie Curie”	Destaque dos principais trechos pelos licenciandos
	6) Discussão em grupos/turma	<i>Slides</i> de apoio contendo trechos do documentário e Pontos de Discussão guiados para debate inicial em grupos e posterior discussão em turma e mediação da professora	Textos-respostas elaborados sobre o consenso a que chegaram depois de debaterem cada Ponto; apresentação dos grupos à turma sobre o que discutiram
3º Aplicação do conhecimento	7) Leitura individual e discussão de artigo em turma	Artigo “O coro dos excluídos” e perguntas: “O que pode ser observado nas histórias?”, “Quais as semelhanças entre elas?” e “O que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico-tecnológico?”	Resposta oral e comentários dos licenciandos aos questionamentos
	8) Trabalho final em equipes sobre um caso científico	Elaboração textual e artística de um caso científico-tecnológico com reflexões sobre o assunto	Produção textual e artística das equipes

Fonte: A autora (2020)



MATERIAIS

EPISÓDIO DE ENSINO I



HISTÓRIA E NATUREZA DA CIÊNCIA A PARTIR DA HISTÓRIA DE VIDA DE MARIE CURIE

Observação: Ícones clicáveis

Material 1

► Documentário “Marie Curie, além do mito” e sua transcrição



Material 2

► Atividade sobre aspectos da Natureza da Ciência



Material 3

► Texto de apoio “A contribuição de Marie Curie”



Material 4

► Atividade “História e Natureza da Ciência a partir da vida de Marie Curie” – Pontos de Discussão e *slides*



Material 5

► Texto “O coro dos excluídos”



Material 6

► Orientações para elaboração do trabalho final sobre um caso científico



Material 1

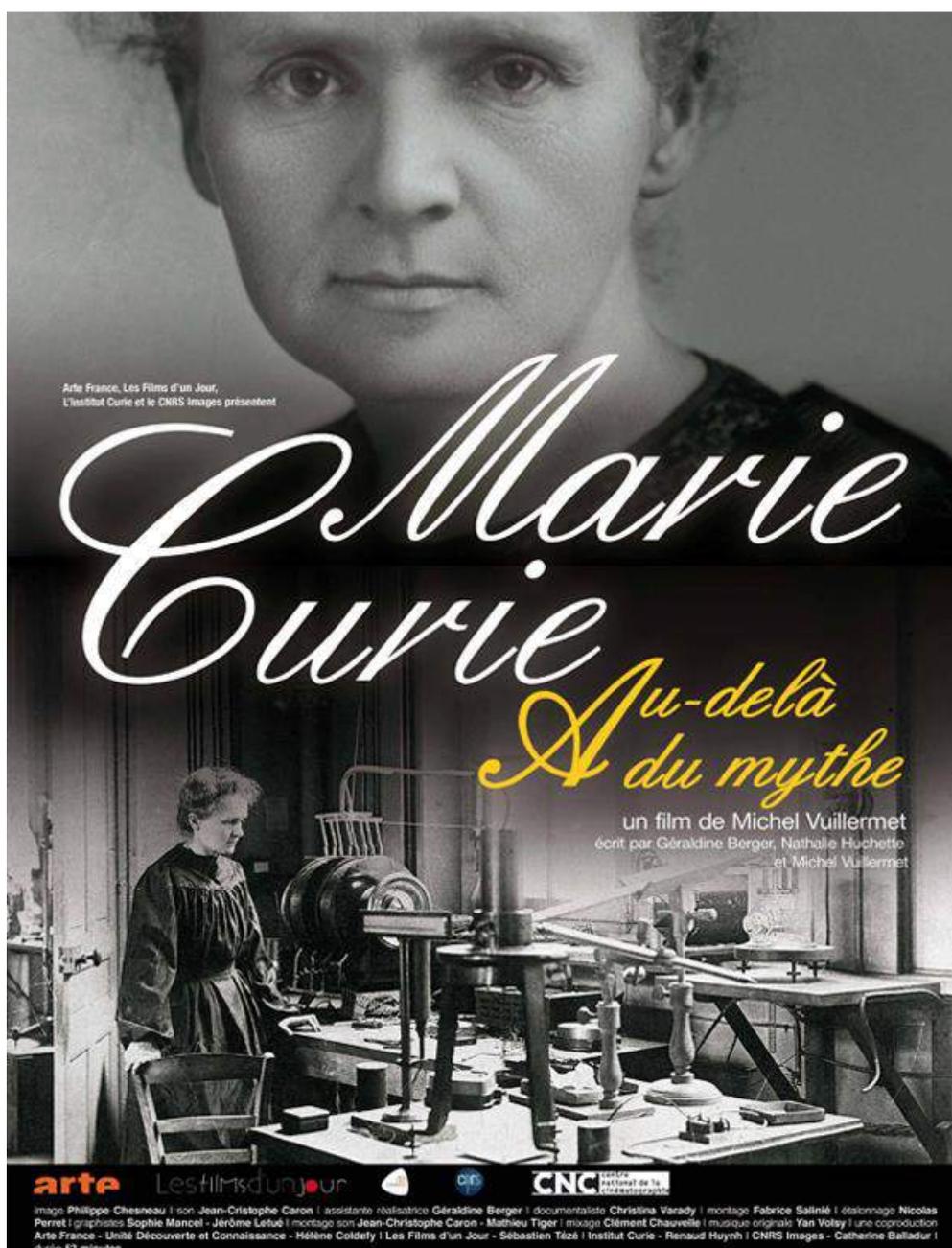
- Documentário “Marie Curie, além do mito” e sua transcrição



i

MARIE CURIE, ALÉM DO MITO

MARIE Curie, além do mito (Marie Curie, au-delà du mythe). Direção: Michel Vuillermet. Produtores: Géraldine Berger, Nathalie Huchette e Michel Vuillermet. Produtoras: ARTE France, Les Films d'un Jour, Institut Curie e CNRS Images. França, 2011. Documentário, (52 min). Disponível em: <youtube.com/watch?v=dhQsU0QDYew> (Áudio: Francês, Legenda: Português) e <vimeo.com/ondemand/mariecurie> (Áudio: Francês). Acesso em: 05 mar. 2020.



MARIE CURIE, ALÉM DO MITO (2011)

OBSERVAÇÕES

Os trechos estão divididos e apresentados de acordo com os minutos em que aparecem no documentário. As citações mencionadas no vídeo aparecem destacadas, seguidas de indicação do autor entre parênteses e fonte onde se encontram (quando identificadas) como nota de rodapé, além dos trechos completos em citações fragmentadas. Pequenas variações de tradução podem ocorrer dependendo da fonte consultada.

[00:00]

No começo do século 20, uma mulher ganha dois Prêmios Nobel. 20 Anos antes, Maria Skłodowska, uma jovem polonesa com uma vontade de ferro, conquistou Paris, desafiou a mentalidade da época e realizou um sonho: se consagrar à ciência. **“Creio que as aptidões necessárias a uma verdadeira vocação científica são coisas preciosas e delicadas. Um tesouro raro que seria absurdo de se desperdiçar e que deve ser zelado com solicitude, para que ele tenha todas as chances de florescer”** (Marie Curie⁵). Marie Curie, pioneira talentosa se tornara a primeira cientista reconhecida dos tempos modernos. Mas sua vida nunca deixou de ser romanceada. Com o passar dos tempos, criou-se um mito, apagando pouco a pouco a singularidade de um destino excepcional.

[01:11]

O mito de Marie Curie, a senhora frágil de vestido preto, que trabalhava dia e noite é cheio de inverdades. Ela era apaixonada pelo que fazia e acho que isso a motivava em primeiro lugar. Associamos Marie Curie à radioatividade, ao reator nuclear, à bomba atômica, mas é uma história mais complicada e sutil. Mais de 100 anos se passaram desde que Marie Curie forjou uma palavra até então desconhecida: radioatividade. Ao abrir as portas do mundo invisível, a radioatividade perturbou nossa percepção da matéria e do universo.

[02:15]

Houve um episódio que ilustra muito bem o temperamento de Marie Curie. Em 1911, em Estocolmo, a Academia Científica está prestes a lhe conceder o seu 2º Prêmio Nobel pela descoberta do rádio, mas Marie Curie tem sido caluniada há meses na França pela imprensa conservadora e também pela imprensa europeia. À Academia Nobel, que lhe sugere não ir buscar o prêmio por temer o escândalo, ela responde com firmeza: **“Devo agir segundo minhas convicções. Creio não haver nenhuma relação entre meu trabalho científico e o que dizem sobre minha vida particular em publicações de segunda classe. Quando receberem esta carta, já estarei preparada para estar em Estocolmo no momento da cerimônia”** (Marie Curie⁶). Marie Curie forçou o destino e a Suécia a honrá-la com pompa.

[03:20]

7 de novembro de 1867, nascimento de Maria Skłodowska, em uma Polônia escravizada,

⁵ “Qual é o interesse da Sociedade? Não deve ela favorecer o desabrochar de vocações científicas? Será por acaso tão rica que possa dispensar as que lhe oferecem? Por mim, creio que o conjunto de aptidões exigidas por uma verdadeira vocação científica é uma coisa infinitamente preciosa, um tesouro tão raro que seria criminoso e absurdo deixar que se perca, e sobre o qual se torna necessário velar com solicitude para lhe dar todas as probabilidades de eclosão...” – Relatório da Comissão Internacional de Cooperação Internacional, Sociedade das Nações, na década de 1920 (Maia, 2012, p. 76).

⁶ “Sugere-me que eu desista de aceitar o Prêmio Nobel que acaba de me ser concedido, e dá a explicação de que a Academia de Estocolmo, caso fosse avisada com antecedência, provavelmente decidiria não me dar o prêmio, a menos que eu pudesse explicar publicamente os ataques de que fui objeto. Se esse fosse o sentimento geral da Academia, eu ficaria profundamente desapontada. Mas não acredito que caiba a mim conjecturar sobre as intenções e opiniões da Academia. Devo, portanto, agir de acordo com minhas próprias convicções. A ação que me aconselha me parece que seria um grave erro de minha parte. De fato, o prêmio foi concedido pela descoberta do rádio e do polônio. Acredito que não existe ligação alguma entre meu trabalho científico e os fatos da minha vida particular... Não posso aceitar a idéia, em princípio, de que a apreciação do valor de um trabalho científico deva ser influenciada pela difamação e pela calúnia referentes à vida particular. Estou convencida de que esta opinião é partilhada por muitas pessoas. Estou muito triste com o fato de que o senhor mesmo não pense assim.” – Carta dirigida a Svante Arrhenius em 5 de dezembro de 1911 (Quinn, [1995] 1997, pp. 355-356).

desmembrada pelo seus poderosos vizinhos prussianos, austríacos e russos. Maria, a caçula, recebe com suas irmãs e seu irmão uma educação sólida, aberta ao universo das Letras e das Ciências. Tendo terminado com maestria o Ensino Médio, ela se sente atraída por uma nova concepção de mundo que se espalha pela Europa: o positivismo, uma filosofia em que ciência, progresso e humanismo estão ligados. Maria une-se a pequenos grupos clandestinos de estudantes e corre o risco de ser presa. “Essa juventude tenta reconstruir ou preparar o renascimento da Polônia educando-se, colocando a educação no centro de tudo, e na educação, a educação científica deve ter o papel principal” (Hélène Langevin-Joliot, neta de Marie Curie).

[04:26]

Maria quer seguir os estudos superiores, mas a universidade é proibida para as mulheres. Então, ela imagina um pacto audacioso com sua irmã Bronia. ***“Eu decidi deixar Varsóvia para ser professora em uma família do interior. Casa e comida. Eu podia economizar até 400 rublos por ano. Era normal que a mais velha fosse a Paris para estudar. Esperávamos que um dia eu pudesse me juntar a ela”*** (Marie Curie).

[05:00]

Aos 18 anos, Maria vai morar com a família Zorawski, latifundiários em Szczuki, no nordeste da Polônia. A vida da jovem governanta é dolorosamente monótona. À sua prima, Maria faz uma confidência: “Minha querida Henriette, eu caí numa melancolia negra, pois nossos únicos amigos são os terríveis ventos do oeste, junto com a chuva, as inundações e a lama. Imagino se, ao me rever, você pensará se os anos passados junto aos humanos me fizeram bem ou mal. Houve momentos que contarei com certeza como os mais cruéis da minha vida” (Maria Skłodowska⁷).

[05:47]

Após esses 3 anos de torpor no interior, Maria volta para Varsóvia e para sua família. Graças a um primo que fora assistente do grande cientista russo Mendeleiev, ela penetra, pela primeira vez, em um laboratório. ***“Às vezes, um pequeno sucesso inesperado me encorajava. Outras vezes, eu entrava em desespero por causa de acidentes ou fracassos decorrentes da minha inexperiência. Eu aprendia por conta própria que o progresso nessas matérias não é nem rápido, nem fácil”*** (Marie Curie⁸).

[06:26]

No outono de 1891, Maria está pronta para partir. Aos 24 anos, ela reencontra afinal sua irmã Bronia em Paris. Ao deixar uma Polônia onde as liberdades fundamentais são violadas, Maria imerge na vida parisiense. Ela finalmente alcança o objeto dos seus sonhos e esperanças: a França Republicana, radiante de esplendor intelectual. Ela descobre o país de Augusto Comte, o pai do positivismo, Louis Pasteur, Victor Hugo. Ao se matricular na Faculdade de Ciências da Sorbonne, Maria Skłodowska torna-se Marie Skłodowska. É verdade que as universidades se tornaram mistas, mas

⁷ Trecho de carta de Maria Skłodowska à prima Henriette Michalowska em 25 de novembro de 1888 (E. Curie, [1937] 1962, pp. 67-68).

⁸ M. Curie ([1923] 2012, p. 83).

as mulheres são poucas, elas representam 3% quando Marie Skłodowska se matricula como estudante. Então, ela pertence a uma pequena minoria. E, nessa minoria, é notável o número de estrangeiras: a metade das estudantes são estrangeiras, o que é aceito de formas diferentes. ***“Me parece que a vida não é fácil para nenhum de nós. Temos que ser perseverantes. É preciso crer que servimos para algo e, esse objetivo, devemos alcançar a qualquer preço”*** (Marie Skłodowska⁹).

[07:54]

Primeiro Marie vai viver com sua irmã e seu cunhado. Ela percebe que eles são encantadores, que estão dispostos a ajudá-la e a ajudam em tudo, mas isso não lhe permite trabalhar em tempo integral. Então, ela vai morar em uma mansarda e trabalhar como nunca trabalharia depois. O resultado é brilhante, já que é a primeira na Licenciatura de Física e a segunda na Licenciatura de Matemática. É claro que ela não passa despercebida.

[08:30]

Marie é encarregada pela Sociedade para Avanço da Indústria Nacional de conduzir um estudo sobre a propriedade magnética de diversos metais. Um professor lhe pede para contatar um físico que trabalha na mesma área, Pierre Curie, de 35 anos. Eles se encontram por causa das ciências e Pierre Curie, que tinha escrito, na sua juventude ***“As mulheres de talento são raras”*** (Pierre Curie¹⁰) em um diário íntimo... É claro que ele se convenceu que era absolutamente preciso que Marie Skłodowska ficasse na França para trabalhar e praticar ciência.

[09:21]

Muito apegada à sua família, Marie retorna a Varsóvia, onde ela pretende ensinar e participar na emancipação da Polônia. Pierre lhe escreve: ***“Seria uma coisa linda, na qual não ouse acreditar, passar a vida juntos, hipnotizados pelos nossos sonhos: o seu sonho patriota, o nosso sonho humanitário e nosso sonho científico”*** (Pierre Curie¹¹). É um encontro raro, de uma solidez e profundidade excepcionais. ***“A partir daquele momento, uma nova vida começava, bem diferente da minha existência solitária dos anos anteriores. Com o dinheiro ganho, como presente de casamento, nós compramos duas bicicletas e fazíamos passeios fora da cidade. O nascimento da nossa filha Irène mudou muito a nossa vida”*** (Marie Curie¹²).

[10:22]

Em 1895, em um laboratório alemão, um acontecimento capital acontece: o físico Wilhelm Roentgen descobre o raio X. Um ano depois, na França, Henri Becquerel observa que a placa fotográfica em contato com sais de urânio é marcada sem ser exposta à luz do Sol. Becquerel descobre que o urânio é capaz de emitir radiação, cuja

⁹ “A vida não é fácil para nenhum de nós. Mas é preciso perseverar, e sobretudo ter confiança em si mesmo! É preciso crer que somos marcados para qualquer coisa e que essa coisa será alcançada custe o que custar. Talvez tudo melhore quando menos o esperamos.” – Carta dirigida ao irmão Józef Skłodowski em 18 de março de 1894 (E. Curie, [1937] 1962, p. 97).

¹⁰ “...As mulheres, mais que os homens, querem a vida pela vida: mulheres de gênio são raras” (E. Curie, [1937] 1962, p. 101).

¹¹ Quinn ([1995] 1997, p. 125).

¹² Notas autobiográficas (M. Curie, [1923] 2012, pp. 86-87).

natureza é desconhecida, mas radiações capazes de durar sem jamais se gastar. E Marie Curie decide consagrar sua tese de doutorado, a primeira na França por uma mulher em Física, ao estudo desses raios emitidos pelo urânio.

[11:16]

5 anos após chegar a Paris, a estudante emérita encara o desafio e se lança na exploração dessas misteriosas radiações. Ela recebe do diretor da Escola de Física e Química Industriais uma oficina envidraçada, equipada de mesas usadas, um fogão de fundição e um quadro negro. No Museu de História Natural, próximo de seu laboratório ela consegue uma grande quantidade de metais, sais, óxidos e minerais para medir a radiação. Mas a física iniciante não dispõe de um método físico experimentado. É preciso um método quantitativo dessas misteriosas radiações extremamente fracas. O urânio emite radiações extremamente fracas, espontaneamente, o que é extraordinário, mas extremamente fracas.

[12:11]

As descobertas de Pierre e Jacques Curie sobre as fracas cargas elétricas emitidas pelo quartzo e que serão utilizadas mais tarde nos sonares e relógios eletrônicos, serão determinantes no estudo das radiações do urânio. Na mesa do laboratório, o quartzo piezoelétrico, instrumento elaborado por Pierre Curie, será associado a outros instrumentos que já foram testados. No início dessa odisseia a longo prazo, essa aparelhagem, que simboliza perfeitamente a cumplicidade científica de Pierre e de Marie Curie, lhes permitirá efetuar medidas de uma fineza inigualável.

[13:00]

A corrente elétrica é medida em 10^{-14} ampères, 10^{-13} ampères. Ou seja, eles são capazes, com meios que parecem rudimentares, de extrair dados de uma precisão inacreditável. Durante várias semanas, Marie Curie mede as radiações das diferentes amostras que ela selecionou. **“Os compostos de urânio estudados são ativos, mas um mineral em particular, a pechblenda, é muito mais do que outros”** (Marie Curie). A pechblenda, um mineral que contém urânio e que tradicionalmente serve para colorir o cristal, emite radiações muito mais poderosas do que o urânio sozinho. Esse resultado surpreende Marie Curie. Ela verifica os aparelhos: “O que aconteceu?”, e ela se convence de que é assim mesmo. E, Pierre Curie, a essas alturas, está mudando de ideia e diz: **“Por trás disso há um fenômeno tão importante que é preciso juntar nossas forças”** (Pierre Curie). Mas é Marie, sozinha, que publicará o primeiro artigo no relatório da Academia Científica, com esta frase: **“Tudo leva a crer que há um outro elemento, muito mais ativo do que o urânio”** (Marie Curie¹³).

[14:25]

Pierre Curie, cientista de renome, quis que Marie Curie assinasse sozinha esse primeiro estudo, desrespeitando assim as convenções de uma época em que era impensável uma mulher fazer descobertas em ciências. Em seguida foi difícil de esquecer que esse ponto de partida de todas as descobertas leva a assinatura de Marie Skłodowska-Curie. Com Pierre, Marie tenta isolar a substância encontrada

¹³ M. Curie (1898).

na pechblenda, elemento químico desconhecido da tabela periódica. **“Então nós atacamos a pechblenda com ácidos e tratamos o licor obtido com sulfeto de hidrogênio. Finalmente, obtivemos uma substância cuja atividade é 400 vezes maior que a do urânio. Acreditamos que a substância que retiramos da pechblenda contém um metal ainda não descoberto. Se sua existência for confirmada, nós propomos chamá-lo de polônio, o nome do país natal de um de nós”** (Pierre e Marie Curie¹⁴).

[15:30]

Em pouco tempo, Marie e Pierre Curie recebem o reforço de Gustave Bémont, um químico experiente. Todos os três detectam que suas amostras contêm algo ainda mais ativo do que o polônio. Esse novo elemento químico, com uma radiação 900 vezes mais poderosa que a do urânio é batizada por eles de rádio. A fim de convencer os céticos, Marie e Pierre têm que obter uma quantidade significativa de rádio puro para estudar suas características químicas. Para extrair vários miligramas de rádio é preciso ter uma tonelada de pechblenda. Mas a principal mina da Europa fica em Joachimsthal, na Boêmia. Graças ao apoio de um industrial parisiense, convencido do alcance revolucionário dessa descoberta, Marie e Pierre Curie iniciam a última etapa da pesquisa deles.

[16:39]

“Nós ficamos muito felizes de constatar que nossos produtos impregnados de urânio eram espontaneamente luminosos” (Marie Curie¹⁵). Três anos de trabalho se passam. Finalmente, em julho de 1902, Marie Curie obtém um decigrama de cloreto de rádio que lhe permite colocar de modo incontestável o elemento rádio na tabela periódica, uma referência universal, onde estão os elementos químicos conhecidos. **“No nosso galpão, onde reinava uma grande tranquilidade, alguns de nossos colaboradores vinham de vez em quando. Havia conversações diante do quadro negro, as quais estimulavam nosso interesse científico. Era necessário achar um novo termo para definir a propriedade manifestada pelos elementos urânio, polônio e rádio. Eu propus o nome ‘radioatividade’”** (Marie Curie¹⁶).

[17:40]

Não se pode dar uma explicação a uma radiação de tamanha importância, que libera uma tal energia com a física clássica. É impossível. **“A espontaneidade da radiação é um enigma, um tópico de profunda admiração. A matéria radioativa se transforma, mas não é uma transformação química ordinária. Se há algo que se modifica, é certamente o átomo”** (Marie Curie¹⁷). Marie Curie percebe que um novo campo se abre para nós e ela compreendeu que a radioatividade era um sinal que nos colocava em contato com “o mundo invisível”, com a matéria como ela é estruturada a menor escala possível.

¹⁴ P. Curie e M. Curie (1898).

¹⁵ Quinn ([1995] 1997, p. 170) e M. Curie ([1923] 2012, p. 92, p. 49).

¹⁶ M. Curie ([1923] 2012, p. 46, p. 50).

¹⁷ M. Curie (1900, p. 70).

[18:27]

Para os físicos e químicos da época, a matéria ainda possui muitos mistérios. A estrutura do átomo ainda tem que ser descoberta. O átomo é apenas um conceito que designa a menor parte indivisível da matéria. Desde a Antiguidade, o átomo é uma busca do Santo Graal. No início do século 20 há um debate sobre a existência do átomo. Ele existe? O átomo é uma ideia antiga, que os filósofos gregos evocaram mais de 500 anos a.C., mas que nunca foi visto. O átomo, no final do século 19 era algo que representava a estabilidade, a conservação da matéria, nas reações químicas e outras. A descoberta da radioatividade sugere que os átomos podem emitir energia. É o fim do que um professor da época chamava de “Era Vitoriana do Átomo”. O século 20 começa com a ideia de que o átomo é, ao contrário, um pequeno mundo que devemos explorar.

[19:50]

Um novo século começou, mas a era do entusiasmo do público pela radioatividade ainda não se manifestou. Na Exposição Universal de Paris, em 1900, a atração principal é o Pavilhão da Fada Eletricidade. Celebram-se a luz, o sonho, as técnicas de comunicação. Um novo imaginário coletivo se desenvolve. Nesse começo de século, Marie Curie começa a ensinar na Escola Normal Superior das jovens de Sèvres. Ela termina sua tese de doutorado **“Pesquisa Sobre as Substâncias Radioativas”**¹⁸, que lhe garante uma diplomação com louvor. Em 1903, por suas pesquisas sobre os fenômenos radioativos, Marie Curie, Pierre Curie e Henri Becquerel recebem o Prêmio Nobel de Física. O casal, pouco à vontade na vida mundana sai do anonimato. A famosa dançarina Loie Fuller lhes oferece um show particular e lhes pede, ingenuamente, um traje fosforescente de rádio.

[21:06]

Marie escreve a seu irmão Józef: **“Estamos inundados de cartas, de visitas de fotógrafos, de jornalistas, queríamos nos esconder para ter paz”** (Marie Curie¹⁹). Após adiar a viagem por mais de um ano, por razões de saúde, Pierre e Marie vão finalmente a Estocolmo para receber o seu Prêmio Nobel. Pierre Curie conclui seu discurso oficial assim: **“Ainda podemos conceber que, em mãos criminosas, o rádio possa vir a ser muito perigoso. O exemplo das descobertas de Nobel é característico: os poderosos explosivos permitiram aos homens realizar obras admiráveis. Mas eles também são um modo de destruição terrível nas mãos de grandes criminosos que levam os povos à guerra. Eu penso que, como Nobel, que a humanidade conhecerá mais bem do que o mal com as novas descobertas”** (Pierre Curie²⁰).

[22:11]

Em Viena, em Boston, em Glasgow, em Berlim, as pesquisas sobre radioatividade crescem. Físicos como o neozelandês Ernest Rutherford elucidam, pouco a pouco, esse fenômeno enigmático. O grupo de Rutherford será o grupo mais ativo e o que vai explicar, com Soddy, a radioatividade. A emanção da radiação deve-se a um elemento químico, algo impensável, que poderia nos levar a crer em alquimia. Tinha mesmo

¹⁸ M. Curie (1903).

¹⁹ E. Curie ([1937] 1962, p. 179).

²⁰ P. Curie (1905, p. 78).

sido um gracejo de Rutherford ao dizer: **“Dirão que somos alquimistas”** (Ernest Rutherford²¹).

[23:05]

A obra de Marie e Pierre Curie desvendou um novo território entre a Física e a Química. Dizer que são pesquisas de Física ou de Química é difícil de afirmar, sobretudo com os conhecimentos da época. Hoje é fácil dizer: é apenas Física ou Química. Mas, dentro do contexto no qual trabalham, as coisas se misturam, porque não há conhecimentos sobre o átomo para caracterizar os fenômenos do qual é objeto.

[23:37]

Na quinta-feira do dia 19 de abril de 1906, Pierre Curie morre em um acidente de trânsito. Marie, que deu à luz Eva, a segunda filha, fica arrasada. **“Meu Pierre, eu esperei você durante horas mortais. Trouxeram-me objetos encontrados contigo, sua caneta esferográfica, a sua carteira, as chaves, o relógio, esse relógio que não parou de funcionar quando sua cabeça recebeu o terrível choque que a esmagou. Foi tudo o que ganhei em troca do amado amigo com quem esperava passar a minha vida”** (Marie Curie²²). Alguns meses após esse drama, Marie Curie assume as turmas do seu falecido marido na Sorbonne. Em novembro de 1906, ela dá sua aula inaugural – ela é a primeira professora na Sorbonne. Um jornalista ironiza, ele diz a frase: **“Imagem! A partir do momento em que uma mulher é autorizada a dar aulas de ensino superior aos estudantes dos dois sexos, como ficará a superioridade do homem? Eu lhes digo, em breve as mulheres se tornarão seres humanos!”** (Le Journal²³).

[25:08]

Em 1910, com a ajuda do professor André Debierne, Marie Curie consegue isolar um grama de rádio metal puro, um milhão de vezes mais ativo que o urânio. Ela publica o seu **“Tratado de Radioatividade”**²⁴, que se posiciona entre as obras pioneiras dessa nova ciência. 12 anos após a descoberta do rádio, Marie Curie, aos 43 anos, é uma das físicas mais importantes de sua época. Ela é encorajada a se candidatar à Academia Científica. Um jornal ultraconservador se pergunta: **“Uma mulher pode fazer parte desta venerável instituição?”** e exige dos acadêmicos um “voto patriótico” em favor de Édouard Branly, um dos inventores do telegrama sem fio. Édouard Branly ganha por dois votos. Não é só por ser uma mulher que ela transgride os papéis sociais tradicionais, mas também por encarnar (ela e outros do seu grupo) valores que eram considerados “antifranceses”.

[26:30]

“A aventura da Sra. Curie e do Sr. Langevin”: Alguns meses depois, um novo

²¹ Mencionado por Weart (1987, p. 530) em um diálogo entre Rutherford e Soddy. Além disso, na época dessas pesquisas científicas, o jornal New York Times (1911) publica o artigo “A alquimia, por muito tempo ridicularizada, revela-se verdadeira” (em tradução livre).

²² Notas de seu diário pessoal (Quinn, [1995] 1997, p. 258).

²³ “O dia de hoje viu ‘a comemoração de uma vitória do feminismo’. Se é permitido a uma mulher ensinar a alunos do curso superior de ambos os sexos, onde ficará depois disso a pretensa superioridade do homem? A verdade é que está próximo o tempo em que as mulheres se tornarão seres humanos” – Le Journal de 6 de novembro de 1906 (Birch, [1988] 1993, p. 51).

²⁴ M. Curie (1910a; 1910b).

caso aparece. Um jornal de extrema-direita declara: ***“Um romance no laboratório... O coração de uma mulher possui aspirações que a ciência não consegue satisfazer. O grande cientista Paul Langevin abandona sua esposa e seus filhos; a outra renuncia ao seu laboratório e glória”***. O escândalo toma uma forma bizarra. Progressistas e reacionários se desafiam em duelos. A casa de Marie Curie é cercada. Transeuntes querem matá-la. Ela ameaça processar os jornais mais odiosos e se refugia na casa de amigos. Ela permanece uma mulher atípica nesse mundo masculino, uma estrangeira, e ela também é vítima de confrontos políticos muito intensos naquela época. O caso Dreyfus é recente. Junto a Marie Curie há simpatizantes de Dreyfus, livre-pensadores, homens e mulheres bastante progressistas, que têm contra eles um campo conservador clerical com tendências xenófobas.

[27:49]

No apogeu do caso Langevin, Marie Curie é informada de que receberá um segundo Prêmio Nobel. A Academia lhe escreve para sugerir que ela não vá receber o seu prêmio Nobel, pois o escândalo é tamanho que a reputação do Prêmio Nobel poderia ser afetada. Outras pessoas, no lugar de Marie Curie, teriam cedido completamente, mas ela não; ela escreve e diz se recusar a ceder à pressão da rua ou à pressão da imprensa, e receberá seu Prêmio Nobel em Estocolmo em 1911. A laureada chega à Suécia no dia 10 de dezembro. Durante a cerimônia na Academia de Música, ela recebe das mãos do rei Gustavo V o prêmio que coroa sua obra sobre o rádio. No começo da sua conferência, e para acabar com a polêmica, ela declara: ***“Gostaria de lembrar que o trabalho químico que tinha como objetivo caracterizar o rádio como um novo elemento foi feito especialmente por mim, mas ele está intimamente ligado à obra comum iniciada com Pierre Curie”*** (Marie Curie²⁵). Marie Curie e sua filha Irène são homenageadas com um banquete do qual participam 300 mulheres diplomadas do mundo científico, da medicina, do teatro, da literatura. Enquanto ela é festejada no Reino da Suécia, a imprensa francesa recebe a notícia desse segundo Prêmio Nobel atribuído a uma mulher notável com um silêncio ensurdecedor.

[29:38]

No final de 1911, os sentimentos e os nervos de Marie Curie foram postos à prova. Os médicos detectam uma grave doença renal. Ela é submetida a uma cirurgia, seguida de uma longa convalescença. No entanto, ela acompanha o trabalho dos físicos ingleses. A resolução do enigma “de onde vem a radiação” é feita por Ernest Rutherford que, há mais de 10 anos, reúne provas irrefutáveis. Nós compreendemos que o átomo não é uma entidade plena, não é uma pequena esfera de matéria, mas é, ao contrário, um elemento composto, que é basicamente constituído de vazio. No átomo, há o núcleo, o núcleo do átomo, cujo tamanho é muito pequeno, é um milionésimo de bilionésimo de metro (10^{-15} m). Longe do núcleo, há elétrons que giram. E, na verdade, a radioatividade é um fenômeno que ocorre unicamente no núcleo. É um fenômeno físico e não químico. Os fenômenos químicos possuem elétrons que giram em torno do núcleo do átomo. A radioatividade ocorre aqui, onde há novas

²⁵ M. Curie (1911, online).

forças que atuam, as forças que chamamos de forças nucleares. A radioatividade é isso.

[31:12]

Essas forças, que impelem o núcleo, criando forças nucleares, permitem a Marie realizar seu sonho: construir um Instituto do Rádio, uma grande instituição de utilidade pública, quando, em 1914... ***“Paris, domingo, 2 de agosto. Minhas queridas filhas, a mobilização começou hoje. Não nos comunicaremos facilmente, mas, após alguns dias, talvez possa revê-las. Sejam corajosas e tenham calma. Paris está calma, apesar da dor das partidas. Um beijo carinhoso”*** (Marie Curie²⁶). Irène, que acaba de fazer 17 anos e está de férias na Bretanha com a irmã, quer ser útil e voltar para a capital sem demora. Sua mãe lhe responde: ***“Se você não pode trabalhar pelo presente da França, trabalhe pelo futuro dela. Muitas pessoas terão morrido após essa guerra, será preciso substituí-las. Estude Física e Matemática tanto quanto possível”*** (Marie Curie²⁷).

[32:20]

Marie Curie se empenha então na organização de serviços radiológicos, que ainda são precários nos hospitais militares. Os ferimentos causados pelos projéteis de fragmentação, os *shrapnels*, necessitam de uma localização precisa. ***“Eu criei, com o auxílio da Cruz Vermelha, a primeira ambulância radiológica. Era um simples carro de passeio adaptado ao transporte de um aparelho Röntgen completo, com um dínamo que era ativado pelo motor do carro e que fornecia a eletricidade indispensável para a produção dos raios X. Em seguida, eu montei 20 ambulâncias radiológicas para o exército. Eu estive em Amiens, Calais, Dunquerque, Nancy, Lunéville, Belfort, Compiègne e Villers-Cotterêts. Os cirurgiões que conheci reconheciam a utilidade do exame radiológico, que eles raramente conheciam”*** (Marie Curie²⁸).

[33:25]

Irène, entusiasmada com a necessidade de servir, finalmente se juntou à sua mãe. Com apenas 18 anos, ela era responsável pelo serviço radiológico de um hospital anglo-belga a alguns quilômetros da linha de frente. Ela se alista na União Sagrada. É uma espécie de trégua, as divergências são esquecidas e os franceses de origem estrangeira, dispostos a dar seu sangue e energia pela vitória, são aceitos de bom grado. Assim, a inventividade de Marie Curie, sua iniciativa com os carros radiológicos, é divulgada e valorizada. Os tempos mudam, não é mais como em 1911. Apesar da notável assistência desses serviços médicos, que fizeram mais de um milhão de exames pré-operatórios e salvaram milhões de vidas, esses 4 anos de hecatombe marcarão Marie Curie. ***“Para odiar a guerra, bastaria ver só uma vez o que vi durante anos. Homens e garotos que chegavam imundos de lama e sangue. Muitos morreram rapidamente, enquanto outros sofreram durante***

²⁶ E. Curie ([1937] 1962, p. 247).

²⁷ E. Curie ([1937] 1962, p. 251).

²⁸ M. Curie ([1923] 2012, pp. 103-104).

meses” (Marie Curie²⁹).

[34:52]

Ao final do conflito mundial, a França está arruinada. Em Paris, uma imensa tarefa vai mobilizar toda a energia de Marie Curie: relançar o Instituto do Rádio, inaugurado antes da guerra, e equipar os laboratórios destinados a criar novos ramos de pesquisas sobre radioatividade e suas aplicações. O Instituto do Rádio foi uma luta. Não podemos esquecer que a França está arruinada. No início, o Instituto do Rádio tem poucos recursos. Os primeiros anos foram, para Marie, uma fonte de preocupações, porque mal haviam recursos para as experiências e para aquecer o lugar.

[35:45]

A empreitada está em perigo. Sua filha Irène, que começou uma tese de Física, é sua principal colaboradora. Fingindo não ver um aviso na porta (“Madame Pierre Curie se desculpa por não desejar dar autógrafos e nem assinar fotos”) uma jornalista americana, Srta. Meloney entra. Elas gostaram uma da outra, é o que podemos dizer. Essas duas mulheres, muito diferentes, conseguiram se entender.

[36:19]

Em maio de 1921, Marie Curie, acompanhada por suas filhas e pela Srta. Meloney, desembarca no Novo Mundo. Marie Curie teve apoio das feministas e sobretudo das feministas americanas. As americanas acabam de obter o direito ao voto. O feminismo é muito ativo nos Estados Unidos, mais do que na França. Então ela acompanha essas lutas sem ser militante, mais pelo exemplo da sua vida e do seu sucesso intelectual. Ela ajuda muito a causa das mulheres. “A mulher mais famosa do mundo”, como decidiu a Srta. Meloney, é convidada à Casa Branca e recebe do presidente Harding o precioso grama de rádio financiado pelas coletas das mulheres americanas. Em Pittsburgh, na Pensilvânia, onde faz importantes contatos com engenheiros, ela percebe com orgulho que os procedimentos que aperfeiçoou para isolar o rádio são levados a um estágio industrial. Em Chicago, no Michigan, a população polonesa a recebe calorosamente. Essa maratona de 6 semanas, repleta de conferências e visitas protocolares foi exaustiva. A saúde de Marie Curie se deteriora ainda mais.

[37:51]

O projeto dela era explorar o rádio e a radioatividade. Ela se empenhou nesse projeto e, para isso, utilizou o fato de ser uma mulher, utilizou a mídia, mesmo sendo contra ela, e também conquistou, durante a viagem, a mídia americana para a realização desse projeto. Creio que ela tinha uma personalidade e uma determinação fortes e nada a detinha.

[38:25]

No começo dos anos 20, a economia melhora. As doações, em espécie e em material, aumentam. O Instituto do Rádio se desenvolve rapidamente. No seu interior, há dois pavilhões. Um é destinado aos estudos físico-químicos da radiação e outro aos estudos

²⁹ M. Curie ([1923] 2012, p. 106).

biológicos. As virtudes terapêuticas do rádio para destruir os tumores malignos são conhecidos há anos, mas resta muito a fazer para dominar o seu uso. O doutor Claudius Regaud e Marie Curie criam um dispensário para cuidar dos doentes de câncer. Em pouco tempo, o departamento de radioterapia registra as primeiras curas. **“Saberão o quanto foi importante para mim que nossa descoberta tenha beneficiado a humanidade, não apenas pelo seu grande valor científico, mas também pelo seu poder de ação eficaz contra o sofrimento humano e contra essa terrível doença”** (Marie Curie³⁰).

[39:37]

Filosoficamente, Marie Curie faz parte dessa corrente que associa a ideia de progresso à ciência. A ideia de que há uma ligação automática entre todas as formas de progresso, entre o progresso científico, o progresso técnico, tecnológico, o progresso moral e de que a ciência levará a humanidade a se livrar de velhos conceitos. Portanto, ela tem uma relação com a ciência que é extremamente entusiasta e otimista.

[40:09]

Em meados dos anos 20, nos Estados Unidos, no Canadá e sobretudo no Congo Belga, a extração do rádio aumenta. Ao sair das usinas e dos laboratórios, o rádio é o objeto de todas as fantasias. Atribuem-se a essa substância mágica todas as virtudes. Os cremes de rejuvenescimento vêm em primeiro lugar. Os charlatões usam e abusam. Há cremes de barbear e cigarros... com rádio. Os autores de romances populares dão asas à imaginação. “O rádio, palavra radiante e radiosa, estava em todas as bocas!”, se exalta Camille Flammarion, o famoso divulgador científico. O rádio se tornou algo meio fascinante, é porque há um mistério no rádio. Essa liberação de energia que sai, não se sabe de onde, ao passo que se sabia que a energia se conserva e que custa muito caro transformá-la. Mas agora parecia que a energia existia naturalmente.

[41:20]

A estação termal de Plombières-les-Bains, no Vosges, preconiza a sua “água muito radioativa” e vende “emanadores” para “radioativar” a água das bebidas e dos banhos. Fluxo, em 24 horas, de 8000 milimicrocuries! Antes da proibição do rádio, em 1937, e rigorosamente reservado ao uso médico, ele terá tempo de causar muitas mortes nos profissionais mais expostos. As “garotas do rádio”, que fabricam em série o principal produto dos anos 20, o despertador fosforescente, pagarão caro. Desde 1920, Marie Curie descrevia à sua irmã Bronia sintomas alarmantes: **“Meus principais problemas são meus olhos e minhas orelhas. Meus olhos estão muito enfraquecidos. Quanto às orelhas, um zumbido quase contínuo, muitas vezes intenso, me persegue. Eu me preocupo muito, meu trabalho pode ser prejudicado. Talvez o rádio seja culpado desses problemas, mas não se pode afirmar com certeza”** (Marie Curie³¹).

[42:39]

10 anos depois do começo difícil do pós-guerra, Marie Curie fez do Instituto do Rádio

³⁰ M. Curie ([1923] 2012, p. 98).

³¹ Trecho de carta de Marie Curie em 10 de novembro de 1920 (E. Curie, [1937] 1962, p. 316).

uma escola internacional de radioatividade. Pesquisadores e pesquisadoras vêm do mundo inteiro. Alguns ficam meses, aprendendo as técnicas modernas da radioquímica ou de medidas de atividade. Outros ficam vários anos preparando sua tese. Muitas mulheres trabalham no Instituto do Rádio e, em seguida, em seus próprios países, criam institutos de radioatividade. Portanto, ela contribuiu, para que, fora da França, as mulheres entrassem na área de pesquisa e participassem na pesquisa sobre radioatividade.

[43:27]

Ela, que era chamada de “a patrona”, gasta um bom tempo escrevendo à universidade, às fundações Rockfeller e Carnegie, às sociedades filantrópicas e aos industriais, para garantir ao Instituto um financiamento que é frágil. ***“A nossa sociedade, onde reina um desejo amargo de luxo e de riqueza, não entende o valor da ciência. Ela não percebe que a ciência faz parte do seu patrimônio moral mais precioso. Nem os poderes públicos, nem a generosidade particular concedem aos estudiosos o apoio e os subsídios necessários para um trabalho plenamente eficaz”*** (Marie Curie³²).

[44:17]

Um dos seus maiores desejos se realiza: a inauguração do Instituto do Rádio de Varsóvia. Apesar de sua aversão às recepções oficiais, ela viaja muito: à Checoslováquia, à Inglaterra, à Espanha, ao Brasil, à Itália. Durante essas viagens que a esgotam, ela sempre escreve às suas filhas: ***“Eu estou boba com a vida que levo e incapaz de lhes dizer algo inteligente. Eu me pergunto qual é o vício fundamental da organização humana para que essa forma de agitação seja, até certo ponto, necessária. Mas o que é inegável é a sinceridade dos que fazem essas coisas e a convicção de que devem ser feitas”*** (Marie Curie³³).

[45:13]

Marie Curie será durante muito tempo a única mulher a participar dos Conselhos Solvay de Física e Química, criados em 1911 por um industrial belga, Ernest Solvay. Dúvidas, hesitações e controvérsias pontuam as discussões e fazem progredir uma obra comum. Precusores dos atuais colóquios científicos, esses conselhos permitirão avanços decisivos na área da Física moderna, graças às contribuições de cientistas de primeira linha, dos quais 40 prêmios Nobel.

[45:45]

É fascinante essa história ter acontecido com tal rapidez. Em 1906, a prova experimental da existência do átomo. Pensávamos que era uma esfera dura. Em 1911, compreendemos que não, que ele é composto com um núcleo no interior cercado de elétrons. Depois vemos que, no núcleo, há prótons e nêutrons. Depois vemos que os elétrons que giram em torno do núcleo não giram conforme as leis da Física Clássica. Então vemos que o átomo não é um objeto que pode ser descrito com a Física que se conhecia.

³² M. Curie ([1923] 2012, p. 70).

³³ Escreveu à filha Irène enquanto estava em Praga como convidada de honra, em 1925 (Quinn, [1995] 1997, p. 456).

[46:25]

É no contexto dos Conselhos Solvay que Albert Einstein, Niels Bohr e outros irão conceituar, no fim dos anos 20, a nova Física Quântica que permitirá explorar melhor o átomo e a partícula. Marie Curie e Einstein não trabalharam juntos nessas questões teóricas, mas nessa época perigosa eles se engajaram na Comissão Internacional de Cooperação Intelectual, um organismo da Sociedade das Nações destinado a reforçar ações em favor da cultura, da ciência e da paz. Ela declarou mais ou menos o seguinte: **“Fala-se da falência da ciência, mas ela é uma obra humana e, portanto, não é uma obra perfeita”**. Ela acrescentou: **“A ciência foi, muitas vezes, desviada de seu caminho por causa do egoísmo nacional e da regressão social”** (Marie Curie). Não diremos que Marie Curie se engajou para que os cientistas fossem defender as ideias dela, mas ela se expressou.

[47:40]

Em 29 de junho de 1934, Marie Curie é hospitalizada em estado crítico no hospital de Sancellemoz, em frente ao Mont Blanc. **“Eu faço parte dos que pensam que a ciência é belíssima. Um estudioso no laboratório não é apenas um técnico, ele também é uma criança confrontada a fenômenos naturais que a impressionam como um conto de fadas. Não se pode pensar que todo progresso científico se reduz a mecanismos, máquinas, engrenagens, que aliás, têm sua própria beleza. Não creio que, em nosso mundo, o espírito de aventura corra o risco de desaparecer. Se vejo em minha volta alguma coisa vital, é justamente esse espírito de aventura que me parece inextirpável e que é parente da curiosidade”** (Marie Curie³⁴). Marie Curie falece em 4 de julho de 1934, aos 67 anos. Sua última batalha, institucionalizar a pesquisa, terá um primeiro sucesso com a criação em 1936, através da Frente Popular de um Ministério da Pesquisa que será confiado à sua filha. Irène e Frédéric Joliot-Curie receberam o Prêmio Nobel de Química pela descoberta da radioatividade artificial. Eles preveem seu enorme potencial de energia, mas também de seus atributos perigosos.

[49:15]

A descoberta da fissão nuclear, em 1938, pelos alemães Otto Hahn e Fritz Strassmann e pela austríaca Lise Meitner irá dar início a uma competição louca pelo domínio do átomo. Infelizmente, a aventura deu errado, por assim dizer, com a bomba atômica. Mas ela sustentou toda a pesquisa da Física do século 20. No pós-guerra, será criado, na França, o Commissariado de Energia Atômica, de fins civis e militares, organismo no qual os pesquisadores irão trabalhar de uma maneira radical diferente daquela época de Marie Curie. A implementação colossal dos programas de armamentos ou ligados à energia esconderá por muito tempo as aplicações da radioatividade na medicina, na biologia, mas também na datação, na compreensão da formação da Terra, das estrelas, do universo. Os cataclismos nucleares das últimas guerras lançam nas trevas uma disciplina importante do século 20.

[50:28]

A ciência pode ser cúmplice da barbárie. Nós devemos analisar o uso que fazemos dos

³⁴ Trecho de discurso no debate “Futuro da Cultura” em Madrid no ano de 1933 (E. Curie, [1937] 1962, p. 290).

com, se possível, um domínio sobre o curso dos destinos coletivos. Há muitos cientistas que militam pela responsabilidade da ciência. Eles podem reivindicar o mito Curie? Por que não? Sabendo que é um mito e que nunca a ciência foi pura ou desinteressada.

[51:00]

Nos primeiros 30 anos do século 20, Marie Skłodowska-Curie, derrubando tabus, abriu, com sucesso, uma nova área de conhecimento. Sua liberdade, a dimensão ética e universal da sua obra, nos convida a nos interrogarmos constantemente sobre a grandeza e a servidão da ciência, exigindo nossa vigilância face às tentações presentes da regressão e do obscurantismo. “*Faço parte dos que pensam que a ciência é belíssima...*” (Marie Curie*).

³⁵ E. Curie ([1937] 1962, p. 290).

Material 2

► Atividade sobre aspectos da Natureza da Ciência



Reúnam-se em dez grupos com o mesmo número de membros e elaborem uma breve apresentação (de até dois minutos) sobre o aspecto da Natureza da Ciência sorteado ao seu grupo (cada grupo apresentará um deles), trazendo ainda exemplos para ilustrar.

Grupo	Aspecto da Natureza da Ciência	Caracterização
Grupo 1	Observações	Observar está relacionado a direcionar a atenção para um foco específico, com o objetivo de investigar e/ou analisar o mesmo.
Grupo 2	Métodos de Investigação	Estão relacionados às diversas metodologias possíveis de serem utilizadas ao longo de uma pesquisa científica.
Grupo 3	Instrumentação	Está relacionada com o desenvolvimento de técnicas de medição, indicação, registro e controle de processos e à aplicação das mesmas.
Grupo 4	Padrões de Raciocínio	Estão relacionados com os processos mentais que ocorrem durante a construção e uso do conhecimento científico pelo indivíduo.
Grupo 5	Dimensões Históricas	Estão relacionadas com as mudanças que podem ocorrer ao longo do tempo com determinado conhecimento científico, assim como com os fatores que podem influenciá-las ou com como elas podem ser influenciados pelo contexto histórico.
Grupo 6	Dimensões Humanas	Estão relacionadas diretamente com o indivíduo, por exemplo, com a sua personalidade, sua motivação, seja ela intrínseca e/ou extrínseca, seus sentimentos etc.
Grupo 7	Interações entre Cientistas	Estão relacionadas aos diferentes modos de interação entre os cientistas, por exemplo, parcerias, contribuições e disputas durante o processo de construção do conhecimento científico.
Grupo 8	Dimensões Socioculturais	Estão relacionadas com um conjunto de crenças sociais/culturais que envolvem, por exemplo, questões de gênero, raça, classe, nacionalidade, religião etc.
Grupo 9	Economia e/ou Financiamento	Estão relacionados com o fato de as pesquisas científicas necessitarem de financiamento, com as instituições de fomento responsáveis por tal financiamento, e com conflitos de interesse.
Grupo 10	Comunicação	Está relacionada com a habilidade de expressão, isto é, a capacidade que o indivíduo possui de expressar uma ideia usando qualquer modo de representação (verbal, visual etc.).

Fonte (Adaptada): Santos (2018)

Material 3

► Texto de apoio “A contribuição de Marie Curie”



A CONTRIBUIÇÃO DE MARIE CURIE



GOMES, Tauan Garcia; FORATO, Thaís Cyrino de Mello. A contribuição de Marie Curie. In: GOMES, Tauan Garcia. **Uma história da radioatividade para a escola básica: desafios e propostas**. 2015. 99 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Apêndice 5 (adaptado).

Você sabia que no início do século XX, quando as mulheres não tinham ainda nem o direito ao voto, uma mulher ganhou duas vezes o prêmio Nobel? Que em seu campo de atuação, ela ganhou mais prestígio que o próprio marido? E que essa mesma mulher morreu de câncer em função de suas pesquisas com radioatividade?

Nascida **Maria Skłodowska**, em 1867, numa Polônia subjugada pelo Império Russo, Marie teve de lutar desde a infância para progredir em seus estudos. A lei russa proibia o acesso de mulheres às universidades, e restringia a educação indistintamente entre os poloneses. Marie, entretanto, era filha de professores e sempre mostrou aptidão para o aprendizado. Como resultado de um árduo trabalho, alcançou o reconhecimento que a levou a ser a primeira mulher laureada com um Nobel, e a primeira pessoa a receber a honraria duas vezes. Foi também a primeira mulher a ocupar uma vaga na renomada Universidade Sorbonne, Paris, França, quando já era viúva e criava duas filhas pequenas (M. Curie, 1898).

No final do século XIX, quando ela começou a estudar a

“estranha” radiação que era objeto de interesse de físicos e matemáticos por toda a Europa, já eram conhecidos os raios X e os raios de urânio, emissões de alta energia relatadas por **Antoine-Henri Becquerel** (1852-1908). Portanto, ela passava a atuar em um campo de pesquisa ocupado por renomados pesquisadores que buscavam explicar a nova radiação.

Mais do que isso, ela identificou que alguns compostos emitiam radiação mais forte do que a do urânio puro, o que contrastava com os resultados anteriores que indicavam que a intensidade da radiação era proporcional à quantidade de urânio nos compostos. Para averiguar a que se devia a anomalia, ela sintetizou um dos minerais discrepantes, a calcolita, e percebeu que essa substância artificial não era tão ativa quanto o mineral natural. Marie conjecturou que esses minerais poderiam conter algum outro elemento desconhecido, mais ativo que o urânio. Ao encontrar que o tório também emitia radiações semelhantes às do urânio, Marie propôs um novo nome para o fenômeno, radioatividade (Strathern, 2000; Martins, 2012).

É necessário ressaltar que no mesmo ano, independentemente, **Gerhard Carl Nathaniel Schmidt** (1865-1949), também utilizando método elétrico, identificou que o tório emitia radiação ionizante semelhante à do urânio. Ele, porém, não continuou suas investigações no ramo da radioatividade (Martins, 2012). O fato de outro pesquisador ter chegado às mesmas conclusões não diminui a relevante contribuição de Madame Curie, principalmente por ela ter dado seguimento à sua pesquisa e chegado a resultados revolucionários, mesmo tendo vivido em um contexto desfavorável às mulheres que faziam ciência, e com o agravante de ser estrangeira (Cordeiro; Peduzzi, 2010).

O marido de Marie, **Pierre Curie** (1859-1906), já era um conceituado pesquisador quando ela ainda buscava seu doutorado, entretanto, em 1898, ele abandona suas próprias investigações para se dedicar apenas à pesquisa de Marie. Nesse momento, ela havia identificado que um mineral chamado pechblenda emitia radiação mais forte do que qualquer outra substância, o que, a exemplo do calcolita, indicava que havia ali um novo elemento. Assim, o casal Curie passou a um exaustivo trabalho de refinar o minério de pechblenda e depois de repetida destilação, eles isolaram pó de bismuto contendo o novo elemento. Esse novo elemento foi batizado polônio, por Marie, em homenagem à sua pátria (Strathern, 2000; Martins, 2012).

Após anunciarem a descoberta do polônio, os Curie foram obrigados a se afastarem do trabalho por motivos de saúde, estavam pagando o preço da longa exposição à radiação. Porém, no mesmo ano, eles voltaram ao laboratório, pois suspeitavam que havia um segundo elemento desconhecido na pechblenda. Eles realizaram um trabalho de separação semelhante ao usado na separação do polônio e isolaram o rádio (E. Curie, 1941; Martins, 2012).

Nesse período, os pesquisadores começavam a compreender os efeitos da radioatividade, e ainda não sabiam o quão perigoso eles eram para o nosso organismo. Marie se expôs por longos períodos e por muitos anos a fortes emissões radioativas, e sofreu muito em consequência. Ela morreu em 1934, aos 67 anos, e sua doença não pode ser diagnosticada apropriadamente na época, mas hoje entende-se que ela sofria de mais de uma doença derivada da exposição a radioatividade, sendo leucemia a mais grave.



Referências

CORDEIRO, M. D.; PEDUZZI, L. O. Q. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 27, p. 473-514, 2010.

CURIE, E. **Madame Curie**. Trad. Monteiro Lobato. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1941.

CURIE, M. S. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences de Paris** 123: 1101-3, 1898.

MARTINS, R. de A. **Becquerel e a descoberta da radioatividade**: uma análise crítica. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012.

STRATHERN, P. **Curie e a Radioatividade em 90 minutos**. Trad. Maria L. X. de A. Borges. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000.

Material 4

► Atividade “História e Natureza da Ciência a partir da vida de Marie Curie” – Pontos de Discussão e *slides*



Nesta atividade os alunos discutem os pontos apresentados (projetados nos *slides*) e descrevem as concepções da equipe. Após, em cada rodada, um membro diferente da rodada anterior socializa a ideia do grupo. Os grupos são selecionados para expor suas ideias a partir de sorteio, a fim de não tornar repetitiva a ordem de apresentação. Depois, o(a) professor(a) faz considerações que julgar pertinente, tendo como material de apoio os *slides* com informações extras – “comentários”.

Pontos de reflexão para a discussão	
Ponto 1	Quais as dificuldades encontradas por Maria Skłodowska para alcançar o sonhado meio universitário? Nesse sentido, existe alguma relação entre o que Maria vivenciou e o que vocês vivenciam, individual ou coletivamente? A que atribuem essa semelhança ou diferença?
Ponto 2	Por que a radioatividade perturbou a percepção da matéria da época? Qual era a concepção do átomo vigente? De que forma a concepção do átomo foi alterada? O que um cientista quis dizer ao afirmar “Dirão que somos alquimistas”? ³⁶
Ponto 3	O que é possível observar nesta obra ³⁷ de 1904? Que ideia ela comunica? De que forma ela está relacionada à visão de mulher da época?
Ponto 4	Qual a importância da aparelhagem desenvolvida e dos métodos experimentais para observações das investigações em geral e também as radioativas? De que forma eles (aparelhagem e os métodos) interferiram no desenvolvimento da Ciência?
Ponto 5	Qual o contexto do financiamento científico na época? Quais correlações podem ser realizadas com a atualidade?
Ponto 6	De que forma a história do rádio esteve relacionada à saúde humana? De que forma o rádio influenciou a sociedade?
Extra	Contribuições finais das equipes ou dúvidas sobre pontos não discutidos do documentário? - Convicção na filosofia positivista; Estudos secretos na Universidade Volante/Voadora; Período trabalhando como governanta para financiar os estudos da irmã em Paris; Dificuldades enquanto universitária; Dificuldades no trabalho experimental; Método químico para obtenção dos elementos; Amor à Polônia; Instituto do Rádio; Marie e Irène Curie na 1ª Guerra Mundial; Parceria com Pierre Curie e sua morte; Escândalo relacionado ao Paul Langevin; Marie Curie nos Estados Unidos / apoio feminista; Marie Curie no Brasil; e 2ª Guerra Mundial / Bomba atômica.

³⁶ Neste Ponto 2 utilizou-se de uma afirmação própria do documentário e pretendeu-se discutir sobre a percepção de energia espontânea e inesperada associada à matéria radioativa, que ia de encontro aos pressupostos da Física Clássica, como apresentado pelo vídeo e discutido por Marie Curie (1900). Ao ser levantado o questionamento sobre a concepção de átomo, buscou-se discutir o que o documentário trouxe sobre pensamentos dos antigos gregos e as incertezas e falta de consenso sobre átomos na comunidade científica; mas que os que acreditavam neles consideravam sua representação da estabilidade da matéria, sendo Marie Curie uma delas (Martins, 2003). Quanto aos átomos em relação aos seus modelos, as pesquisas na área histórica (Cordeiro, 2011; Vasconcelos; Forato, 2018, dentre outras) apontam para a inexistência de um único formato aceito e estabelecido por toda a comunidade científica entre o final do século XIX e início do século XX, pois existia diversas proposições sugeridas por diferentes cientistas.

³⁷ Prince (1904).

SLIDES

HISTÓRIA E NATUREZA DA CIÊNCIA
A PARTIR DA VIDA DE MARIE CURIE



Mestranda: Karoline dos Santos Tamowski
Orientadora: Professora Dra. Ivani Teresinha Lovat

1

Materiais de Referência

Documentário

Fonte: **MIRRE**. *Curie*, além de outra. Direção: Michel Yveline. Produção: Caroleine Barge, Nathalie Hutchins e Michel Yveline. Produção: **MIRRE**. França, Les Films du jour Image Curie e CMC. Ingresso: França, 2011. Documentário (12min).

Texto

Fonte: [adaptado]: **COMS**. **Sua Curie** [COMS]. **Três Curie no Brasil**. A trajetória de Maria Curie. In: **COMS**. **Sua Curie**. Livro eletrônico da Universidade para a sociedade brasileira: desafios e perspectivas, 2013. 99 p. Classificação [Mestrado em Ensino de Química] – Programa Interinstitucional em Ensino de Química. Universidade de São Paulo São Paulo, 2013. 9p. Disponível em: <http://www.fisica.usp.br/~fisica/curie/>.

2

Atividades em grupos sobre o documentário

- Se reúnam em grupos;
- Discutam os 6 pontos a seguir e escrevam na folha entregue os pontos levantados pelos colegas (frases da discussão e/ou texto elaborado pelo grupo);
- Cada equipe irá apresentar oralmente suas ideias, podendo ser estabelecidos diálogos sobre os pontos levantados com as demais equipes.
 - Um representante por equipe deverá apresentar as concepções do grupo, tendo ao término da atividade todos da equipe apresentado.
- O material de apoio (texto e transcrição do vídeo) pode ser consultado, mas o objetivo da atividade não é a transcrição dos trechos, é conhecer a percepção de vocês sobre a história.

3

O mapa abaixo representa a Europa em 1867, quando Maria Skłodowska nasceu.

Note que nessa época a Polónia não existia (domínio prussiano, austríaco e russo) e Rússia (que dominava sua cidade, Varsóvia) e França eram um império, mas quando Maria foi pra Paris (1891) aos 24 anos ela encontrou a "França Republicana" [06:26].

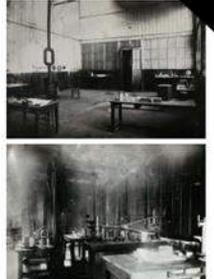


Polónia	História da França
Polónia Cronologia 1795 - 1807 - 1815 1815 - 1831 1831 - 1918 1918 - 1939 1939 - 1945 1945 - 1989 1989 - 1995 1995 - 2004 2004 - 2010 2010 - 2015 2015 - 2020 2020 - 2025	História da França Cronologia 1789 - 1799 1799 - 1815 1815 - 1830 1830 - 1848 1848 - 1870 1870 - 1914 1914 - 1918 1918 - 1940 1940 - 1944 1944 - 1945 1945 - 1958 1958 - 1969 1969 - 1981 1981 - 1989 1989 - 2007 2007 - 2017 2017 - 2022

4

Comentários:

- Marie Curie teve que sair de seu país por conta do ambiente histórico pela atual situação (Ambiente russo, com diversos linchamentos à mulheres que queriam seguir no Ensino Superior) para fazer ciência em outro lugar.
- Estudos em radiações criados pelo avô inspirada pelas observações de Becquerel. Construiu uma oficina na Escola de Física e Química Industrial (onde Pierre trabalhava) e materiais para analisar (metais, sais, óxidos e sais) de Mistos de história natural próximo de seu laboratório. Analisou as substâncias com aparelho desenvolvido pelo marido e construiu. Tudo se passou na França.
- O ambiente histórico que levou Marie a deixar seu país, teve por trás uma história pouco conhecida que levou à identificação das radiações radioativas no país de destino que passou por outro contexto.



5

1) Pontos de reflexão para a discussão

- Quais as dificuldades encontradas por Maria Skłodowska para alcançar o sonho meio universitário?
- Nesse sentido, existe alguma relação entre o que Maria viveu e o que vocês vivenciam, individual ou coletivamente?
- A que atribuem essa semelhança ou diferença?





6



Para realizar o *download*, consultar
<quimicaempratica.com/produto-educacional>

Comentários:

"Mas na França, em alguns círculos, o ambiente era bastante indiferente e hostil em relação às mulheres e estrangeiras, como o caso da comunidade científica" (p. 44).

= 210 mulheres – 9000 estudantes no geral (2,3%)
= 23 mulheres – 2000 estudantes de ciências (1,15%)

"As francesas não se amiscavam muito nosso relesitos masculinos, principalmente se solteiras, por preocupação de perigo moral que implicava: em sua maioria, as estudantes eram estrangeiras. Para essas últimas, existia a expressão *'ama-de-leite do estudo'*, que se referia a mulheres de fora, bonitas e inteligentes, e portanto, boas para se casar ou mesmo para inventoras solteiras" (p. 44).

Para Regina BDI



7

Comentários:

- Marie não podia cursar a universidade por ser mulher;
- Sem condições de ir para Paris estudar → Financiamento próprio (em inglês);
- Deixou família pobre, a conforto de sua casa e amigos;
- Trabalhou em Suécia como governanta/híterea;
- Acesso à universidade aos 24 anos;
- Estrangeira (beneficial);
- Lidar com outra cultura, outra língua;
- Minoria por ser mulher no âmbito universitário;
- Base de estudos a nível secundário era inferior aos franceses;
- Morou inicialmente com a irmã, mas sua casa ficava a 1 hora da universidade; 2 horas de deslocamento diárias;
- Depois morou sozinha em uma mansarda (sótão), quente no verão e fria no inverno;
- Tinha pouco dinheiro e se alimentava mal;





8

Comentários:

- Questão pessoal: Pontos anteriores, determinação, senso científico, horas de estudo, longos deslocamentos, etc...?
- Sociedade mulher: mulheres têm mais acesso à universidade hoje;
- Existem mais universidades, não requer necessariamente longos deslocamentos;
- Programas de apoio estudantil (moradia, alimentação, transporte, bolsa; ensino, pesquisa, extensão e trabalho);





9

"Associamos Marie Curie à radioatividade, ao reator nuclear, à bomba atômica, mas é uma história mais complicada e sutil. Mas de 100 anos se passaram desde que Marie Curie fez uma palavra até então desconhecida: radioatividade. Ao abrir as portas do mundo invisível, a radioatividade perturbou nossa percepção da matéria e do universo" (01.11).

2) Pontos de reflexão para a discussão

- Por que a radioatividade perturbou a percepção da matéria da época?
- Qual era a concepção do átomo vigente?
- De que forma a concepção do átomo foi afetada?
- O que um cientista quis dizer ao afirmar "Dião que somos alquimistas"?



10

Comentários:

> Trechos do documentário:

- [18:27]: "Para os físicos e químicos da época, a matéria ainda possuía muitos mistérios. A estrutura do átomo ainda tem que ser descoberta. O átomo é apenas um conceito que designa a menor parte invisível da matéria. Desde a *particulação*, o átomo é uma lesca do Santo Graal. No início do século 20, há um debate sobre a existência do átomo. Ele existe? O átomo é uma ideia antiga, que os filósofos gregos colocaram mais de 900 anos atrás, mas que nunca foi visto. O átomo, no final do século 19, era algo que representava a *espiritualidade* – a conservação da matéria, nas reações químicas e outras. A descoberta da radioatividade sugere que os átomos podem emitir energia. E o fim do que um professor da época chamava de 'Era vitoriana do átomo'. O século 20 começa com a ideia de que o átomo é, ao contrário, um *pequeno mundo que devemos explorar*."



11

Comentários:

> Trechos do documentário:

- [02:22]: "Henri Becquerel descobriu que a placa fotográfica em contato com sal de urânio e guardada sem ser exposta à luz do Sol. Becquerel descobriu que o urânio é capaz de emitir radiação, cuja natureza é desconhecida, mas *raiações capazes de dar-se sem jamais se gastar*."
- [17:40]: "Não se pode dar uma explicação a uma radiação de tamanha importância, que libera uma tal energia com a física clássica. É impossível. A *espontaneidade da radiação* é um enigma, um tópico de profunda admiração. A matéria radioativa se transforma, mas não é uma transformação química ordinária. Se há algo que se modifica, é certamente o *átomo*" (Marie Curie). Marie Curie percebe que a radioatividade era um sinal que nos colocava em contato com "o mundo invisível", com a matéria que não é estruturada a menor escala possível."




12

Comentários:

> Trechos de documentários:

- [22:11] "Em 1911, em Berlim, em Göttinge, em Berlim, os físicos sobre radioatividade estavam. Físicos como o recém-nato **Ernest Rutherford** discutiam, tanto a época, esse fenômeno enigmático. O grupo de **Rutherford** será o grupo mais ativo e o que vai discutir com **Soddy** a radioatividade. A **conseguida de radiação** decorre de um **elemento químico**, algo impossível, que poderia nos levar a **orar em algébrica**. Tinha mesmo sido um grupo de Rutherford no ano. **Porão são sempre físicos**".



"Alquimia, por muito tempo ridicularizada, revela-se verdadeira" - New York Times, 1911.



O Prêmio Nobel de Química de 1908 foi concedido a **Ernest Rutherford** "por suas muitas descobertas sobre a desintegração dos elementos e a obtenção de substâncias radioativas".

O Prêmio Nobel de Química de 1921 foi concedido a **Frederick Soddy** "por suas descobertas na investigação da natureza dos elementos radioativos e suas relações com a teoria atômica e a natureza dos isótopos".

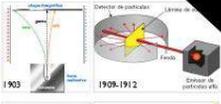
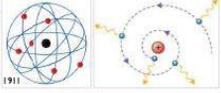
Fora Haber (1911) e Haber (2019)

13

Comentários:

> Trechos de documentários:

- [20:29] "No final de 1911 (...) da [Curie, de certa] acompanhava o trabalho dos físicos ingleses. A **resolução do enigma de onde vem a radiação** é feita por **Ernest Rutherford** que, há mais de 10 anos, reúne provas irrefutáveis.
- Não compreendemos que o **átomo não é uma entidade plana, não é uma pequena esfera de matéria**, mas é, ao contrário, um **elemento composto**, que é basicamente constituído de **vazio**.
- No **átomo**, há o **núcleo**, o **núcleo do átomo**, cujo tamanho é muito pequeno, é um milésimo de bilionésimo de metro (10⁻¹⁴m). **Logo de núcleo, há elétrons** que giram. E, na verdade, a **radioatividade** é um fenômeno que ocorre unicamente no **núcleo**.
- É um **fenômeno físico** e não químico. Os fenômenos químicos possuem elétrons que giram em torno do núcleo do átomo. A radioatividade ocorre aqui, onde há novas forças que entram, as forças que chamamos de **forças nucleares**. A radioatividade é física.

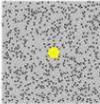




14

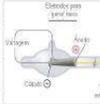
Comentários:

> Trechos de documentários:

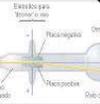
- [45:45] "É fascinante essa história por acontecer com tão rapidez. Em 1906 a prova experimental da existência do **átomo**. Testávamos que era uma esfera dura.
- Em 1911, os impressionamos que não, que ele é composto com um núcleo no interior cercado de elétrons. Depois vemos que, no núcleo, há prótons e nêutrons.
- Depois vemos que os **elétrons** que giram em torno do núcleo **vão girar conforme as leis da Física Clássica**. Então vemos que o **átomo não é um átomo** que pode ser descrito com a Física que se conhece".



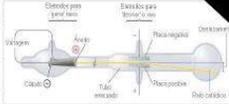
Modelo atômico de Thomson 1904



Modelo atômico de Rutherford 1911



Problema de estabilidade atômica no modelo de Rutherford



Raios catódicos Joseph John Thomson: Experimentos (1897) Nobel em Física (1906)



15

Comentários:

> Trechos de documentários:

- [46:26] "É no contexto dos **Conselhos Soddy** que **Albert Einstein**, **Niels Bohr** e outros vão trabalhar, no fim dos anos 20, a nova Física Quântica que permitirá explicar melhor o **átomo** e a partícula. Marie Curie e Einstein vão trabalhar em partes nessas áreas físicas, mas nessa época ninguém eles se encaixaram na Comissão Internacional de Cooperação Intelectual (...)".



Modelo atômico de Rutherford 1911

Problema de estabilidade atômica no modelo de Rutherford



Modelo de Bohr e espectro de emissão 1913

16

"Nesse começo de século XX, Marie Curie começa a ensinar na Escola Normal Superior das jovens de Sévres. Ela termina sua tese de doutorado 'Pesquisas Sobre as Substâncias Radioativas', que lhe garante uma diplomação com louros. Em 1902, por suas pesquisas sobre os fenômenos radioativos, Marie Curie, Pierre Curie e Henri Becquerel recebem o Prêmio Nobel de Física. O casal, pouco a vontade na vida mundana sai do anonimato" [20:19]



Marie Curie, Pierre Curie "People of the Day, No. 1" "Boston - John Sartor" by John Sartor, published in Boston Herald-Examiner, 1904

3) Pontos de reflexão para a discussão

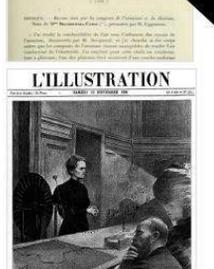
- O que é possível observar nesta obra de 1904?
- Que ideia ela comunica?
- De que forma ela está relacionada à visão de mulher da época?

17

Comentários:

> Trechos de documentários:

- [14:25] "Pierre Curie, dominista de renome, não que Marie Curie **acessasse** sua vida esse primeiro estudo, descrependo assim as **convexões de uma época** em que era impossível uma **mulher fazer descobertas** em ciências. Em seguida foi difícil de esperar que esse ponto de partida de todas as descobertas seja a assinatura de Marie 'Skłodowska-Curie'".
- [23:57] "Na quinta-feira do dia 19 de abril de 1906, Pierre Curie morreu em um acidente de trânsito. (...) Alguns meses após esse drama, Marie Curie assume as funções de sua falecido marido na Sorbonne. Em novembro de 1906, ela dá sua aula inaugural - ela é a **primeira professora** na Sorbonne. Um jornalista francês, ele dá a frase: "Imaginem! A partir do momento em que uma mulher é autorizada a dar aulas de ensino superior aos estudantes dos dois sexos, como ficará a superioridade do homem? Eu liço, em breve as mulheres se tornaram ser os humanos!".



18

Comentários:

> Trechos do documentário:

- [25:08] "Lá, 12 anos após a descoberta do rádio, Marie Curie, aos 43 anos, é uma das físicas mais importantes da sua época. Ela é encorajada a se candidatar à Academia Científica. Um jornal ultraconservador se perguntou: **Uma mulher pode fazer parte desta venerável instituição?**" e o caso dos acadêmicos um "verbo patético" em favor de Edouard Brévy, um dos inventores da radiografia sem fio. Edouard Brévy ganha por dois votos. Não é só por ser uma mulher que ela transgride os papéis sociais tradicionais, mas também por ocupar "ela e outros do seu grupo" valores que eram considerados "antifrançeses".
- [45:13] "Marie Curie será durante muito tempo a única mulher a pertencer aos Conselhos Solway de Física e Química, criados em 1911 por um industrial belga, Ernest Solway. Diferidos, historiadores e contradições pontuais as discussões e fazem progredir uma obra comum. Preciosos dos artigos científicos, esses conselhos permitiram anámulos decisivos na área da Física moderna, graças às contribuições de admitidos de primeira linha, dos quais 40 prêmios Nobel".

Wallaces têm direito ao voto em 1946 na França (GOWES; FORATO, 2015, p. 296).



19

Comentários:

"As descobertas de Pierre e Jacques Curie sobre as fracas cargas elétricas emitidas pelo quartzo e que serão utilizadas mais tarde nos sonares e relógios eletrônicos, serão determinantes no estudo das radiações do urânio. Na mesa do laboratório, o quartzo piezoelétrico, instrumento elaborado por Pierre Curie, será associado a outros instrumentos que já foram testados. No início dessa odisséia a longo prazo está o aparelho que simboliza perfeitamente a complexidade científica de Pierre e de Marie Curie, lhes permitindo efetuar medidas de uma finíssima desigualdade" (12.11).

4) Pontos de reflexão para a discussão

- Qual a importância do aparelho desenvolvido e dos métodos experimentais para observações das investigações em geral e também as radioativas?
- De que forma eles (aparelhagem e os métodos) interferiram no desenvolvimento da Ciência?



20

Comentários:

O que você já descobriu...

AS PRIMEIRAS INVESTIGAÇÕES DE MARIE CURIE SOBRE ELEMENTOS RADIOATIVOS

SOBREVITO DE ANDRÉ MAROTIS

Logo se tornou claro que os efeitos elétricos da radiação eram muito mais fortes do que o uso da fotografia na investigação científica das radiações, pois o estudo da ionização do ar permitia medir as radiações, sendo por isso superior ao uso de chapas fotográficas. O método fotográfico, utilizado por Becquerel nos seus primeiros estudos, não permitia medidas sendo somente qualitativas. A sensibilidade das manchas fotográficas dependia evidentemente do próprio material fotográfico utilizado e as chapas variavam muito de sensibilidade, assim como do processo de revelação, sendo impossível fazer uma comparação adequada entre duas fotografias obtidas em épocas diferentes. Além disso, o processo fotográfico é influenciado pela temperatura, umidade, pressão e por muitas substâncias químicas, por isso o surgimento de uma mancha em uma placa fotográfica podia ocorrer tanto por influência de radiações penetrantes como por outros motivos. Pode-se atribuir exatamente a efeitos desses tipos as "descobertas" acima referidas de tantas substâncias que pareciam emitir radiações penetrantes. Enquanto as chapas fotográficas eram o processo principal de detecção de radiação, ficava impossível distinguir as radiações do urânio de todas as outras fontes espúreas.

Ferreira, Pereira (2001, p. 18)



21

Comentários:



Ferreira The College of Physicians of Philadelphia Digital Library (2011)

22

Comentários:

Digital OpenStax Photo Electrometer Used by Pierre and Marie Curie

In 1907, Marie Curie began investigating the radioactivity of various salts as discovered by her husband Pierre Curie and his brother Jacques. The experiment was based on the property of quartz crystals, an ionization produced following a deformation. Pierre and Jacques Curie discovered that "quartz crystals in contact with a long strip of quartz crystal in fact it was not only ionized at its surface, but also emitted rays which deposited the film of the crystal and recorded the discharge of electrons in a photographic plate which was placed in front of it. Marie and Pierre Curie finally succeeded in isolating a new element, radium, from pitchblende. The following year they shared the Nobel Prize in Physics with Henri Becquerel for the discovery of radioactivity and in 1911 Marie Curie was awarded the Nobel Prize in Chemistry.

The instrument was one of the few models used by Marie and Pierre Curie to study natural radioactivity of radium. It was presented at the College of Physicians in Philadelphia by Marie Curie in a special meeting on the College on May 22, 1912. The image is a digitized reproduction of the original.

Este instrumento foi um dos poucos modelos usados por Marie Curie e Pierre Curie em suas primeiras pesquisas de rádio. Foi apresentado ao Colégio de Médicos de Filadélfia por Marie Curie em uma reunião especial no Colégio em 22 de maio de 1912. A imagem é uma reprodução digital do original.

Ferreira The College of Physicians of Philadelphia Digital Library (2011)



23

Comentários:

"Dentro de cada de lâmina, um pedacinho fino de cristal de quartzo, adocado entre duas lâminas, suspenso numa pequena pendula;

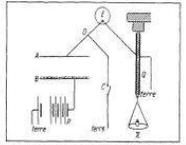
Quando os pesos são adicionados à pendula, o cristal fica estressado, produzindo carga elétrica. Este é o efeito piezoelétrico, descoberto por Pierre Curie.

Embora a carga produzida seja pequena (microampères) e produzida em quantidades com direção do peso adicionado, observou-se o fenômeno.

Os Curie usaram este dispositivo para medir a atividade de uma substância radioativa.

Eles mediram a radiação ligando o aparelho piezoelétrico a uma fonte radioativa em uma câmara de ionização próxima a um eletroscópio.

A quantidade de radioatividade foi determinada pela análise e subtração do peso, no ponto de modo que a corrente produzida pelo quartzo compensasse a corrente produzida pela substância radioativa.



Ferreira Curie (1901) e Moisan Moissan (2011)

24

Comentários:

> Trechos do documentário:

- [11:16] "5 anos após chegar a Paris, a estudante cindra procura o desafio e se lança na exploração desses misteriosas radiações. (...) Mas a física iniciante não dispõe de um método físico experimental. É preciso um método quantitativo dessas misteriosas radiações extremamente fracas. Curioso como radiações extremamente fracas, espontaneamente, o que é extraordinário, mas extremamente fracas.
- [13:00] "A corrente elétrica é medida em 10¹⁴-14 ampères, 10¹⁵-15 ampères. Ou seja, eles são capazes, com meios que parecem rudimentares, de extrair dados de uma precisão invariável. Durante várias semanas, Marie Curie mede as radiações das diferentes amostras que ela seleciona.
- [14:25] "Com Pierre, Marie tenta isolar a substância encontrada na pedrelinha, elemento químico desconhecido da tabela periódica. *Então nós atacamos a pedrelinha com ácidos e tratamos o licor obtido com sulfeto de hidrogênio. Finalmente, obtivemos uma substância cuja atividade é 400 vezes maior que a do urânio. Descobrimos que a substância que estamos da pedrelinha contém um metal ainda não descoberto. Se sua existência for confirmada, nós propomos chamá-lo de polônio, o nome do país natal de um de nós!*"



25

Comentários:

> Trechos do documentário:

- [15:30] "Em pouco tempo, Marie e Pierre Curie recebem o reforço de **Gustavo Bémont**, um químico experiente. Todos os três detectam que suas amostras contém algo ainda mais ativo do que o polônio. Esse novo elemento químico, com uma radiação 400 vezes mais poderosa que a do urânio é batizada por eles de rádio. A fim de convencer os acadêmicos, Marie e Pierre têm que obter uma quantidade significativa de rádio puro para estudar suas características químicas. Para extrair vários miligramas de rádio é preciso ter uma tonelada de pedrelinha. Mas a principal mina da Europa fica em **Jachimstrahl, na Boêmia**. Graças ao apoio de um industrial parisiense, convidado do salmão revolucionário dessa descoberta, Marie e Pierre Curie iniciam a última etapa da pesquisa de lá.
- [25:05] "Em 1910, com a ajuda do professor **André Debierne**, Marie Curie consegue isolar um grama de rádio metal puro, um milão de vezes mais ativo que o urânio!"



André Debierne

26

"A nossa sociedade, onde reina um desejo avorço de luxo e de riqueza, não entende o valor da ciência. Ela não percebe que a ciência faz parte do seu patrimônio moral mais preciosos. Nem os poderes públicos, nem a generosidade e particular concedem aos estudiosos o apoio e os subsídios necessários para um trabalho plenamente eficaz" – Marie Curie (43:27).

5) Pontos de reflexão para a discussão

- Qual o contexto do financiamento científico na época?
- Quais correlações podem ser realizadas com a atualidade?



27

Comentários:

(...) Muitos de nossos amigos, argumentaram, não sem razão, que se tivessemos garantido nossos direitos [partidos], poderíamos ter os meios financeiros para finalizar um Instituto de Rádio satisfatório, sem dizer nem sequer qualquer uma das dificuldades que foram uma desvantagem para nós dois e que ainda são para mim. Ainda acredito que fizemos o que é certo. A humanidade, certamente, precisa de homens práticos que façam o melhor de seu trabalho em prol de seus próprios interesses, sem esquecer o interesse geral. Mas também precisa de salvadores, para quem o pagamento através de um propósito é tão importante que se torna impossível para eles deduzirem muita atenção aos seus próprios interesses materiais. Sem dúvida, podemos dizer que esses idealistas são meros mirantes, uma vez que não desçam. Porco, no entanto, que uma sociedade bem organizada deve garantir a esses trabalhadores os meios para um trabalho eficiente, com uma vida em que as preocupações materiais são excluídas, para que essa vida possa ser livremente dedicada ao serviço da pesquisa científica.

[JUNE 1921, pp. 126-127 (edição revisada)]



28

Comentários:

> Trechos do documentário:

- [34:52] "No final do conflito mundial, a França es tá arruinada. Em Paris, uma imensa tarefa via mobilizar toda a energia de Marie Curie: **relançar o Instituto do Rádio**, inaugurado antes da guerra, e equipar os laboratórios destinados a criar novos ramos de pesquisas sobre radioatividade e suas aplicações. O Instituto do Rádio foi uma luta. Não podemos esquecer que a **Francia está arruinada**. No início, o Instituto do Rádio tem poucos recursos. Os primeiros anos foram, para Marie, uma fonte de preocupações, porque **não havia recursos** para as despesas e para aquecer o lugar.
- [38:25] No começo dos anos 20, a **economia melhora**. As doações, em espécie e em material, aumentam. O Instituto do Rádio se desenvolve rapidamente.
- [43:27] "Ela, que era chamada de 'a patrona', gasta um bom tempo correndo à universidade, às Fundações Rockefeller e Comissões de sociedades filantrópicas e aos industriais, para garantir ao Instituto um **financiamento que é frágil**".
- [47:40] "Sua última batalha, **institucionalizar a pesquisa**, terá um primeiro sucesso com a criação em 1936, através da **Frente Popular de um Ministério da Pesquisa** que será atribuído à sua filha.



29

"Meus principais problemas são meus olhos e minhas orelhas. Meus olhos estão muito enfraquecidos. Quanto às orelhas, um zumbido quase contínuo, muitas vezes intenso, me persegue. Eu me preocupo muito, meu trabalho pode ser prejudicado. Talvez o rádio seja culpado desses problemas, mas não se pode afirmar com certeza" – Marie Curie (41:20).

6) Pontos de reflexão para a discussão

- De que forma a história do rádio esteve relacionada à saúde humana?
- De que forma o rádio influenciou a sociedade?



30

Comentários:

- Trêchos de abecedário:
- [2.106] "Marie escreve a seu irmão Józef: 'Estamos inundados de cartas de visitas de fotógrafos, de jornalistas, queríamos nos esconder para nos ver'. Após adiar a viagem por mais de um ano, por **razões de saúde**, Pierre e Marie vão finalmente a Estocolmo para receber o seu Prêmio Nobel".
- [2.138] "No final de 1911, os sentimentos e os nervos de Marie Curie foram postos à prova. Os médicos de Paris tem uma **grave doença renal**. Ela é submetida a uma cirurgia, seguida de uma longa convalescença".
- [3.112] "Essas forças, que impelam o século, criando forças maiores, permitem a Marie realizar seu sonho: construir um **Instituto de Física** e uma **grande instituição de ensino público**".
- [3.2.25] "Sabedoria o quanto é importante para mim este passo: descobrir, talvez beneficiado a humanidade, não apenas pelo seu grande valor científico, mas também pelo seu poder de **ajudar oprimidos e sofrimentos humanos** contra esse terrível doçor".
- Livro (COMES; FORATO, 2015): Marie de Marie Curie por **eduard** (p. 294 e 261).




31

Comentários:



Fora Boyer (1911)

32

Comentários:



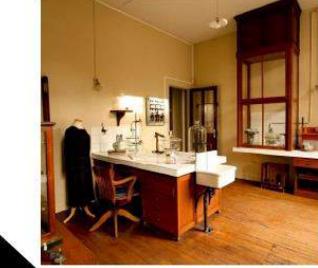
33

Comentários:



34

Comentários:



O laboratório de química de Marie Curie, juntamente com o escritório, forma o coração histórico do Musée Curie. Esta sala, com vista para o jardim do Instituto do Radium, abrigou a pesquisa da diretora da instituição nos últimos 20 anos de sua vida (Musée Curie)

35

Comentários:

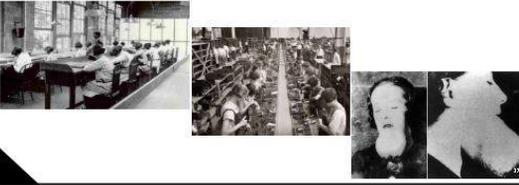
- [4009] "Em meados dos anos 20, nos Estados Unidos, no Canadá e sobretudo no Congo Belga, a extração de rádio aumentou. Ao sair das usinas e dos laboratórios, o **rádio é o objeto de todas as fantasias**. Atravessam-se a essa sub-terra milagrosa todos os virtudes. Os **aromes de rejuvenescimento** vêm em primeiro lugar. Os dois irmãos usam e abusam. Há **aromes de barbear e digestivos**... com rádio. Os amantes de romances populares dão asas à imaginação. "O rádio, palmaria radiante e realista, estava em todas as locais", se exclama Camille Flammarion, o famoso divulgador científico".



36

Comentários:

- [4:120] "A estação termal de Bombières-les-Bains, no Vosges, procurava a sua 'Água muito radiativa' e vendeu 'emvasadores' para 'radiotar' a água das bebidas e dos lençóis. Fato, em 24 horas, de 6000 emvasamentos! Antes da produção de rádio, em 1937, e rigorosamente ressumado ao estado líquido, ele tinha tempo de causar muitas mortes nas profissões mais expostas. As 'ignoras do rádio', das fabricam em série o principal produto dos anos 20, o desportador fosforescente, pagando caro."



37

Comentários:

Rádio era utilizado na Primeira Guerra Mundial: relógios de soldados, no momento de análises e curas de urânio – para que eles pudessem ver esses aparelhos à noite!



Fonte: Hitz (2013)

38

Contribuições finais das equipes ou dúvidas sobre pontos não discutidos? [Minutagem abaixo]

- Convenção na filosofia positivista - 05:20 / 06:20 / 05:27
- Estudos secretos na Universidade Volante/Voadora - 05:30
- Período trabalhando como governanta para financiar os estudos da Irmiel em Paris - 06:30 / 05:00
- Dificuldades enquanto universitária - 06:25 / 05:54
- Dificuldades no trabalho experimental - 05:47 / 13:00 / 14:25 / 15:30 / 16:20 / 23:00
- Método químico para obtenção dos elementos - 14:25 / 15:20 / 17:47 / 26:17
- Amor à Polónia - 09:11 / 14:25 / 44:17



39

Contribuições finais das equipes ou dúvidas sobre pontos não discutidos? [Minutagem abaixo]

- Instituto do Rádio - 21:07 / 24:28 / 23:25 / 42:25 / 44:17
- Marie Curie e Irmiel na 1ª Guerra Mundial - 21:07 / 23:20 / 23:20 / 14:25
- Parceria com Pierre Curie e sua morte - 08:20 / 09:20 / 15:11 / 13:00 / 14:25 / 15:30 / 19:50 / 23:27 / 25:49
- Escândalo relacionado ao Paul Langevin - 09:15 / 06:30 / 27:49
- Marie Curie nos Estados Unidos / apoio feminista - 26:19 / 27:51
- Marie Curie no Brasil - 44:17
- 2ª Guerra Mundial / Bomba atômica - 49:15 / 54:28



40

Referências

- ALCHERRE, Iorg. *radioactive sun*, ou, no Brasil, *Transmutation of Matter: the Principle of the Mesosphere's Snow, accomplished in the Twentieth Century*. New York: Times, February 19, 1911, p. 12. Disponível em: <http://www.nytimes.com/1911/02/19/archives/transmutation-of-matter.html>. Acesso em 16 maio 2019.
- BOYER, Jacques. *Uranium: du minerai au combustible et de la préparation de la mystérieuse substance*. La Science et la Vie, février Mars, n. 179, n. 55, pp. 211-220. Disponível em: www.musee-lavoisier.org/fr/ressources/boyer-jacques-uranium. Acesso em 16 maio 2019.
- CURIE, Maria Skłodowska. *Recherches sur les substances radioactives*. 1901. 131 p. Paris [Doin et de Sciences Physiques] – Faculté des sciences de Paris. Paris: Gauthier-Villars, 1901. Disponível em: <http://www.libraryofmariecurie.org/fr/ouvrages/1901>. Acesso em 13 abr 2019.
- CURIE, Marie Skłodowska. *Trabalho Honroso Laboratório de Espinho*. *História e Biografia*, Série P, vol. 1, 11ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1982. 137 p.
- MARIA, Raquel Gonçalves. *Marie Skłodowska Curie: imagens do ouraíto*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. 110 p.
- MARIE CURIE, além do mito. Diálogo Michel Vuilleumier. Produção: Gérardine Berger, Nathalie Hutchens e Michel Vuilleumier. Produtores: ARTE France Lab. Filme dos Irmãos Curie e CURIE. França, 2011. Documentário [52 min]. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=6VYH9Qc>. Acesso em 30 mar 2019.
- MARTINS, Roberto de Andrade. *As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos*. *Revista Brasileira de História da Ciência*, n. 1, p. 23-41, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/rbhc>. Acesso em 19 mar 2019.
- PIQUELLE, Gabriel. *Salvando o 'Caso Marie Curie'*. In: *Revista de História da Ciência*. São Paulo: FAPESP, 2011. 360p.
- THE COLLEGE OF PHYSICIANS OF PHILADELPHIA. *DOUGLAS LIBRARY*. *Curie's Place: Electrometric*. Digitized by the Marie Curie Museum of The College of Physicians of Philadelphia, 2011. Disponível em: <http://www.collegephysicians.org/curiesplace/239>. Acesso em 13 abr 2019.
- THE COLLEGE OF PHYSICIANS OF PHILADELPHIA. *Curie's electric apparatus*. Marie Curie was here. Marie Curie Museum, 2016. Disponível em: <http://www.mariecurie.org/curiesplace/239>. Acesso em 16 maio 2019.

41

Crédito das imagens



42



Material 5

► Texto “O coro dos excluídos”



POLÍTICA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

NOBEL

O coro dos excluídos

FABRÍCIO MARQUES

Os virologistas Luc Montagnier, então no Instituto Pasteur de Paris, e Robert Gallo, do Instituto Nacional do Câncer (INC) dos Estados Unidos, disputaram nos anos 1980 a primazia (e os direitos sobre *royalties*) da descoberta do vírus causador da Aids, feito anunciado quase simultaneamente por ambos, em 1984. Três anos mais tarde, soube-se que as amostras de vírus de Gallo derivavam das de Montagnier – os dois haviam trocado material enquanto tentavam identificar o vírus da misteriosa e letal doença que destruía o sistema imunológico de suas vítimas. Gallo afirmou que suas amostras haviam sido inadvertidamente “contaminadas” pelas do colega, que, por sua vez, não só aceitou a desculpa como jamais se furtou a participar de debates e de conferências ao lado do ex-rival. A disputa foi encerrada de forma diplomática, com a partilha dos méritos e dos *royalties* entre os dois.

Pois essa disputa foi relembrada em grande estilo 21 anos depois de seu desfecho quando foram anunciados os vencedores do Prêmio Nobel de Medicina ou Fisiologia de 2008: Luc Montagnier e sua colega Françoise Barré-Sinoussi, com quem isolou o vírus da Aids um quarto de século atrás, e o alemão Harald zur Hausen, que descobriu a relação entre o papilomavírus (HPV) e o câncer do colo de útero. Para Robert Gallo, nada. “Não há dúvida sobre quem fez as descobertas fundamentais”, afirmou Maria Masucci, integrante do Comitê Nobel. Montagnier e Barré-Sinoussi, magnânimos, deram crédito a Gallo. “É um conflito para esquecer. Também é verdade que equipes norte-americanas foram importantes na descoberta do vírus e isso deve ser reconhecido”, disse Barré-Sinoussi.

Gallo divulgou uma nota sem ressentimentos. “Fico satisfeito que meu velho amigo e colega, o doutor Luc Montagnier, assim como sua colega Françoise Barré-Sinoussi, tenham recebido esta honraria”, disse. “Fico gratificado por ler a gentil declaração do doutor Montagnier hoje de manhã manifestando que eu era igualmente merecedor.” Já John Niederhuber, diretor do Instituto Nacional do Câncer, lembrou que Gallo e Montagnier receberam crédito conjunto pela descoberta. “Estou extremamente desapontado por o INC e todos os recursos que ele angariou para a descoberta do vírus da Aids – junto com a tecnologia para tornar os bancos de sangue seguros e as drogas que fizeram da Aids uma doença crônica – não terem sido reconhecidos”, afirmou.

Processo sigiloso - As queixas de injustiçados pelo Nobel são tão antigas quanto o próprio prêmio, criado em 1901 por força do testamento de Alfred Nobel, o inventor da dinamite. Mas, como é sigiloso o processo de seleção realizado pela Academia Real de Ciências da Suécia e pelo Instituto Karolinska, é difícil avaliar as razões que levaram à escolha de um pesquisador em detrimento de outro. Uma análise das exclusões mostra que elas estão relacionadas ao número restrito de premiações (no máximo três por categoria), a dificuldades de identificar quem fez a contribuição mais importante de uma determinada pesquisa e à falta de experiência ou reputação de um pesquisador dentro de sua comunidade.

Robert Gallo está em honrosas companhias na lista dos barrados pelo Nobel. A física austríaca Lise Meitner (1878-1968) é um exemplo. Em 1944, ela foi ignorada pelo Nobel, que

laureou Otto Hahn com o prêmio de Química por sua pesquisa em fissão nuclear. Meitner e Hahn haviam trabalhado juntos durante 30 anos no Instituto Kaiser Wilhelm, de Berlim. Separaram-se em 1938 quando a judia Meitner transferiu-se para a Suécia para fugir do nazismo. Os dois seguiram trocando cartas sobre suas experiências e chegaram a encontrar-se secretamente em Copenhague, em 1938. As cartas indicam que Meitner guiou Hahn nas pesquisas que levaram à descoberta da fissão nuclear, como mostrou o livro *Lise Meitner: a life in physics*, de Ruth Lewin Sime. Em 1939, Hahn publicou as evidências da fissão nuclear, mas não deu crédito da descoberta à colega, fato explicado pelo clima de perseguição do nazismo. Atribui-se a esse lapso a injustiça cometida pelo Nobel.

Albert Schatz (1922-2005) travou uma disputa jurídica contra o microbiologista Selman Waksman, de quem era aluno na Universidade Rutgers. Atribui-se ao jovem Schatz, então com 23 anos, a descoberta de um antibiótico, a estreptomicina. Waksman e Schatz publicaram juntos o achado, mas, na hora de patentear-lo, o professor obteve para si a maior parte dos *royalties*. Schatz conseguiu que a Justiça o declarasse co-autor da descoberta e detentor da metade dos *royalties*. Ainda assim, o Comitê Nobel concedeu o prêmio de Medicina ou Fisiologia de 1952 apenas a Waksman.

Outro caso famoso em que a juventude do candidato pesou negativamente foi o de Jocelyn Bell Burnell, excluída do Nobel de Física de 1974, que reconheceu a descoberta dos pulsares. Ela era estudante de graduação da Universidade de Cambridge quando detectou o primeiro pulsar. Em 1968 publicou na revista *Nature* seus resulta-

Ao laurear Luc Montagnier e ignorar Robert Gallo, a organização do Nobel acrescenta um nome na galeria dos que se julgam injustiçados pelo prêmio



Gallo e Montagnier: disputa lembrada pelo Nobel



Françoise: HIV



Harald zur Hausen: HPV

dos em co-autoria com o professor Antony Hewish, coordenador da pesquisa. Em 1974, o comitê Nobel a excluiu do prêmio de Física concedido a Hewish e a seu colega Martin Ryle.

A lista dos excluídos tem um brasileiro célebre. O físico César Lattes (1924-2005), embora tenha sido o responsável pela experiência e fosse o primeiro autor do artigo da *Nature* que descreveu uma nova partícula atômica, batizada de méson-pi, foi excluído do prêmio de Física de 1950 que reconheceu a descoberta. O laureado foi o chefe do laboratório em que Lattes trabalhava na Universidade de Bristol, Cecil Powell (1903-1969). Numa entrevista concedida ao *Jornal da Unicamp*, em 2001, Lattes deu uma explicação pragmática para sua exclusão. Disse que Powell tinha mais renome devido a seu trabalho sobre a produção de pósitrons e levou o Nobel de 1950 não só pela descoberta do méson, mas também por fotografar os núcleos atômicos.

Em tempo: na premiação do Nobel de 2008, o coro dos injustiçados não se restringiu aos colegas de Robert Gallo. Amigos do físico italiano Nicola Cabibbo reivindicaram sua participação inspiradora na pesquisa dos japoneses Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa, dois dos laureados com o Nobel de Física. E dois dos ganhadores do Nobel de Química, Roger Tsien e Martin Chalfie, declararam que não teriam feito seu trabalho sem a colaboração de Douglas Prasher. Foi ele quem clonou o gene da proteína fluorescente que rendeu o prêmio. Prasher, de 57 anos, vive numa cidade do estado do Alabama, trabalhando como motorista. Depressivo, desinteressou-se da vida acadêmica depois que o governo norte-americano lhe negou financiamento para estudar a proteína fluorescente. ■

PESQUISA FAPESP 153 • NOVEMBRO DE 2008 • 29



O CORO DOS EXCLUÍDOS

MARQUES, Fabrício. O coro dos excluídos. *Pesquisa FAPESP*. Ed. 153, pp. 28-29, nov. 2008. Disponível em: <revistapesquisa.fapesp.br/o-coro-dos-excluidos>. Acesso em: 14 abr. 2019.

Observação: Esta reprodução está de acordo com a política de republicação da revista em meios digitais (revistapesquisa.fapesp.br/republicacao/).

Material 6

► Orientações para elaboração do trabalho final sobre um caso científico



A atividade final consistirá na elaboração de um trabalho em duplas ou trios. Vocês escolherão um **caso científico** de interesse do grupo e farão uma análise crítica sobre como a ciência se constitui, considerando o fazer científico-tecnológico sob seus múltiplos aspectos e influências.

Esse trabalho deverá conter uma **análise escrita** (em uma página e não mais que duas) elaborada por vocês (proibido plágio) sobre o caso escolhido e em outra página do trabalho (apenas uma página) vocês apresentarão algo mais visual, como uma **esquematização das ideias** que apresentaram textualmente. Nesse momento, vocês poderão apresentar imagens, esquemas, citações, etc. Explore sua criatividade.

Necessário conter no trabalho as referências das fontes utilizadas no padrão da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT; fontes essas de artigos, livros, imagens, filmes, etc., dentro do texto/esquematizações e também ao final dele, de maneira mais completa.

Durante o processo de elaboração do trabalho, utilizem mais de uma fonte de consulta (as que julgarem confiáveis) sobre o caso estudado para fazer a análise, a fim de conhecer diferentes pontos de vista.

Entrega: __/__/____





3.2 EPISÓDIO DE ENSINO II

Os Prêmios Nobel de Marie Curie

Essa proposta envolve discussões sobre o período do desenvolvimento da radioatividade, tendo principalmente como base as sugestões realizadas por outros professores sobre as potencialidades do uso das Conferências Nobel no ensino (Cordeiro; Peduzzi, 2010).

Como ilustra o **Quadro 3**, o Episódio de Ensino II aborda no Primeiro Momento Pedagógico – Problematização Inicial discussões sobre quem seria a pessoa demonstrada por imagens (Etapa 1), sendo posteriormente reproduzido um vídeo-animação curto sobre Marie Curie e expostas algumas de suas fotografias (Etapa 2). Na sequência, para auxiliar na familiarização dos licenciandos com a história de Curie, realiza-se uma atividade em grupos envolvendo a construção esquemática da sua história em um cartaz a partir de palavras-chaves entregues aos grupos de alunos em envelopes, a fim de que discutam e demonstrem como acreditam que os termos se relacionam. Posteriormente, os cartazes com os esquemas elaborados são socializados em turma (Etapa 3). Tendo os licenciandos conhecido aspectos da história de Curie, é realizada a problematização sobre como os prêmios Nobel recebidos pela cientista refletem as mudanças ocorridas na Ciência e se relacionam com a História (Etapa 4).

No Segundo Momento Pedagógico – Organização do Conhecimento, os estudantes realizam a leitura individual do texto transcrito da Conferência Nobel de Marie Curie e destacam as principais ideias (Etapa 5). Posteriormente, os licenciandos são orientados quanto aos seminários que irão desenvolver e apresentar em equipes sobre a radioatividade, cada um deles sobre um dos temas:

Grupo I – Investigações de Becquerel;

Grupo II – Investigações dos Curie: Método elétrico e identificação de substâncias radioativas;

Grupo III – Investigações de Rutherford e Soddy;

Grupo IV – Investigações dos Curie: Isolamento e caracterização de substâncias radioativas;

Grupo V – Desdobramentos posteriores na Ciência e Tecnologia do século XX.

A questão norteadora que sustenta a proposta dos seminários é a seguinte: “De que forma cada um desses temas influenciou o desenvolvimento científico e pode se relacionar com a sociedade?”, em que os licenciandos elaboram e apresentam seus seminários temáticos considerando respostas à essa problemática (Etapa 6)³⁸.

Por fim, no Terceiro Momento Pedagógico – Aplicação do Conhecimento, um trabalho final em duplas envolvendo a criação de um pôster educacional é realizado extraclasse e posteriormente socializado de forma breve em turma. O objetivo é criar um material de apoio ao ensino envolvendo a temática da radioatividade considerando os futuros alunos do Ensino Médio dos licenciandos. Embora a temática ainda se trate de radioatividade, os futuros professores deverão considerar não apenas o recorte realizado em seus seminários, o que provavelmente dominarão conceitualmente, mas o assunto de modo geral e influências científico-tecnológicas na atualidade (Etapa 7).



³⁸ Sugere-se que seja feita uma reunião entre os grupos e o(a) professor(a) no período do desenvolvimento dos seminários, para que possa ser acompanhado o que os estudantes pretendem abordar e sugerir outros materiais de apoio além dos indicados, se necessário.

Quadro 3 – Episódio de Ensino II: Os Prêmios Nobel de Marie Curie

Momento Pedagógico	Etapa	Recurso empregado	Material para avaliação
1º Problematização inicial	1) Fotografia e perguntas iniciais à turma	Fotografia de Marie Curie e perguntas “Conhecem essa pessoa?” e “O que sabem sobre ela?”	Respostas orais e comentários dos licenciandos aos questionamentos
	2) Vídeo e fotografias	Vídeo-animação com entrega de cópia transcrita aos alunos e posteriores demonstrações de fotografias sobre Marie Curie	-
	3) Atividade em grupos/turma	Construção em grupos da história de Marie Curie a partir de palavras-chave e discussão posterior em turma	Produção esquemática dos licenciandos e discussão em turma
	4) Problematização	“De que forma os prêmios Nobel recebidos por Marie Curie refletem as mudanças ocorridas na Ciência e se relacionam com a História?”	Respostas orais e comentários dos licenciandos aos questionamentos
2º Organização do conhecimento	5) Leitura individual	Texto “Conferência Nobel de Marie Curie: Rádio e os novos conceitos da Química”	Principais ideias destacadas pelos licenciandos
	6) Seminários em equipes	Elaboração e apresentação de 5 seminários temáticos, sobre o período de investigações em radioatividade, com a questão norteadora central “De que forma cada um desses temas influenciou o desenvolvimento científico e pode se relacionar com a sociedade?”	Materiais apresentados na reunião com a professora durante o período de elaboração do trabalho, seminário elaborado, apresentação do grupo e discussões em turma
3º Aplicação do conhecimento	7) Trabalho final em duplas envolvendo a criação de um pôster educacional	Elaboração e socialização de um pôster sobre a radioatividade considerando os futuros alunos do Ensino Médio como público-alvo	Pôster elaborado pelas duplas e breve socialização oral

Fonte: A autora (2020)



MATERIAIS -----

EPISÓDIO DE ENSINO II



OS PRÊMIOS NOBEL DE MARIE CURIE

Observação: Ícones clicáveis ▶

Material 1 -----

- ▶ Slides “Episódio de Ensino II: Os Prêmios Nobel de Marie Curie”



Material 2 -----

- ▶ Vídeo “O gênio de Marie Curie” e sua transcrição



Material 3 -----

- ▶ Atividade sobre a história de Marie Curie



Material 4 -----

- ▶ Texto “Conferência Nobel de Marie Curie: Rádio e os novos conceitos da Química”



Material 5 -----

- ▶ Orientações para elaboração do seminário sobre radioatividade



Material 6 -----

- ▶ Textos de Marie Curie traduzidos como apoio aos seminários



A descoberta do rádio -----



O ônus da celebridade -----



Material 7 -----

- ▶ Orientações para elaboração do pôster sobre radioatividade



Material 1

► Slides “Episódio de Ensino II: Os Prêmios Nobel de Marie Curie”



Os Prêmios Nobel de Marie Curie

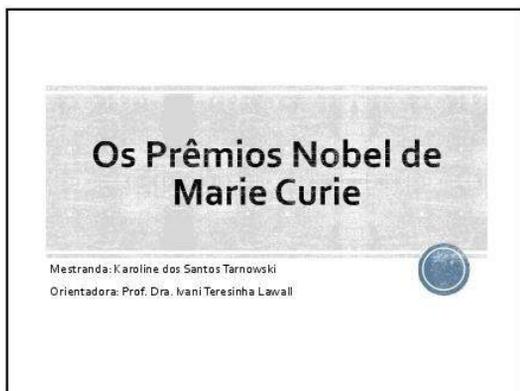
Mestranda: Karoline dos Santos Tarnowski
Orientadora: Prof. Dra. Ivani Teresinha Lawall



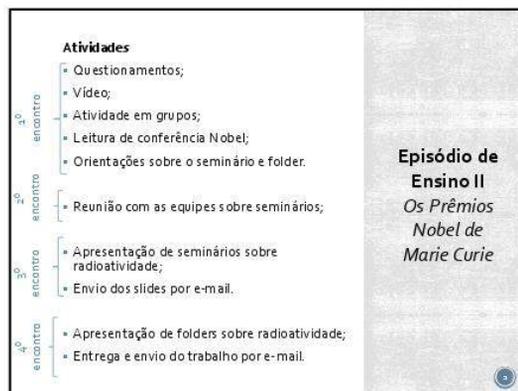
1º encontro	<p>Atividades</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Questionamentos; ▪ Vídeo; ▪ Atividade em grupos; ▪ Leitura de conferência Nobel; ▪ Orientações sobre o seminário e folder. 	<p>Episódio de Ensino II <i>Os Prêmios Nobel de Marie Curie</i></p> 
2º encontro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reunião com as equipes sobre seminários; 	
3º encontro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresentação de seminários sobre radioatividade; ▪ Envio dos slides por e-mail. 	
4º encontro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Apresentação de folders sobre radioatividade; ▪ Entrega e envio do trabalho por e-mail. 	



Para realizar o *download*, consultar quimicaempratica.com/produto-educacional



1



2



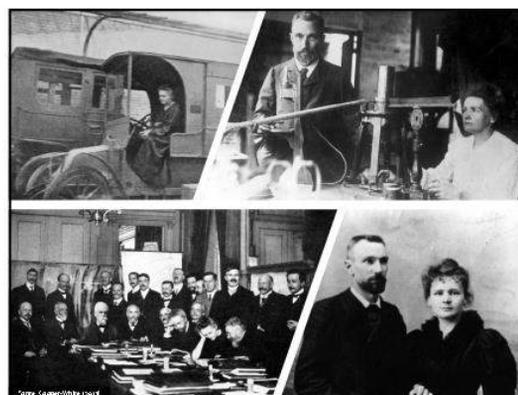
3



4



5



6

Atividade em turma: "Como essas palavras se relacionam à história de Marie Curie?" - 20'

- Em grupos: Elaborem no papel um esquema envolvendo as palavras-chave (podem ser adicionadas mais palavras, se necessário);
- Em turma: Discutiremos a história da cientista e os esquemas elaborados.

7

Para impressão

8

Prêmio Nobel em Física - 1903 Prêmio Nobel em Química - 1911

De que forma os prêmios Nobel recebidos por Marie Curie refletem as mudanças ocorridas na Ciência e se relacionam com a História?

9

Conferência Nobel de Marie Curie: Rádio e os novos conceitos da Química - 11 de dezembro de 1911 (CORDEIRO; PEDUZZI, 2010)

Leitura individual - 25'
Marcação de pontos importantes

Ir ao parágrafo 1 20 20 30 40

10

Seminário de História da Ciência

A partir da leitura da conferência Nobel de Marie Curie de 1911 podem ser selecionadas algumas temáticas, dentre elas:

- Investigações de Bequerel;
- Investigações dos Curie: Método elétrico e identificação de substâncias;
 - Investigações de Rutherford e Soddy;
 - Investigações dos Curie: Isolamento e caracterização de substâncias radioativas;
 - Desdobramentos posteriores na Ciência e Tecnologia do século XX.

Questão norteadora do seminário

De que forma cada um desses temas influenciou o desenvolvimento científico e pode se relacionar com a sociedade?

Se possível, durante a elaboração dos seminários conversem com outras equipes a fim de socializar materiais, facilitar a compreensão do período histórico e ver que pontos abordarão com profundidade.

52

Seminário de História da Ciência

Apresentações dos seminários: (data) (4º encontro)

- 15 minutos por equipe + 5 minutos de discussão;
- Todos precisam estar preparados em caso de falta de outras equipes ou dos próprios colegas do grupo;
- Envio dos slides nesta data por e-mail para a professora → (e-mail)

Avaliação por equipes:

- Adequação à temática;
- Domínio;
- Exploração do contexto histórico;
- Exploração da questão norteadora;
- Abordagem de diferentes referências;
- Discussão argumentada;
- Tempo de apresentação entre 12-15 min - divisão apropriada entre membros;

Faltas na apresentação - Justificativa comprovada (saúde):
Entrega impressa de produção textual própria e referenciada sobre a temática (5 a 10 páginas) na aula da semana seguinte à apresentação de sua equipe.

Faltas dos que assistem: Os alunos que deixarem de assistir a algum seminário precisarão pesquisar e entregar um texto manuscrito (A4, frente e verso) de sua própria autoria e com referências (proibido plágio) sobre a(s) temática(s) do(s) seminário(s) que não assistiu - Um texto (A4, frente e verso) por temática não assistida. Data para entrega desse(s) texto(s) - até (data)

53

Seminário de História da Ciência
Alguns pontos de reflexão para auxiliar a elaboração do seminário



Grupo I – Investigações de Becquerel;
Grupo II – Investigações dos Curie. Método elétrico e identificação de substâncias radioativas;
Grupo III – Investigações de Rutherford e Soddy; e
Grupo IV – Investigações dos Curie: Isolamento e caracterização de substâncias radioativas:

Início das pesquisas; interesse pelo objeto de estudo; experimentos; fatos esperados/inesperados; hipóteses; conclusões; limitações; influências; finalização das investigações; receptividade da comunidade científica; relações com o Prêmio Nobel; importância de sua contribuição para a ciência; dentre outros.

Grupo V – Desdobramentos posteriores na Ciência e Tecnologia do século XX.

Pesquisas decorrentes; relação com as investigações radioativas; sujeitos envolvidos no processo; experimentos; fatos esperados/inesperados; hipóteses; conclusões; limitações; influências; receptividade da comunidade científica; relações com o Prêmio Nobel; importância de sua contribuição para a ciência, sociedade; dentre outros.

54

Seminário de História da Ciência
Algumas sugestões de apoio aos seminários



Poderão utilizar como apoio aos seminários, por exemplo:

- Livros e artigos biográficos;
- Livros e artigos sobre História da Ciência;
- Dissertações de mestrado e teses de doutorado;
- Artigos de fontes primárias (disponíveis na internet);
- Acervo online de museus;
- Vídeos, filmes e documentários;
- Palestras e conferências Nobel;
- Dentre outros.

Agendamento para consulta de livros ou tirar dúvidas:
(telefone) / (e-mail) / (sala)

55

Sugestões

LIVROS



- CURIE, Marie. **Pierre Curie**. With autobiographical notes by Marie Curie. Mineola: Dover Publications, 1929. 118 p.
 - Chapter V: The discovery of radium (pp. 44–50) – Traduzido
 - Chapter VI: The burden of celebrity (pp. 51–66) – Traduzido
 - Autobiographical notes by Marie Curie – Chapter II (pp. 87–100)
- CURIE, Marie Skłodowska. **Recherches sur les substances radioactives**. 1903. 155 p. Tese (Docteur ès Sciences Physiques) – Faculté des sciences de Paris. Paris: Gauthier-Villars, 2ª ed., 1904. Disponível em: <<https://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/zb3o-291901n>>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- CURIE, Marie Skłodowska. **Traité de Radioactivité**. Tome I. Disponível em: <<https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/123/105/338-1>> e <<https://ia800209.us.archive.org/26/items/traitderadioacociuri/traitderadioacociuri.pdf>>. Tome II. Disponível em: <https://ia801806.us.archive.org/2/items/traitderadioactozpmad/traitderadioactozpmad_text.pdf> e <<https://ia800206.us.archive.org/2/items/traitderadioaoc2curi/traitderadioaoc2curi.pdf>>. Paris: Gauthier-Villars, 1910. Acesso em: 13 abr. 2019.

56

Sugestões

LIVROS



- HURWIC, Józef. **Marie Skłodowska-Curie et la radioactivité**. Warszawa: Gal, 2008. 138 p.
- MAIA, Raquel Gonçalves. **Marie Skłodowska Curie**. Imagens de outra face. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. 110 p.
- QUINN, Susan. **Marie Curie**. Uma vida. Tradução: Sonia Coutinho. 1ª ed. São Paulo: Sdpione Cultural, 1997. 526 p.
- Dentre outros...

FILMES & DOCUMENTÁRIOS

- **Madame Curie**. Direção: Mervyn Leroy. Produção: Sidney Franklin. Estados Unidos, 1943. Filme, (124 min).
- **Marie Curie, além do mito**. Direção: Michel Vuillemet. Produção: Géraldine Berger, Nathalie Huchette e Michel Vuillemet. Produtoras: ARTE France, Les Films d'un Jour, Institut Curie e CNRS Images. França, 2011. Documentário, (52 min). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dhQsLoQDYew>> (Áudio: Francês, Legenda: Português) ou <<https://vimeo.com/2868833>> (Áudio: Francês). Acesso em: 07 jul. 2019.
- **The Genius of Marie Curie – The Woman Who Lit up the World**. Direção: Gideon Bradshaw. Produção: Gideon Bradshaw. Produtora: BBC. Reino Unido, 2013. Documentário, (59 min). Disponível em: <<https://vimeo.com/13675487>> (Áudio: Inglês). Acesso em: 09 jul. 2019.

57

Sugestões

ARTIGOS



- CURIE, Marie Skłodowska. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 126, p. 1101-1103, 1898. Disponível em: <<https://archive.org/details/rayonsmisparleoo-cur/page/1100>>. Acesso em: 13 abr. 2019.
- CURIE, Pierre; CURIE, Marie. Sur une substance nouvelle radio-active, contenue dans la pechblende. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 127, p. 175-178, 1898. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20130723022119/http://www.academie-sciences.fr/activite/archive/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1898_p175_178.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.
- CURIE, Pierre; CURIE, Marie; BÉMONT, Gustave. **Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende**. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, v. 127, n. 3, p. 1215-1217, 1898. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20130722232602/http://www.academiesciences.fr/activite/archive/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1898_p1215_1217.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.

58

Sugestões

ARTIGOS



- MARTINS, Roberto de Andrade. As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2003. Disponível em: <http://www.sbh.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=21>. Acesso em: 19 set. 2018.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Como Becquerel não descobriu a Radioatividade. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. Florianópolis, 7 (Número Especial), p. 27-45, jun. 1990. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/viewFile/1006/14903>>. Acesso em: 10 set. 2018.
- Dentre outros diversos em historiografia da ciência...

59

Sugestões

CONFERÊNCIAS

- CURIE, Pierre. **Substâncias radioativas, especialmente o rádio**. Pierre Curie: Conferência Nobel. Prêmio Nobel de Física em 1903. 11 dez. 1911. Disponível traduzido por Marinês Cordeiro em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n3p473/A7170>>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- CURIE, Marie Skłodowska. **Rádio e os novos conceitos da Química**. Marie Curie: Conferência Nobel em Química de 1911. 11 dez. 1911. Disponível traduzido por Marinês Cordeiro em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n3p473/A7170>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

ACERVO DE MUSEUS

- Musée Curie**. Rua Pierre et Marie Curie, Paris, França. Site <[fr.muzeum-msc.pb](http://www.muzeum-msc.pb)>. Acesso em: 09 jul. 2019.
- Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie**. Rua Freta 16, Varsóvia, Polónia. Site <<http://www.mmsc.waw.pl/>>. Acesso em: 09 jul. 2019.

60

Trabalho em duplas
Fôlder temático sobre radioatividade



Foto: Think Stock

61

Trabalho final: fôlder temático sobre radioatividade

Orientações e objetivos

- Elaborar um fôlder sobre radioatividade**
 - Em duplas: Coliga diferente do grupo do trabalho de seminário;
 - Materia: É a borção digital ou manual, folha de tamanho A3, dobra que preferirem;
 - Público-alvo: Seus futuros alunos do Ensino Médio;
 - Entrega: Cópia física e digital por e-mail (data) (email)
 - Apresentação: Breve socialização oral de um dos autores com projeção do arquivo e passagem do fôlder na turma (até 3 minutos).
- Abordagens mínimas necessárias no fôlder**
(Não necessariamente nessa ordem/tópicos)
 - Histórico inicial sobre indícios do fenômeno;
 - Primeiras investigações na área;
 - Influências em outras pesquisas;
 - Conceitos e/ou teorias científicas envolvidas;
 - Desenvolvimento tecnológico atual;
 - Benefícios e malefícios;
 - Reflexões sobre o desenvolvimento científico-tecnológico;
 - Imagens ilustrativas;
 - Referências conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Usar a criatividade ❤️



Foto: Think Stock

62

Referências

BIBLIOTECA DIGITAL MUNDIAL. Marie Curie. Fotografia de Frank Henri Jullien, 43,6 x 44,3 cm. 2017. Disponível em: <<https://content.wolfdi.org/11599/thumbnail/11120877534/6a695a0.jpg>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA - IV REGIÃO. Marie Curie no Brasil. Química Viva. 2016. Disponível em: <https://www.crq.org.br/quimicaviva_mariecurie_basil>. Acesso em: 06 nov. 2019.

COOPER-WHITE, Macrina. Marie Curie Mixed Science and Sex, And 9 Other Surprising Facts About Famous Chemt. Science, The Huffington Post, 2017. Disponível em: <http://www.huffpostnasil.com/2013/11/07/marie-curie-facts_1_2015273.html?hpid=hp>. Acesso em: 06 nov. 2019.

CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. AS Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 27, n. 3, p. 472-514, dez. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/5175-7941.2010v27n3p472/A7170>>. Acesso em: 30 set. 2019.

GHOSE, Shohini. O gênio de Marie Curie. TED-Ed, Youtube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6JFR1oQM_5c>. Acesso em: 30 set. 2019.

NOBEL PRIZE. Marie Curie Biographical. Nobel Media, 2019. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/biographical/>>. Acesso em: 06 nov. 2019.

PRINTI. Tudo que você precisa saber sobre as dobras do folder. Printi Blog, 29 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.printi.com.br/blog/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-as-dobras-do-folder/>>. Acesso em: 11 out. 2019.

63

Material 2

► Vídeo “O gênio de Marie Curie” e sua transcrição



O GÊNIO DE MARIE CURIE

GHOSE, Shohini. O gênio de Marie Curie. TED-Ed, Youtube. 2017. Disponível em: <[youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s](https://www.youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s)> (Selecionar legenda em português). Acesso em: 10 set. 2019.



[00:00] Se quisesse dar apenas uma olhadinha nos manuscritos de Marie Curie, você teria que assinar um termo de compromisso e vestir roupa de proteção contra contaminação por radiação. Os restos mortais de Marie Curie estão guardados num caixão de chumbo, mantendo a radiação, que foi a essência de sua pesquisa e provavelmente a causa de sua morte, bem isolada.

[00:27] Crescendo em Varsóvia, durante a ocupação da Polônia pela Rússia, a jovem Marie, cujo nome era Maria Skłodowska, era uma estudante brilhante que teve que enfrentar muitos obstáculos. Como mulher, ela foi impedida de prosseguir num curso superior então, num ato de rebeldia, Marie se inscreveu numa universidade itinerante, uma instituição secreta que oferecia educação clandestina à juventude polonesa. Economizando e trabalhando como professora e tutora, ela se mudou para Paris para estudar na renomada Sorbonne.

[01:01] Marie então se graduou em Física e Matemática, sobrevivendo basicamente de chá e pão, sendo que, às vezes, desmaiava de fome. Em Paris, Marie conheceu o físico Pierre Curie, que dividiu o seu

laboratório e seu coração com ela. Mas ela queria muito voltar à Polônia. De volta a Varsóvia, ela percebeu que, conseguir uma posição acadêmica, continuava sendo muito difícil. Nem tudo estava perdido. De volta a Paris, Pierre ainda esperava por ela, eles se casaram e se tornaram uma fantástica equipe científica.

[01:31] Os trabalhos de outros físicos despertaram o interesse de Marie. Em 1896, Henri Becquerel descobriu que o urânio emitia espontaneamente uma radiação misteriosa semelhante ao raio X, que queimava filme fotográfico. Logo ela descobriu que o tório emitia uma radiação parecida. E o mais importante, a força da radiação dependia unicamente da quantidade da substância e não era afetada por alterações físicas ou químicas. Isso a levou a concluir que a radiação provinha de alguma coisa fundamental de dentro do átomo de cada elemento. Era uma ideia radical que ajudou a contestar o modelo de longa data dos átomos como objetos indivisíveis. Em seguida, pesquisando um minério super radioativo chamado pechblenda, os Curies perceberam que o urânio sozinho não poderia criar toda aquela radiação. Haveria outros elementos radioativos que seriam responsáveis? Em 1898, eles anunciaram dois novos elementos: polônio, em homenagem à Polônia, e rádio, a palavra latina para raio. Eles também inventaram o termo radioatividade.

[02:43] Em 1902, os Curies extraíram um décimo de grama de sal de cloreto de rádio de diversas toneladas de pechblenda, um feito incrível naquela época. Depois, naquele ano, Pierre Curie e Henri Becquerel foram indicados ao prêmio Nobel de Física, mas Marie não foi. Pierre solicitou que houvesse o reconhecimento de sua esposa também. E ambos os Curies e Becquerel dividiram o prêmio Nobel de 1903 transformando Marie Curie a primeira mulher a ganhar o Nobel.

[03:16] Recebendo financiamentos e muito respeitados, os Curies estavam com sorte. Mas a tragédia veio em 1906 quando Pierre foi atropelado por uma carruagem, quando atravessava um cruzamento movimentado. Marie, desolada, mergulhou em suas pesquisas e assumiu o lugar de Pierre na Sorbonne, tornando-se a primeira professora da universidade. Seu trabalho solitário foi prolífico. Em 1911 ela ganhou outro Nobel, desta vez em Química, pela sua descoberta anterior de rádio e polônio e pela extração e análise de rádio puro e seus componentes. Com isso, ela foi a primeira e é até hoje a única pessoa a ganhar o Nobel duas vezes em dois campos diferentes da ciência.

[03:56] Curie colocou suas descobertas em campo mudando para

sempre o panorama da pesquisa e do tratamento médico. Criou unidades radiológicas móveis na Primeira Guerra Mundial e investigou os efeitos da radiação em tumores. No entanto, esses benefícios à humanidade cobraram dela um alto preço pessoal. Curie morreu em 1934 de uma doença da medula óssea, que se acredita tenha sido causada pela exposição à radiação. As pesquisas revolucionárias de Marie Curie lançaram as bases para a nossa compreensão da Física e da Química, abrindo caminhos na Oncologia, Tecnologia, Medicina e Física Nuclear, para citar apenas alguns. Para o bem ou o para o mal, suas descobertas iniciaram uma nova era, revelando alguns dos maiores segredos da ciência.

Material 3

► Atividade sobre a história de Marie Curie



Instruções aos alunos:

Como essas palavras se relacionam à história de Marie Curie?

Em grupos: Elaborem no cartaz entregue um esquema envolvendo as palavras-chave recebidas (podem ser adicionadas mais palavras, se necessário);

Em turma: Discutiremos a história da cientista e os esquemas elaborados.



Observações a(o) professor(a):

Caso não disponha de cartazes, eles podem ser elaborados a partir de colagem de duas folhas A3, quatro folhas A4 ou papel *craft*.

Na página seguinte (e no *slide* 8 oculto do Material 1) encontram-se as palavras em destaque para impressão. Se possível, sugere-se que o(a) professor(a) imprima em folha A3 (ou A4 configurado em impressão “pôster”) para ampliar visualização dos termos na colagem em cartaz e posterior discussão em turma. Caso não tenha como imprimir, esses termos podem ser copiadas pelos alunos do quadro. Porém, acredito que o recebimento das palavras em um *kit* em envelope para manuseio, colagem e estabelecimento de relações próprias dos licenciandos torne a atividade diferenciada.

Física

professora

chumbo

Rússia

França

polônio

radioatividade

saúde

Henri Becquerel

rádio

Química

tório

Maria Skłodowska

Prêmio Nobel

Marie Curie

Polônia

urânio

pechblenda

radiação

Sorbonne

raio-X

Pierre Curie

Material 4

► Texto “Conferência Nobel de Marie Curie: Rádío e os novos conceitos da Química”



i TEXTO DA CONFERÊNCIA

CURIE, Marie. **Radium and the New Concepts in Chemistry**. Marie Curie: Nobel Lecture. Nobel Prize. December 11, 1911. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/marie-curie/lecture>. Acesso em: 06 out. 2018.

Tradução para o português aqui apresentada extraída de:
CORDEIRO, Marinês Domingues; PEDUZZI, Luiz Orlando de Quadro. As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 473-514, dez. 2010. Disponível em: <periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n3p473/17170>. Acesso em: 10 set. 2018.

Cerca de 15 anos atrás, a radiação do urânio foi descoberta por Henri Becquerel. Dois anos depois, o estudo desse fenômeno foi estendido a outras substâncias, primeiramente por mim e depois por mim e Pierre Curie. Esse estudo rapidamente nos levou à descoberta de novos elementos, cujas radiações, apesar de análogas às do urânio, eram muito mais intensas. Chamei todos os elementos que emitiam tal radiação de radioativos e a nova propriedade da matéria revelada nessa emissão recebeu então o nome radioatividade. Graças à descoberta das novas e muito poderosas substâncias radioativas, particularmente o rádio, o estudo da radioatividade progrediu com maravilhosa rapidez: às descobertas seguiram-se outras descobertas numa rápida sucessão e ficou óbvio que uma nova ciência estava em desenvolvimento. A Academia Sueca de Ciências foi bastante gentil em celebrar o nascimento dessa ciência, oferecendo o Prêmio Nobel de Física aos primeiros trabalhadores no campo: Henri Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie (1903).

Daquele momento em diante, numerosos cientistas devotaram-se ao estudo da radioatividade. Permitam-me lembrá-los de um deles, que, pela certeza de seu julgamento, pela audácia de sua hipótese e através de muitas investigações feitas por ele e seus pupilos, obteve sucesso não apenas em expandir nosso conhecimento, mas também em classificá-lo com grande clareza; ele proveu a espinha dorsal da nova ciência, na forma de uma teoria muito precisa, que admiravelmente se

encaixava nos estudos dos fenômenos. Fico feliz em lembrar que Rutherford veio a Estocolmo em 1908 para receber o Prêmio Nobel, reconhecimento bem merecido por seu trabalho.

Longe do fim, o desenvolvimento da nova ciência tem seguido em frente constantemente. E agora, apenas 15 anos após a descoberta de Becquerel, estamos frente a frente com um mundo inteiro de novos fenômenos pertencentes a um campo que, apesar de sua próxima ligação com os campos da Física e da Química, é particularmente bem definido. Nesse campo, a importância do rádio do ponto de vista das teorias gerais foi decisivo. A história da descoberta e do isolamento dessa substância forneceu provas de minha hipótese de que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria e pode prover meios de busca por novos elementos. Essa hipótese nos trouxe às teorias atuais da radioatividade, segundo as quais podemos prever com certeza a existência de cerca de 30 novos elementos que não poderíamos usualmente isolar ou caracterizar por métodos químicos. Também assumimos que esses elementos passam por transformações atômicas e a prova mais direta em favor dessa teoria é dada pelo fato experimental, que é a formação do elemento quimicamente definido hélio pelo elemento quimicamente definido rádio.

Vendo o assunto desse ângulo, pode-se dizer que a tarefa de isolar o rádio é a pedra fundamental do edifício da ciência da radioatividade. Mais ainda, o rádio permanece sendo a mais útil e poderosa ferramenta nos laboratórios de radioatividade. Acredito que é por essas considerações que a Academia Sueca de Ciências me dá a grande honra de me laurear com o Prêmio Nobel de Química deste ano.

É, portanto, minha tarefa apresentar-lhes o rádio em particular como um novo elemento e deixar de lado a descrição de vários fenômenos radioativos que já foram descritos nas Conferências Nobel de H. Becquerel, P. Curie e E. Rutherford.

Antes de dar início ao conteúdo desta conferência, eu gostaria de lembrar que as descobertas do rádio e do polônio foram feitas por Pierre Curie em colaboração comigo. Também se deve a Pierre Curie a pesquisa básica no campo da radioatividade, que foi feita tanto por ele sozinho, quanto em colaboração com seus pupilos.

O trabalho químico necessário para isolar o rádio no estado de puro sal e de caracterizá-lo como um novo elemento foi feito por mim

especialmente, mas está intimamente ligado ao nosso trabalho em comum. Por isso, sinto que interpreto corretamente a intenção da Academia de Ciências ao assumir que o prêmio de tal distinção a mim é motivado por nosso trabalho em comum e, então, presta homenagem à memória de Pierre Curie.

Deixem-me lembrá-los, inicialmente, que uma das mais importantes propriedades dos elementos radioativos é a ionização do ar em suas vizinhanças (Becquerel). Quando um composto de urânio é colocado numa placa metálica A, oposta a outra placa B e a diferença de potencial é mantida entre as placas A e B, uma corrente elétrica passa entre essas placas; essa corrente pode ser mensurada com precisão sob condições pertinentes e servirá para medir a atividade das substâncias. A condutividade passada para o ar pode ser atribuída à ionização produzida pelos raios emitidos pelos compostos de urânio.

Em 1897, usando esse método de medida, eu comecei um estudo da radiação dos compostos de urânio e logo estendi esse estudo a outras substâncias, com o objetivo de descobrir se a radiação desse tipo ocorre em outros elementos. Encontrei, dessa maneira, que, dos outros elementos conhecidos, apenas os compostos de tório comportam-se como os compostos de urânio.

Fui golpeada pelo fato de que a atividade do urânio e do tório parecia ser uma propriedade atômica desses elementos. Compostos químicos e misturas contendo urânio e tório são ativas em proporção direta à quantidade desses metais neles presentes. A atividade não era destruída por mudanças de estado físico ou transformações químicas.

Medi a atividade de um número de minerais; todos os que pareciam radioativos sempre continham urânio ou tório. Mas um fato inesperado foi notado: certos minerais (pechblenda, calcolita, autunita) tinham atividades maiores que as esperadas, baseando-se nos conteúdos de urânio e tório. Assim, certas pechblendas que continham 75% de óxido de urânio eram cerca de quatro vezes mais radioativas que este óxido. A calcolita (fosfato de cobre e urânio cristalizado) é cerca de duas vezes mais radioativa que o urânio. Isso conflitava com a ideia de que nenhum mineral deveria ser mais radioativo do que o urânio metálico. Para explicar esses fatos, preparei calcolita sintética a partir de produtos puros e obtive cristais cujas atividades eram completamente consistentes com seus conteúdos de urânio; essa atividade era de cerca da metade da do urânio.

Então, pensei que a grande atividade do mineral natural poderia ser determinada pela presença de uma pequena quantidade de um material altamente radioativo, diferente do urânio, do tório e dos elementos conhecidos até então. Também me ocorreu o fato de que, se assim fosse, eu poderia extrair tais substâncias do mineral por métodos de análise química ordinários. Pierre Curie e eu logo começamos essa pesquisa, esperando que a proporção do novo elemento alcançasse alguma porcentagem considerável. Na realidade, a proporção do elemento hipotético era muito menor e levou vários anos para mostrarmos sem erros que a pechblenda contém ao menos um material altamente radioativo, que é um novo elemento no sentido que a Química define.

Fomos então levados a criar um novo método de busca por novos elementos, um método que se baseia na consideração de que a radioatividade é uma propriedade atômica da matéria. Cada separação química era seguida pela medida da atividade dos produtos obtidos, sendo, dessa maneira, possível determinar como a substância ativa se comportava do ponto de vista químico. Esse método tornou-se aplicação geral, e, num certo sentido, é similar à análise espectral. Por causa da vasta variedade de radiações emitidas, o método pôde ser aperfeiçoado e estendido, tornando possível não apenas a descoberta de materiais radioativos, mas também a distinção um do outro, com precisão.

Constatamos também que, ao usar o método descrito, era possível concentrar a atividade por métodos químicos. Descobrimos que a pechblenda contém ao menos dois materiais radioativos, um dos quais, acompanhando o bismuto, recebeu o nome de polônio enquanto o outro, par do bário, foi chamado de rádio.

Outros elementos radioativos foram descobertos desde então: actínio (Debierne), radiotório e mesotório (Hahn), iônio (Boltwood), etc.

Estávamos convencidos de que os materiais que descobríamos eram novos elementos químicos. Essa convicção baseava-se somente na natureza atômica da radioatividade. Mas, no início, do ponto de vista químico, era como se nossas substâncias fossem puro bismuto e puro bário. Era vital mostrar que a propriedade radioativa estava ligada a traços de elementos que não eram nem o bismuto, nem o bário. Para fazê-lo, os elementos hipotéticos deveriam ser isolados. No caso do rádio, o isolamento foi completamente bem sucedido, mas demandou vários anos de grandes esforços. O rádio na forma de puro sal é uma

substância cuja manufaturação é atualmente industrializada; nenhuma outra substância radioativa permitiu a obtenção de resultado tão positivo.

Os minerais radíferos são alvo de muitos estudos, pois a presença do rádio lhes confere um grande valor. Eles são identificáveis seja pelo método eletromagnético ou muito simplesmente pela impressão que produzem em chapas fotográficas. O melhor mineral de rádio é a pechblenda de St. Joachimsthal (Áustria), que por muito tempo foi processada para a obtenção de sais de urânio. Após a extração deste último, o mineral deixa um resíduo que contém rádio e polônio. Nós normalmente usamos esse resíduo como nossa matéria-prima.

O primeiro tratamento consiste na extração do bário radífero e do bismuto que contém o polônio. Esse tratamento, que foi feito pela primeira vez em laboratório com vários quilos de matéria-prima (cerca de 20 kg), teve de ser realizado numa fábrica, devido à necessidade de processamento de milhares de quilogramas. Na verdade, nós aprendemos gradativamente com a experiência que o rádio está na matéria-prima na proporção de alguns poucos decigramas por tonelada. Cerca de 10 a 20 kg de puro sulfato de bário contendo rádio são extraídos de uma tonelada de resíduo. A atividade desses sulfatos é, mesmo assim, de 30 a 60 vezes maior que a do urânio. Esses sulfatos são purificados e convertidos em cloretos. Na mistura de cloretos de bário e rádio, o rádio está presente apenas na proporção de cerca de três partes por cem mil. Na indústria do rádio na França, um mineral muito menos rico é usado mais frequentemente e a proporção indicada é ainda muito menor. Para separar o rádio do bário, utilizei o método de cristalização fracionada do cloreto (o brometo também pode ser usado). O sal de rádio, menos solúvel que o sal de bário, concentra-se em cristais. A fracionamento é uma operação longa e metódica, que elimina gradualmente o bário. Para obter um sal muito puro, tive de repetir a cristalização milhares de vezes. O progresso da fracionamento é monitorado pelas medidas de atividade.

Uma primeira prova de que o elemento rádio existia foi fornecida pela análise espectral. O espectro de um cloreto enriquecido por cristalização exibiu uma nova linha que Demarçay atribuiu ao novo elemento. Conforme a atividade tornava-se mais concentrada, a nova linha aumentava em intensidade e outras linhas apareciam enquanto o espectro do bário tornava-se cada vez menos visível.

Determinei repetidamente a massa atômica média do metal no sal submetido à análise espectral. O método utilizado consistia em determinar o conteúdo de cloro na forma de cloreto de prata numa quantidade conhecida do cloreto anidro. Notei que esse método oferece resultados muito bons, mesmo para quantidades tão pequenas de substâncias (0,1 a 0,5g), havendo uma balança muito rápida para evitar a absorção de água pelo sal alcalino-terroso durante as pesagens. A massa atômica aumenta com o enriquecimento do rádio, como indicado pelo espectro. As massas atômicas sucessivamente obtidas foram: 138; 146; 174; 225; 226,45. Esse último valor foi determinado em 1907 com 0,4g de sal de rádio muito puro. Os resultados de um número de determinações são 226,62; 226,31; 226,42. Estes foram confirmados por experimentos mais recentes.

A preparação de puros sais de rádio e a determinação da massa atômica do rádio provou positivamente que o rádio é um novo elemento e possibilitou que uma posição definitiva lhe fosse dada. O rádio é o mais alto homólogo do bário na família dos metais alcalinos terrosos; entrou na tabela de Mendeleev na coluna correspondente, na linha que contém o urânio e o tório. O espectro do rádio é conhecido precisamente. Esses resultados tão exatos para o rádio convenceram os químicos e justificaram o estabelecimento da nova ciência dos elementos radioativos.

Quimicamente, o rádio pouco difere do bário; os sais desses dois elementos são isomórficos, enquanto os de rádio são menos solúveis que os de bário. É bastante interessante observar que a forte radioatividade do rádio não envolve anomalias químicas e que as propriedades químicas são realmente correspondentes à posição no Sistema Periódico indicada por sua massa atômica. A radioatividade do rádio em sais sólidos é cerca de cinco milhões de vezes maior que a do mesmo peso de urânio. Devido a essa atividade, seus sais são espontaneamente luminosos. Gostaria também de lembrar que o rádio libera energia continuamente, medida como calor, em torno de 118 calorias por grama de rádio, por hora.

O rádio foi isolado no estado metálico (M. Curie e A. Debierne, 1910). O método usado consiste na destilação em hidrogênio muito puro do amálgama do rádio formado pela eletrólise de uma solução clorada usando um cátodo de mercúrio. Apenas um decigrama de sal foi tratado e conseqüentemente houve dificuldades consideráveis. O metal obtido

derrete a 700 °C, e acima de tal temperatura começa a volatilizar. É muito instável no ar e decompõe a água vigorosamente.

As propriedades radioativas do metal são exatamente aquelas que podem ser previstas, assumindo-se que a radioatividade dos sais é uma propriedade atômica do rádio, cujo estado de combinação não afeta. Era de real importância corroborar esse ponto conforme dúvidas eram levantadas por aqueles que ainda não aceitavam a hipótese atômica da radioatividade.

Apesar de o rádio ter sido obtido até agora em quantidades muito reduzidas, é lícito afirmar, concluindo, que é um elemento químico perfeitamente definido e já bem estudado. Infelizmente, o mesmo não se estende ao polônio, para o qual esforços consideráveis já foram despendidos. O grande obstáculo nesse caso é o fato de que a proporção de polônio no mineral é cerca de cinco mil vezes menor que a de rádio.

Antes que evidências teóricas estivessem disponíveis para se prever essa proporção, conduzi várias operações extremamente laboriosas para concentrar polônio e, dessa maneira, consegui produtos com atividades muito altas sem, no entanto, chegar a resultados definitivos, como no caso do rádio. A dificuldade aumenta com o fato de que o polônio desintegra-se espontaneamente, desaparecendo pela metade num período de 140 dias. Agora sabemos que o rádio também não tem uma vida infinita, mas a taxa de desaparecimento é muito menor (ele diminui pela metade em 2000 anos). Com nossas possibilidades, mal podemos esperar determinar a massa atômica do polônio, pois a teoria prevê que um mineral rico pode conter apenas alguns poucos centésimos de miligrama por tonelada, mas podemos esperar observar seu espectro. A operação de concentração de polônio, como mostrarei mais tarde, é, ainda assim, um problema de grande interesse teórico.

Recentemente, em colaboração com Debierne, comecei a tratar várias toneladas de resíduos de mineral de urânio com o objetivo de preparar polônio. Inicialmente conduzido numa fábrica, e depois no laboratório, esse tratamento finalmente trouxe uns poucos miligramas de uma substância cerca de 50 vezes mais ativa que o mesmo peso de puro rádio. No espectro da substância, algumas novas linhas podiam ser observadas que pareciam atribuíveis ao polônio e das quais a mais importante tem o comprimento de onda de 4170,5 Å. De acordo com a

hipótese atômica da radioatividade, o espectro do polônio deveria desaparecer ao mesmo tempo em que sua atividade, e esse fato pode ser confirmado experimentalmente.

Eu considerei até agora o rádio e o polônio apenas como substâncias químicas. Mostrei como a hipótese fundamental, que diz que a radioatividade é uma propriedade atômica da substância, nos levou à descoberta de novos elementos químicos. A partir de agora, descreverei como o escopo dessa hipótese aumentou consideravelmente com as considerações e os fatos experimentais que resultaram no estabelecimento da teoria atômica das transformações radioativas.

O ponto inicial dessa teoria deve ser procurado nas considerações sobre a fonte da energia envolvida nos fenômenos radioativos. Essa energia se manifesta como uma emissão de raios que produzem fenômenos térmicos, elétricos e óticos. Como a emissão ocorre espontaneamente, sem qualquer causa de excitação, várias hipóteses foram admitidas para explicar a liberação de energia. Uma das hipóteses lançadas no começo de nossa pesquisa, por mim e Pierre Curie, consistia em assumir que a radiação fosse uma emissão de matéria acompanhada de uma perda na massa da substância ativa e que a energia fosse retirada da própria substância, cuja evolução ainda não estaria completa e que passa por uma transformação atômica. Essa hipótese, que primeiramente poderia apenas ser enunciada juntamente com outras teorias igualmente válidas, teve importância dominante e finalmente se assentou em nossas mentes graças ao corpo de evidências experimentais que a substanciavam. Essas evidências tratam-se essencialmente do seguinte: existe uma série de fenômenos radioativos na qual a radioatividade parece estar fortemente atrelada à matéria em quantidade imponderável; a radiação não é permanente, desaparecendo mais ou menos rapidamente com o tempo. O polônio, as emanações radioativas e os depósitos de radioatividade induzida são exemplos.

Ficou estabelecido ainda que, em certos casos, a radioatividade observada aumenta com o tempo. Isso acontece com o rádio recém-preparado, com a emanação recém-introduzida no aparato de medição, com o tório privado de tório-X, etc.

Um estudo cuidadoso desses fenômenos mostrou que uma explicação geral bastante satisfatória pode ser dada ao assumir que, cada vez que se observa uma diminuição da radioatividade, há uma destruição de matéria radioativa e que, cada vez que se observa um

aumento da atividade, há uma produção de matéria radioativa. As radiações que desaparecem e aparecem são, além disso, de uma natureza muito variada e admite-se que cada tipo de raio determinado pode servir para caracterizar uma substância que seja sua fonte e aparece e desaparece com ele.

Como a radioatividade é ainda uma propriedade essencialmente atômica, a produção ou a destruição de um tipo distinto de radioatividade corresponde a uma destruição ou produção de átomos de uma substância radioativa.

Finalmente, supondo-se que a energia radioativa seja um fenômeno que deriva de transformação atômica, pode-se deduzir que toda substância radioativa passa por uma transformação, mesmo nos parecendo invariável. A transformação, nesse caso, é apenas lenta demais, sendo esse o caso do rádio ou do urânio.

A teoria que acabei de resumir é o trabalho de Rutherford e Soddy, que eles chamaram de teoria da desintegração atômica. Aplicando essa teoria, pode-se concluir que uma substância radioativa primária como o rádio passa por uma série de transmutações atômicas pelas quais o átomo de rádio dá origem a uma série de átomos de massas cada vez menores, já que um estado estável não pode ser atingido enquanto o átomo formado for radioativo. A estabilidade só pode ser alcançada por matéria inativa.

Desse ponto de vista, um dos triunfos mais brilhantes da teoria é a predição de que o gás hélio, sempre presente em minerais radioativos, pode representar um dos produtos finais da evolução do rádio e que é na forma de raios α que os átomos de hélio, que são formados quando os átomos de rádio se desintegram, são descarregados. Agora, a produção de hélio pelo rádio foi provada pelos experimentos de Ramsay e Soddy, e não se pode mais contestar que o elemento químico perfeitamente definido rádio permite a formação de outro elemento químico bem definido – o hélio. Mais ainda, as investigações feitas por Rutherford e seus estudantes provaram que as partículas α emitidas pelo rádio com uma carga elétrica podem também ser encontradas na forma de gás hélio no lugar de onde foram retiradas.

Devo frisar aqui que a arrojada interpretação da relação existente entre rádio e hélio se apoia inteiramente na certeza de que o

rádio tem todas as características de um elemento químico, como têm todos os outros elementos conhecidos, e que não pode haver dúvidas quanto à possibilidade de ser uma combinação molecular do hélio com outro elemento. Isso mostra o quão fundamental nessas circunstâncias tem sido o trabalho feito para provar a individualidade química do rádio e isso também pode ser visto na maneira como a hipótese da natureza atômica da radioatividade e a teoria das transformações radioativas nos levaram a descobertas experimentais de um primeiro exemplo claramente estabelecido de transmutação atômica. Esse é um fato de significância que não escapa a ninguém e que, incontestavelmente, marca uma época no ponto de vista da Química.

Trabalhos consideráveis, guiados pela teoria das transformações radioativas, levaram a aproximadamente 30 novos elementos radioativos, classificados em quatro séries, de acordo com a substância primária: estas são as séries de urânio, rádio, tório e actínio. As séries de urânio e rádio, na realidade, podem ser combinadas, pois parece estar provado que o rádio é um derivado do urânio. Na série de rádio, o último corpo radioativo conhecido é o polônio, cuja produção pelo rádio é atualmente fato provado. É possível que a série de actínio esteja ligada à de rádio.

Mostramos que o gás hélio é um dos produtos da desintegração do rádio. Os átomos de hélio soltam-se dos átomos de rádio e seus derivados durante a transformação. Supõe-se que, após a partida de quatro átomos de hélio, o átomo de rádio produz um átomo de polônio; a partida de um quinto átomo de hélio determina a formação de um corpo inativo, cuja massa atômica acredita-se ser igual a 206 (20 unidades abaixo da do rádio). Segundo Rutherford, esse último elemento é nada mais nada menos que o chumbo, e essa suposição tem sido alvo de verificação experimental em meu laboratório. A produção de hélio a partir de polônio foi provada diretamente por Debierne.

A quantidade relativamente grande de polônio preparado por Curie e Debierne permitiu que um importante estudo fosse feito. Ele consistiu na contagem de grandes números de partículas- α emitidas pelo polônio e na coleta e na medição do volume correspondente de hélio. Como cada partícula é um átomo de hélio, o número de átomos de hélio é então encontrado ocupando certo volume e tendo certa massa. Assim, conseguimos deduzir, em linhas gerais, o número de moléculas em uma molécula-grama. Esse número, conhecido como constante de

Avogadro, é de grande importância. Experimentos conduzidos com polônio levaram a um primeiro valor dessa constante, que está de acordo com os valores obtidos por outros métodos. A enumeração de partículas α é feita por um método eletromagnético devido a Rutherford; esse método foi aperfeiçoado com um aparato de gravação fotográfica.

Investigações recentes mostraram que o potássio e o rubídio emitem uma radiação bastante fraca, similar à radiação beta do urânio e do rádio. Ainda não sabemos se devemos considerar radioativas essas substâncias, ou seja, que estejam em processo de transformação.

Para concluir, gostaria de enfatizar a natureza da nova química de substâncias radioativas. Toneladas de material têm de ser tratadas para que se extraia rádio do mineral. As quantidades de rádio disponíveis num laboratório são da ordem de um miligrama ou de um grama no máximo, valendo essa substância 400.000 francos por grama. Frequentemente, materiais foram manuseados e a presença de rádio neles não pode ser detectada pela balança ou mesmo pelo espectroscópio. E mesmo assim, temos métodos de medição tão perfeitos e sensíveis que conseguimos conhecer com bastante precisão as pequenas quantidades de rádio que estamos usando. A análise radioativa por métodos eletrométricos nos permite calcular com erro de 1% um milésimo de um miligrama de rádio e detectar a presença de 10-10 gramas de rádio diluídos em alguns poucos gramas de material. Esse método é o único que poderia nos levar à descoberta do rádio, haja vista a diluição dessa substância no minério. A sensibilidade dos métodos é ainda mais forte no caso da emanção do rádio, que pode ser detectada quando a quantidade presente chega, por exemplo, a apenas 10-10 mm³. Como a atividade específica de uma substância, no caso de radiações análogas, está aproximadamente na proporção inversa da vida média, resulta que, se a vida média for muito curta, a reação radioativa pode ter sensibilidade sem precedentes. Também estamos acostumados, atualmente, a lidar em laboratório com substâncias cujas presenças apenas nos são mostradas por suas propriedades radioativas, mas que, mesmo assim, podemos determinar, dissolver, reprecipitar de suas soluções e depositar eletroliticamente. Isso significa que nós temos aqui um tipo completamente distinto de química, para a qual a ferramenta mais utilizada é o eletrômetro e não a balança, e que podemos chamar de química do imponderável.

Material 5

► Orientações para elaboração do seminário sobre radioatividade



SEMINÁRIO

A partir da leitura da conferência Nobel de Marie Curie de 1911 podem ser selecionadas algumas temáticas, dentre elas:

- i. Investigações de Becquerel;
- ii. Investigações dos Curie: Método elétrico e identificação de substâncias;
- iii. Investigações de Rutherford e Soddy;
- iv. Investigações dos Curie: Isolamento e caracterização de substâncias radioativas;
- v. Desdobramentos posteriores na Ciência e Tecnologia do século XX.

Questão norteadora do seminário

“De que forma cada um desses temas influenciou o desenvolvimento científico e pode se relacionar com a sociedade?”

Sugestão: Se possível, durante a elaboração dos seminários conversem com outras equipes a fim de socializar materiais, facilitar a compreensão do período histórico e ver que pontos abordarão com profundidade.

Apresentações (__/__/__): 15 minutos por equipe + 5 minutos de discussão. Todos precisam estar preparados em caso de falta de outras equipes ou dos próprios colegas do grupo. Envio dos slides nesta data por e-mail para o(a) professor(a).

Avaliação por equipes: Adequação à temática, domínio, explicação do contexto histórico, exploração da questão norteadora, abordagem de diferentes referências, discussão argumentada, tempo de apresentação entre 12-15 minutos e divisão apropriada entre membros.

Faltas na apresentação: Entrega impressa de produção textual própria e referenciada sobre a temática (5 a 10 páginas) na aula da semana seguinte à apresentação de sua equipe.

Faltas dos que assistem: Os alunos que deixarem de assistir a algum seminário precisarão pesquisar e entregar um texto manuscrito (A4,

frente e verso) de sua própria autoria e com referências (proibido plágio) sobre a(s) temática(s) do(s) seminário(s) que não assistiu – Um texto por temática não assistida. Isso é estabelecido com o objetivo de refletirem sobre os assuntos que deixaram de assistir. Data para entrega desse(s) texto(s) – até (___/___/___).

Pontos de reflexão para auxiliar a elaboração do seminário:

Grupos i a iv: Início das pesquisas, interesse pelo objeto de estudo, experimentos, fatos esperados/inesperados, hipóteses, conclusões, limitações, influências, finalização das investigações, receptividade da comunidade científica, relações com o Prêmio Nobel, importância de sua contribuição para a ciência, dentre outros.

Grupo v: Pesquisas decorrentes, relação com as investigações radioativas, sujeitos envolvidos no processo, experimentos, fatos esperados/inesperados, hipóteses, conclusões, limitações, influências, receptividade da comunidade científica, relações com o Prêmio Nobel, importância de sua contribuição para a ciência e sociedade, dentre outros.

Materiais de apoio: Livros e artigos biográficos; livros e artigos sobre História da Ciência; dissertações de mestrado e teses de doutorado; artigos de fontes primárias (disponíveis na internet); acervo online de museus; vídeos, filmes e documentários; palestras e conferências Nobel; dentre outros.

Agendamento de horário para reunião ou discutir dúvidas:

* E-mail: _____

* Sala: _____

* Horário: _____

Material 6

► Textos de Marie Curie traduzidos como apoio aos seminários



i

A DESCOBERTA DO RÁDIO

CURIE, Marie. The discovery of Radium. In: _____. **Pierre Curie**. New York: The Macmillan company, 1923. Capítulo 5 (p. 93-106). Disponível em: <archive.org/details/pierrecurie0000curi/page/n7/mode/2up>. Acesso em: 01 maio 2020.

O SONHO SE TORNA REALIDADE. A DESCOBERTA DO RÁDIO.

Eu já havia dito que em 1897 Pierre Curie estava ocupado com uma investigação sobre o crescimento de cristais. Eu mesma havia terminado, no início das férias, um estudo da magnetização de aços temperados que resultou em nosso ganho de uma pequena subvenção da Sociedade para o Incentivo à Indústria Nacional. Nossa filha Irène nasceu em setembro e, assim que fiquei bem novamente, retomei meu trabalho no laboratório com a intenção de preparar uma tese de doutorado.

Nossa atenção foi atraída por um fenômeno curioso descoberto em 1896 por Henri Becquerel. A descoberta do raio-X por Röntgen havia aguçado a imaginação, e muitos físicos estavam tentando descobrir se raios semelhantes não eram emitidos por corpos fluorescentes sob a ação da luz. Com essa questão em mente Henri Becquerel estava estudando sais de urânio, e, como ocorre às vezes, se deparou com um fenômeno diferente do que procurava: a emissão espontânea por sais de urânio de raios de caráter peculiar. Essa foi a descoberta da radioatividade.

O fenômeno particular descoberto por Becquerel foi o seguinte: o composto de urânio colocado sobre uma placa fotográfica coberta com papel preto produz nessa placa uma impressão análoga à que a luz causaria. A impressão é devido aos raios de urânio que atravessam o papel. Esses mesmos raios podem, como os raios-X, descarregar um eletroscópio, transformando o ar que o cerca em condutor.

O próprio Henri Becquerel assegurou que essas propriedades não dependem de um isolamento preliminar e que eles persistem quando o composto de urânio é mantido no escuro durante vários meses. O próximo passo foi questionar de onde veio essa energia, de quantidade diminuta, é verdade, mas constantemente emitida por compostos de urânio sob a forma de radiações.

O estudo desse fenômeno nos pareceu muito atraente e ainda mais porque a questão era inteiramente nova e nada ainda havia sido escrito sobre ela. Decidi fazer uma investigação sobre isso.

Era necessário encontrar um lugar para conduzir os experimentos. Meu marido obteve do diretor da Escola³⁹ a autorização para usar uma sala envidraçada no térreo que estava sendo usada como despensa e oficina mecânica.

Para ir além dos resultados alcançados por Becquerel, foi necessário empregar um método quantitativo preciso. O fenômeno que melhor se prestou à medição foi a condutibilidade produzida no ar pelos raios de urânio. Esse fenômeno, que é chamado de ionização, é produzido também pelos raios-X e sua investigação em conexão com tais raios tornou conhecidas suas principais características.

Para medir as correntes muito fracas que se podem fazer passar através do ar ionizado pelos raios de urânio, eu tinha à minha disposição um excelente método desenvolvido e aplicado por Pierre e Jacques Curie. Este método consiste em contrabalançar em um eletrômetro sensível a quantidade de eletricidade transportada pela corrente com a que um quartzo piezoelétrico pode fornecer. A instalação, portanto, requer um eletrômetro Curie, um quartzo piezoelétrico e uma câmara de ionização, sendo esta última formada por um condensador de placas cuja placa superior foi conectada ao eletrômetro, enquanto a placa inferior, carregada com um potencial conhecido, foi coberta com uma fina camada da substância a ser examinada. Desnecessário dizer que o local para tal instalação eletrométrica era dificilmente o quatinho lotado e úmido em que eu tinha que montá-la.

Minhas experiências provaram que a radiação dos compostos de urânio pode ser medida com precisão sob determinadas condições e que essa radiação é uma propriedade atômica do elemento urânio. Sua intensidade é proporcional à quantidade de urânio contida no composto e não depende nem das condições de combinação química, nem das circunstâncias externas, tais como luz ou temperatura.

Me encarreguei posteriormente de descobrir se havia outros elementos possuindo a mesma propriedade e com esse objetivo

³⁹ École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles (ESPCI) – Escola Superior de Física e Química Industriais (Nota de tradução).

examinei todos os elementos então conhecidos, seja em seu estado puro ou em compostos. Descobri que, dentre essas substâncias, os compostos de tório são os únicos que emitem raios semelhantes aos do urânio. A radiação do tório tem uma intensidade da mesma ordem que a de urânio e é, como no caso do urânio, uma propriedade atômica do elemento.

Era necessário, nesse momento, encontrar um novo termo para definir essa nova propriedade da matéria manifestada pelos elementos de urânio e tório. Propus a palavra radioatividade que tem desde então se tornado geralmente adotada; os elementos radioativos têm sido chamados de radioelementos.

Durante o curso de minha pesquisa, tive a oportunidade de examinar não apenas compostos simples, sais e óxidos, mas também um grande número de minerais. Alguns deles provaram ser radioativos; estes eram aqueles que continham urânio e tório; mas sua radioatividade parecia anormal, pois era muito maior do que a quantidade que havia encontrado para o urânio e o tório me levaram a esperar.

Essa anormalidade nos surpreendeu bastante. Quando eu assegurei a mim mesma que não era devido a um erro no experimento, tornou-se necessário encontrar uma explicação. Formulei então a hipótese de que os minérios de urânio e tório contêm em pequena quantidade uma substância muito mais fortemente radioativa do que urânio ou tório. Esta substância não poderia ser um dos elementos conhecidos, porque estes já haviam sido examinados; devia, portanto, ser um novo elemento químico.

Eu tinha um desejo apaixonado de verificar essa hipótese o mais rápido possível. E Pierre Curie, profundamente interessado na questão, abandonou seu trabalho sobre cristais (provisoriamente, ele pensou) para se juntar a mim na busca por essa substância desconhecida.

Escolhemos, para o nosso trabalho, o minério pechblenda, um minério de urânio, que em seu estado puro é cerca de quatro vezes mais ativo que o óxido de urânio.

Como a composição desse minério era conhecida por meio de análises químicas muito minuciosas, poderíamos esperar encontrar, no máximo, 1% da nova substância. O resultado de nosso experimento provou que, na realidade, havia novos elementos radioativos na

pechblenda, mas que sua proporção não atingia nem um milionésimo por cento!

O método que empregamos é um *novo método na pesquisa química baseada na radioatividade*. Consiste em induzir a separação por meios comuns de análise química e em medir, em condições adequadas, a radioatividade de todos os produtos separados. Deste modo, pode-se notar o caráter químico do elemento radioativo procurado, pois ele se concentrará nos produtos que se tornarão cada vez mais radioativos à medida que a separação progride. Logo reconhecemos que a radioatividade estava concentrada principalmente em duas frações químicas diferentes e passamos a identificar na pechblenda a presença de pelo menos dois novos elementos radioativos: polônio e rádio. Nós anunciamos a existência de polônio em julho de 1898 e do rádio em dezembro do mesmo ano.⁴⁰

Apesar desse progresso relativamente rápido, nosso trabalho estava longe de terminar. Em nossa opinião, não havia dúvida sobre a existência desses novos elementos, mas para fazer os químicos admitirem sua existência, era necessário isolá-los. Agora, em nossos produtos radioativos mais intensos (várias centenas de vezes mais ativos que o urânio), o polônio e o rádio estavam presentes apenas como traços. O polônio surgia associado ao bismuto extraído da pechblenda e o rádio acompanhava o bário extraído do mesmo mineral. Nós já sabíamos por quais métodos poderíamos esperar separar o polônio do bismuto e o rádio do bário; mas para realizar tal separação, tínhamos que dispor de quantidades muito maiores do minério principal do que tínhamos.

Foi durante esse período de nossa pesquisa que fomos extremamente prejudicados por condições inadequadas, pela falta de um local adequado para trabalhar, pela falta de dinheiro e de pessoal.

A pechblenda era um mineral caro e não podíamos comprar uma quantidade suficiente. Naquela época, a principal fonte desse mineral era em St. Joachimsthal (Boêmia), onde havia uma mina na qual o governo austríaco trabalhava para a extração de urânio. Nós acreditávamos que encontraríamos todo o rádio e uma parte do polônio nos resíduos dessa mina, resíduos que até então não haviam sido utilizados. Graças à influência da Academia de Ciências de Viena,

⁴⁰ Esta última publicação foi feita em comum com G. Bémont, que colaborou conosco em nossos experimentos.

garantimos várias toneladas desses resíduos a um preço vantajoso e o usamos como nossa matéria-prima. No início tivemos que usar nossos recursos particulares para pagar os custos de nosso experimento; posteriormente recebemos algumas subvenções e ajuda de fontes externas.

A questão da acomodação era particularmente séria; não sabíamos onde poderíamos conduzir nossos tratamentos químicos. Fomos obrigados a iniciá-los em um depósito abandonado em frente a uma área da sala de trabalho onde tínhamos nossa instalação eletrométrica. Era um galpão de madeira com piso betuminoso e teto de vidro que não continha a chuva e sem alguma ocupação interior. Os únicos objetos que ele continha eram algumas mesas de pinho desgastadas, um fogão de ferro fundido que funcionava mal e o quadro-negro que Pierre Curie adorava usar. Não havia nenhum sistema de exaustão para conduzir os gases venenosos lançados em nossos tratamentos químicos, de modo que era necessário carregá-los para fora na área, mas quando o tempo estava desfavorável continuávamos com eles dentro, deixando as janelas abertas.

Nesse laboratório improvisado trabalhamos praticamente sem ajuda durante dois anos, ocupando-nos tanto com a pesquisa química quanto com o estudo da radiação dos produtos cada vez mais ativos que estávamos obtendo. Então tornou-se necessário dividirmos nosso trabalho. Pierre Curie continuou as investigações sobre as propriedades do rádio, enquanto eu prosseguia com os experimentos químicos que tinham como objetivo a preparação de sais puros de rádio. Tive que trabalhar com até vinte quilos de material de cada vez, por isso o galpão ficava repleto de grandes frascos cheios de precipitados e líquidos. Era um trabalho exaustivo movimentar os recipientes, transferir os líquidos e mexer por horas seguidas, com uma barra de ferro, o material fervente na bacia de ferro fundido. Extraí do mineral o bário contendo rádio e este, no estado do cloreto, submeti a uma cristalização fracionada. O rádio acumulou-se nas partes menos solúveis e eu acreditava que esse processo deveria levar à separação do cloreto de rádio. As operações muito delicadas das últimas cristalizações foram extremamente difíceis de conduzir naquele laboratório, onde era impossível encontrar proteção contra o pó de ferro e carvão. No final de um ano, os resultados indicaram claramente que seria mais fácil separar o rádio do que o polônio; é por isso que

concentramos nossos esforços nessa direção. Examinamos os sais de rádio que obtivemos com o objetivo de descobrir seus poderes e emprestamos amostras dos sais a vários cientistas,⁴¹ em particular a Henri Becquerel.

Durante os anos de 1899 e 1900 Pierre Curie publicou comigo um memorando sobre a descoberta da radioatividade induzida produzida pelo rádio. Nós publicamos outro artigo sobre os efeitos dos raios: os efeitos luminosos, os efeitos químicos, etc.; e ainda um outro sobre a carga elétrica conduzida por certos raios. E, finalmente, fizemos um relatório geral sobre as novas substâncias radioativas e suas radiações para o Congresso de Física que ocorreu em Paris em 1900. Meu marido publicou, além disso, um estudo sobre a ação de um campo magnético sobre os raios de rádio.

O principal resultado de nossas investigações e de outros cientistas durante esses anos foi tornar conhecida a natureza dos raios emitidos pelo rádio e provar que eles pertenciam a três categorias diferentes. O rádio emite uma corrente de corpúsculos ativos se movendo com grande velocidade. Alguns deles carregam uma carga positiva e formam os raios Alfa; outros, muito menores, carregam uma carga negativa e formam raios Beta. Os movimentos desses dois grupos são influenciados por um ímã. Um terceiro grupo é constituído pelos raios que são insensíveis à ação de um ímã e que, sabemos hoje, são uma radiação semelhante à luz e aos raios-X.

Tivemos uma alegria especial ao observar que nossos produtos contendo rádio concentrado eram todos espontaneamente luminosos. Meu marido que esperava vê-los mostrar cores bonitas teve que concordar que essa outra característica inesperada lhe dava uma satisfação ainda maior do que ele desejava.

O congresso de 1900 nos ofereceu uma oportunidade de divulgar, de modo mais próximo, aos cientistas estrangeiros nossas

⁴¹ Cito, como exemplo, uma carta endereçada a Pierre Curie por A. Paulsen, agradecendo-lhe pelos produtos radioativos emprestados a ele em 1899:

Senhor e mais honrado colega,

“Agradeço cordialmente por sua carta de 1º de agosto, que acabei de receber no norte da Islândia.

“Abandonamos todos os métodos até então empregados para estabelecer em um condutor fixo o potencial que existe em certos pontos na massa de ar que o cerca e estamos usando apenas seu pó radiante.

“Aceite, senhor e mais honrado colega, minhas respeitadas saudações e meus renovados agradecimentos pelos grandes serviços que você prestou à minha expedição.

*“Expedição de Den Damke Nordl
Akureyri, 16 de outubro de 1899.*

“Adam Paulsen.”

novas substâncias radioativas. Esse foi um dos pontos em que o interesse deste Congresso se concentrou principalmente.

Nesse momento estávamos totalmente absorvidos no novo campo que se abriu diante de nós, graças à descoberta tão pouco esperada. E ficamos muito felizes, apesar das difíceis condições em que trabalhávamos. Passamos nossos dias no laboratório, frequentemente comendo lá um simples almoço estudantil. Uma grande tranquilidade reinava em nosso humilde e desgastado galpão; ocasionalmente, enquanto observávamos uma operação, íamos andando de um lado para o outro conversando sobre o nosso trabalho, presente e futuro. Quando estávamos com frio, uma xícara de chá quente, bebida ao lado do fogão, nos alegrava. Vivíamos em uma preocupação tão completa quanto a de um sonho.

Às vezes, retornávamos à noite após o jantar para outra pesquisa de nosso domínio. Nossos preciosos produtos, para os quais não tínhamos abrigo, foram dispostos em mesas e tábuas; de todos os lados podíamos ver suas silhuetas levemente luminosas e brilhantes, que pareciam suspensas na escuridão, nos comovendo com novas emoções e encantamentos.

Os funcionários da Escola não deviam a Pierre Curie nenhum serviço, na verdade. Mas, apesar disso, o auxiliar de laboratório que ele teve quando foi chefe de laboratório sempre continuou a ajudá-lo o máximo que pôde no tempo que dispunha. Esse homem bom, cujo nome era Petit, sentiu um carinho e solicitude reais por nós e muitas coisas foram facilitadas por causa de sua boa vontade e do interesse que ele teve pelo nosso sucesso.

Tínhamos começado nossa pesquisa sobre radioatividade bastante sozinhos, mas devido à magnitude do empreendimento estávamos cada vez mais convencidos da utilidade de convidar colaborações. Já em 1898, um dos chefes de laboratório da Escola, G. Bemont, havia nos dado auxílio temporário. E por volta de 1900 Pierre Curie se associou a um jovem químico, André Debierne, orientando de Friedel, que o estimava muito. André Debierne aceitou alegremente a proposta de Pierre Curie de que ele próprio se ocuparia da investigação da radioatividade; e ele empreendeu, em particular, a busca de um novo radioelemento, que suspeitávamos existir no grupo do ferro e em terras raras. Ele descobriu o elemento *actínio*. Embora ele tenha continuado seu trabalho no laboratório de físico-química da Sorbonne, dirigido por

Jean Perrin, ele frequentemente vinha nos visitar em nosso galpão, e logo se tornou um amigo íntimo nosso, do doutor Curie e das crianças.

Aproximadamente na mesma época George Sagnac, um jovem físico envolvido com o estudo de raios-X, vinha com frequência discutir com meu marido as analogias que se poderia esperar encontrar entre esses raios, e seus raios secundários, e as radiações de substâncias radioativas. Eles trabalharam juntos na investigação da carga elétrica transportada pelos raios secundários.

Além de nossos colaboradores nós vimos muito poucas pessoas no laboratório; contudo, de tempos em tempos algum físico ou químico vinha ver nossos experimentos ou pedir a Pierre Curie conselhos ou informações; sua reputação em vários ramos da física era bem reconhecida. E então haviam discussões diante do quadro negro – discussões que são agradavelmente lembradas hoje, porque elas estimularam um interesse na ciência e o entusiasmo pelo trabalho sem interromper qualquer curso de reflexão e sem interferir aquela atmosfera de paz e contemplação que é a verdadeira atmosfera do laboratório.

i O ÔNUS DA CELEBRIDADE

CURIE, Marie. The burden of celebrity. In: _____. **Pierre Curie**. New York: The Macmillan company, 1923. Capítulo 6 (p. 107-138). Disponível em: <archive.org/details/pierrecurie0000curi/page/n7/mode/2up>. Acesso em: 01 maio 2020.

A LUTA POR MEIOS DE TRABALHO. O ÔNUS DA CELEBRIDADE. A PRIMEIRA ASSISTÊNCIA DO ESTADO. CHEGA TARDE DEMAIS.

Apesar de nosso desejo de concentrar todo o nosso esforço no trabalho em que estávamos envolvidos e apesar de nossas necessidades serem tão modestas, fomos obrigados a reconhecer, por volta de 1900, que algum aumento em nossa renda era indispensável. Pierre Curie tinha poucas ilusões sobre suas chances de conseguir uma cadeira importante na Universidade de Paris, o que, mesmo que isso não significasse um salário alto, seria suficiente para as pequenas necessidades de nossa família e nos permitiria viver sem uma renda suplementar. Como ele não era formado nem na Escola Normal nem na Politécnica, ele não teve o apoio, muitas vezes decisivo, que essas grandes escolas dão a seus alunos; e os cargos aos quais ele poderia justamente aspirar, por causa de suas realizações, foram dados a outros, sem que ninguém sequer pensasse nele como um possível candidato. No início de 1898 ele se candidatou, sem sucesso, à cadeira de físico-química que se tornara vaga pelo falecimento de Salet e esse fracasso o convenceu de que ele não tinha chance de avançar. Ele foi nomeado, no entanto, em março de 1900 para o cargo de professor assistente (*répétiteur*) na Escola Politécnica, mas manteve seu cargo por apenas seis meses.

Na primavera de 1900, surgiu uma oferta inesperada, a da cadeira de física na Universidade de Genebra. O decano dessa universidade fez o convite da maneira mais cordial possível e insistiu que a universidade estava pronta para fazer um esforço excepcional para assegurar um cientista de tamanha reputação. As vantagens desse cargo eram um salário maior que a média, a promessa do desenvolvimento de um laboratório de física adequado às nossas necessidades e uma posição oficial para mim nesse laboratório. Tal proposição merecia a mais cautelosa consideração, então fizemos uma

visita à Universidade de Genebra, onde nossa recepção foi a mais encorajadora possível.

Essa foi uma decisão séria para nós tomarmos. Genebra apresentou vantagens materiais e a oportunidade de uma vida comparável em sua tranquilidade com a do país. Pierre Curie ficou, portanto, tentado a aceitar e foi apenas o nosso interesse imediato em nossas pesquisas com o rádio que o fez finalmente decidir não aceitar. Ele temia a interrupção de nossas investigações que essa mudança deveria envolver.

Nesse momento, a cadeira de física no curso de física, química e história natural da Sorbonne, obrigatória para estudantes de medicina e conhecida como P.C.N., estava vaga; ele se candidatou e foi nomeado devido à influência de Henri Poincaré, que estava ansioso para libertá-lo da necessidade de deixar a França. Ao mesmo tempo fui encarregada das aulas de física na Escola Normal para Moças de Sèvres.

Por isso permanecemos em Paris e com nossa renda aumentada. Mas estávamos trabalhando ao mesmo tempo sob condições cada vez mais difíceis. Pierre Curie estava fazendo ensino duplo; e a P.C.N., com seu grande número de estudantes, o fatigou bastante. Quanto a mim, tive que dedicar muito tempo à preparação de minhas aulas em Sèvres e à organização do trabalho de laboratório lá, que percebi ser muito insuficiente.

Além disso, a nova posição de Pierre Curie não contava com um laboratório; um pequeno escritório e uma única sala de trabalho eram tudo o que ele dispunha no anexo (rua Cuvier, 12) da Sorbonne, que servia de espaço de ensino para os alunos da P.C.N. E ainda ele sentia que era absolutamente necessário prosseguir com seu próprio trabalho. De fato, a rápida extensão de suas investigações sobre a radioatividade o fez determinar que, em seu novo cargo na Sorbonne, ele receberia estudantes e os iniciaria na pesquisa. Ele, portanto, tomou medidas para encontrar maiores espaços disponíveis. Aqueles que tomaram medidas semelhantes percebem a barreira dos obstáculos financeiros e administrativos contra os quais ele estava se lançando e percebem o grande número de cartas oficiais, visitas e solicitações com o menor sucesso. Tudo isso cansou e desencorajou Pierre Curie. Ele também era obrigado, constantemente, a continuar viajando entre os laboratórios da P.C.N. e o galpão da Escola de Física, onde ainda continuávamos nosso trabalho.

Além dessas dificuldades, descobrimos que não poderíamos avançar mais sem o auxílio de meios industriais de tratamento de nossa matéria-prima. Felizmente, certos recursos e assistência generosa resolveram essa questão.

Já no início de 1899, Pierre Curie conseguiu organizar um primeiro experimento industrial, usando para isso uma instalação oportuna colocada à sua disposição pela Sociedade Central de Produtos Químicos, com a qual ele mantinha relações em conexão com a construção de suas balanças. Os detalhes técnicos foram preparados com muito sucesso por André Debierne e as operações trouxeram bons resultados, apesar de ter sido necessário treinar um pessoal especial para esse trabalho químico que exigia precauções especiais.

Nossas investigações iniciaram um movimento científico geral e trabalhos semelhantes estavam sendo realizados em outros países. Para defender esses esforços, Pierre Curie manteve uma atitude desinteressada e liberal. Com o meu acordo, ele se recusou a obter qualquer lucro material de nossa descoberta. Não requeremos direitos autorais e publicamos todos os resultados de nossa pesquisa, bem como os processos exatos da preparação do rádio. Além disso, demos aos interessados quaisquer informações que nos pediram. Isso foi de grande benefício para a indústria do rádio, que poderia se desenvolver em plena liberdade, primeiro na França, depois em países estrangeiros, e fornecer aos cientistas e aos médicos os produtos de que precisavam. Essa indústria ainda emprega hoje, com quase nenhuma modificação, os processos indicados por nós.⁴²

Embora nosso experimento industrial tenha produzido bons resultados, novamente nossos recursos limitados dificultaram o progresso. Inspirado por nossa tentativa, um industrial francês, Armet de Lisle, teve a ideia que parecia ousada naquela época, de fundar uma verdadeira fábrica de rádio que forneceria esse produto aos médicos, cujo interesse pelos efeitos biológicos do rádio e suas possíveis aplicações terapêuticas foram despertadas pela publicação de várias pesquisas. O projeto provou ser um sucesso, porque ele podia empregar homens já treinados por nós no delicado processo de sua fabricação. O rádio foi então colocado regularmente à venda, a um preço alto, é

⁴² Durante minha recente visita à América, onde um grama de rádio me foi generosamente oferecido por mulheres americanas, a Sociedade de Ciências Naturais de Buffalo me apresentou, como uma lembrança, uma publicação de revisão sobre o desenvolvimento da indústria de rádio nos Estados Unidos. Ela incluía reproduções fotográficas de cartas de Pierre Curie, nas quais ele respondia da maneira mais completa possível às perguntas feitas por engenheiros americanos. (1902 e 1903.)

verdade, por causa das condições especiais em que tinha que ser produzido e também por causa do aumento imediato no custo dos minerais necessários à sua produção.⁴³

Gostaria de expressar aqui a nossa apreciação do espírito em que Armet de Lisle se ofereceu para cooperar conosco. De uma maneira inteiramente desinteressada, ele colocou à nossa disposição um pequeno local de trabalho em sua fábrica e uma parte dos meios necessários para usá-lo. Outros fundos foram adicionados por nós mesmos ou providos de subvenções, das quais as mais importantes foram concedidas em 1902 pela Academia de Ciências, totalizando 20000 francos.

Foi dessa maneira que pudemos utilizar o minério que adquirimos pouco a pouco na preparação de uma certa quantidade de rádio, que usamos constantemente em nossa pesquisa. O bário contendo rádio foi extraído na fábrica e eu realizei sua purificação e cristalização fracionada em laboratório. Em 1902, consegui preparar um decigrama de cloreto de rádio puro, que dava apenas o espectro do novo elemento, o rádio. Fiz uma primeira determinação do peso atômico desse novo elemento, um peso atômico muito maior que o do bário. Assim, a individualidade química do rádio estava completamente estabelecida e a realidade dos radioelementos era um fato sobre o qual não havia mais controvérsias.

Baseei a tese do meu doutorado, apresentada em 1903, nessas investigações.

Posteriormente, a quantidade de rádio extraída para o laboratório aumentou e, em 1907, pude fazer uma segunda e mais precisa determinação do peso atômico como sendo 225,35 – agora se aceita o número 226. Também consegui, em conjunto com André Debierne, a obtenção do rádio no estado metálico. A quantidade total de rádio que preparei e entreguei ao laboratório, de acordo com o desejo de Pierre Curie, chegou a mais de um grama de elemento de rádio.

A atividade do rádio puro superou todas as nossas expectativas. Para pesos iguais, essa substância emite uma radiação mais de um milhão de vezes mais intensa que o urânio. Para compensar isso, a quantidade de rádio contida nos minerais de urânio dificilmente

⁴³ O preço de um miligrama do elemento rádio foi então fixado em cerca de 750 francos.

ultrapassa três decigramas de rádio em toneladas de urânio. Existe uma relação muito próxima entre essas duas substâncias. De fato, sabemos hoje que o rádio é produzido nos minerais às custas do urânio.

Os anos que se seguiram à sua nomeação para a P.C.N. foram difíceis para Pierre Curie. Ele teve que enfrentar as diversas ansiedades incidentes à organização de um sistema complicado de trabalho, quando sua felicidade dependia de ser capaz de concentrar seus esforços em um assunto específico. A fadiga física devido aos numerosos cursos que ele era obrigado a ministrar era tão grande que sofreu de ataques de dor aguda, que em sua condição sobrecarregada se tornaram cada vez mais frequentes.

Portanto, era de vital importância que, se ele poupasse sua energia e mantivesse sua saúde, o peso de seus deveres profissionais seria aliviado. Ele decidiu candidatar-se à cadeira de mineralogia que estava vaga na Sorbonne, para a qual ele era totalmente qualificado devido ao seu profundo conhecimento e de importantes publicações sobre as teorias da física dos cristais. No entanto, sua candidatura falhou.

Durante esse período doloroso, ele conseguiu, com um esforço verdadeiramente sobre-humano, concluir com êxito e publicar várias investigações que ele havia feito sozinho ou em colaboração:

Investigações sobre radioatividade induzida (em colaboração com A. Debierne).

Investigações sobre o mesmo assunto (em colaboração com J. Danne).

Investigações sobre a condutibilidade provocada em líquidos dielétricos pelos raios de rádio e raios de Röntgen.

Investigações sobre a lei do decréscimo da emanção do rádio e sobre as constantes radioativas que caracterizam essa emanção e seu depósito ativo.

Descoberta da liberação de calor produzido pelo rádio (em colaboração com A. Laborde).

Investigações sobre a difusão da emanção de rádio no ar (em colaboração com J. Danne).

Investigação sobre a radioatividade de gases de fontes termais (em colaboração com A. Laborde).

Investigação sobre os efeitos fisiológicos dos raios de rádio (em comum com Henri Becquerel).

Investigação sobre a ação fisiológica da emanção do rádio (em comum com Bouchard e Balthazard).

Notas sobre o aparelho para a determinação de constantes magnéticas (em comum com C. Cheneveau).

Todas essas investigações em radioatividade são fundamentais e tocam assuntos muito variados. Várias têm como objetivo o estudo da emanção, aquela substância gasosa estranha que o rádio produz e que é amplamente responsável pela intensa radiação comumente atribuída ao próprio rádio. Pierre Curie demonstrou, por um exame minucioso, a lei rigorosa e invariável segundo a qual a emanção se destrói, independentemente das condições em que se encontra. Hoje a emanção do rádio colhida em pequenos frascos é comumente empregada por médicos como agente terapêutico. Considerações técnicas tornam seu emprego preferível ao uso direto de rádio e, nesse caso, nenhum médico pode prosseguir sem consultar a tabela numérica que indica quanto dessa emanção desapareceu a cada dia, apesar de estar fechada em seu pequeno aprisionador de vidro. É a mesma emanção que é encontrada em pequenas quantidades em águas minerais e que atua com seus efeitos curativos.

Mais impressionante ainda foi a descoberta da liberação de calor do rádio. Sem nenhuma alteração na aparência, essa substância libera a cada hora uma quantidade de calor suficiente para derreter seu próprio peso de gelo. Quando bem protegido contra essa perda externa, o rádio aquece a si próprio. Sua temperatura pode subir 10 graus ou mais acima da atmosfera que o cerca. Isso desafiou toda a experiência científica contemporânea.

Por fim, não posso passar em silêncio, por causa de suas várias repercussões, os experimentos relacionados aos efeitos fisiológicos do rádio.

Para testar os resultados que acabavam de ser anunciados por F. Giesel, Pierre Curie expôs voluntariamente seu braço à ação do rádio durante várias horas. Isso resultou em uma lesão semelhante a uma queimadura, que se desenvolveu progressivamente e levou vários meses para cicatrizar. Henri Becquerel teve por acidente uma queimadura semelhante como resultado de carregar no bolso do colete um tubo de vidro contendo sal de rádio. Ele veio nos contar sobre esse efeito maligno do rádio, exclamando de uma maneira imediatamente encantada e irritada: “O amo, mas sinto rancor!”

Desde que ele percebeu o interesse nesses efeitos fisiológicos do rádio, Pierre Curie empreendeu em colaboração com médicos as investigações que acabei de me referir, submetendo animais à ação de emanção do rádio. Esses estudos formaram o ponto de partida na radioterapia. As primeiras tentativas de tratamento com rádio foram feitas com produtos emprestados por Pierre Curie e tinham por objetivo a cura

do lúpus e outras lesões cutâneas. Assim, a radioterapia, um ramo importante da medicina, frequentemente designada como *curieterapia*, surgiu na França e foi desenvolvida primeiramente por meio de investigações de médicos franceses (Danlos, Oudin, Wickham, Dominici, Cheron, Degrais e outros).⁴⁴

Enquanto isso, o grande ímpeto da atividade no exterior levou a uma rápida sucessão de novas descobertas. Muitos cientistas se engajaram na busca de outros radioelementos usando o novo método de análise química, com o auxílio da radiação, que nós havíamos inaugurado. Assim, foi descoberto o mesotório atualmente usado pelos médicos e fabricado industrialmente, rádio-tório, iônio, protoactínio, rádio-chumbro e outras substâncias. Atualmente conhecemos, ao todo, cerca de trinta radioelementos (sendo três gases ou emanações), mas dentre todos eles o rádio ainda desempenha o papel mais importante, devido à grande intensidade de sua radiação que diminui muito lentamente ao longo dos anos.

O ano de 1903 foi especialmente importante no desenvolvimento da nova ciência. Neste ano, a investigação sobre o rádio, o novo elemento químico, foi realizada e Pierre Curie demonstrou a surpreendente liberação de calor desse elemento que, no entanto, mantinha sua aparência inalterada. Na Inglaterra, Ramsay e Soddy anunciaram uma grande descoberta. Eles provaram que o rádio produz continuamente gás hélio e sob condições que obrigam alguém a acreditar em uma transformação atômica. Se, de fato, o sal de rádio aquecido ao seu ponto de fusão fica confinado por algum tempo em um tubo de vidro vedado, totalmente vazio de ar, se pode ao reaquecê-lo fazê-lo expelir uma pequena quantidade de hélio, fácil de mensurar e de reconhecer pelo caráter de seu espectro. Essa experiência fundamental recebeu numerosas confirmações. Ela nos forneceu o primeiro exemplo de transformação de átomos, independente, é verdade, de nossa vontade, mas ao mesmo tempo reduz a nada a teoria da absoluta imutabilidade do edifício atômico.

Todos esses fatos, juntamente com outros anteriormente conhecidos, foram objeto de uma síntese do mais alto valor, em um

⁴⁴ Esses médicos foram auxiliados pelo fabricante, Armet de Lisle, que colocou à sua disposição o rádio necessário para seus primeiros empreendimentos. Ele fundou, além disso, em 1906 um laboratório de estudos clínicos, com suprimento de rádio. E ele subsidiou a primeira publicação especial dedicada à radioatividade e suas aplicações, como uma revista sob o nome *Radium*, editada por J. Danne. Este é um exemplo de generoso apoio à ciência pela indústria ainda muito raro na realidade, mas que se deseja que possa se tornar geral, no interesse comum desses dois ramos da atividade humana.

trabalho de E. Rutherford e F. Soddy, que propuseram uma teoria das transformações radioativas, hoje universalmente adotada. De acordo com essa teoria, cada elemento de rádio, mesmo quando parece inalterado, passa por uma transformação espontânea e quanto mais rápida a transformação, mais intensa é a radiação.⁴⁵

Um átomo radioativo pode se transformar de duas maneiras: ele pode expelir um átomo de hélio que, atirado à uma enorme velocidade e com carga positiva, se constitui em um raio Alfa. Ou, em vez disso, pode separar de sua estrutura um fragmento muito menor, um daqueles elétrons aos quais nos acostumamos na física moderna, e cuja massa, 1800 vezes menor que um átomo de hidrogênio quando sua velocidade é moderada, cresce excessivamente quando sua velocidade se aproxima daquela da luz. Esses elétrons, que carregam uma carga negativa, formam os raios Beta. Qualquer que seja o fragmento expelido, o átomo remanescente não se assemelha mais ao átomo primitivo. Assim, quando o átomo de rádio expelle um átomo de hélio, o resíduo é um átomo de emissão gasosa. Este resíduo muda, por sua vez, e o processo não é interrompido até a obtenção de um último resíduo que é estável e que não emite radiação. Esta matéria estável é inativa.

Assim, os raios Alfa e Beta resultam da fragmentação dos átomos. Os raios gama são uma radiação análoga à luz, que acompanha o cataclismo da transformação atômica. Eles são muito penetrantes e são os mais utilizados nos métodos terapêuticos desenvolvidos até agora.⁴⁶

Podemos ver em tudo isso que radioelementos formam famílias, nas quais cada membro deriva de um membro precedente por descendência direta, sendo os elementos primários urânio e tório. Podemos em particular provar que o rádio é um descendente de urânio e que o polônio é um descendente do rádio. Uma vez que cada radioelemento, ao mesmo tempo em que é formado pela substância mãe, se destrói, não pode se acumular na presença dessa substância mãe além de uma determinada proporção, o que explica por que a relação entre rádio e urânio permanece constante em minerais inalterados muito antigos.

⁴⁵ A hipótese de acordo com a qual a radioatividade está ligada à transformação atômica dos elementos foi primeiramente prevista por Pierre Curie e por mim, em conjunto com outras possíveis hipóteses, antes que essa fosse utilizada por E. Rutherford. (Veja *Revue Scientifique*, 1900, Mme. Curie, etc.)

⁴⁶ Usando a energia incomum dos raios Alfa, E. Rutherford obteve recentemente a ruptura de certos átomos leves, como os de nitrogênio.

A destruição espontânea de radioelementos ocorre de acordo com uma lei fundamental, chamada *lei exponencial*, de acordo com a qual a quantidade de cada radioelemento diminui pela metade em um tempo específico, sempre o mesmo, chamado período. Esse tempo-período permite determinar sem ambiguidade o elemento em consideração. Esses períodos, que podem ser medidos por diversos métodos, variam muito. O período de urânio é de vários bilhões de anos; o do rádio é de cerca de 1600 anos; o de sua emanção é um pouco menor do que quatro dias; e há entre os descendentes que se seguem alguns cujo período é uma pequena fração de segundo. A lei exponencial tem um profundo comportamento filosófico; indica que a transformação é produzida de acordo com as leis da probabilidade. As causas que determinam a transformação são um mistério para nós e ainda não sabemos se derivam de condições causais fora do átomo ou de condições de instabilidade interna. Em muitos casos, até o presente, nenhuma ação externa mostrou-se eficaz em influenciar tal transformação.

Essa rápida sucessão de descobertas que derrubou concepções científicas conhecidas há muito tempo na física e na química não deixou de encontrar, a princípio, dúvidas e incredulidade. Mas a grande parte do mundo científico as recebeu com entusiasmo. Ao mesmo tempo, a fama de Pierre Curie cresceu na França e em países estrangeiros. Já em 1901, a Academia de Ciências havia lhe concedido o prêmio Lacaze. Em 1902, Mascart, que muitas vezes lhe havia dado a ajuda mais valiosa, decidiu propô-lo como um membro da Academia de Ciências. Não foi fácil para Pierre Curie concordar com isso acreditando, como ele acreditava, que a Academia deveria eleger seus membros sem a necessidade de qualquer solicitação preliminar ou pagamento de ligações. No entanto, devido à insistência amigável de Mascart e, sobretudo, porque a Seção Física da Academia já havia se declarado por unanimidade a seu favor, ele se apresentou. Apesar disso, ele falhou nas eleições e foi apenas em 1905 que ele se tornou membro do Instituto, participação que não durou nem um ano. Ele também foi eleito para várias academias e sociedades científicas em outros países e recebeu um diploma de doutor honorário em várias universidades.

Em 1903 fomos a Londres a convite da Instituição Real, antes que meu marido fosse palestrar sobre o rádio. Nesta ocasião, ele estava muito entusiasmado. Estava especialmente feliz por ver novamente Lord Kelvin, quem sempre expressou um carinho por ele e que, apesar

de sua idade avançada, preservou um interesse eternamente jovem pela ciência. O ilustre cientista mostrou, com tocante satisfação, um frasco de vidro contendo um grão de sal de rádio que Pierre Curie havia lhe dado! Encontramos também outros cientistas célebres como Crookes, Ramsay e J. Dewar. Em colaboração com este último, Pierre Curie publicou investigações sobre a liberação de calor pelo rádio a temperaturas muito baixas e sobre a formação de hélio no sal de rádio.

Alguns meses depois a medalha Davy foi concedida a ele (e também a mim) pela Sociedade Real de Londres e quase ao mesmo tempo recebemos, juntamente com Henri Becquerel, o prêmio Nobel de Física. Nossa saúde nos impediu de comparecer à cerimônia desta premiação em dezembro e foi somente em junho de 1905 que pudemos ir a Estocolmo onde Pierre realizou sua conferência Nobel. Fomos cordialmente recebidos e tivemos a felicidade de ver a admirável natureza sueca em seu aspecto mais brilhante.

A entrega do prêmio Nobel foi um evento importante para nós, por causa do prestígio da fundação Nobel, que havia sido recém fundada (1901). Além disso, do ponto de vista financeiro, a metade do prêmio representava um importante montante. Isso significava que, no futuro, Pierre Curie poderia transferir suas aulas na Escola de Física a Paul Langevin, um de seus ex-alunos e um físico de grande competência. Ele poderia também contratar um auxiliar para ajudá-lo em seu trabalho.

Mas ao mesmo tempo a publicidade que esse evento muito feliz causou pesou muito sobre um homem que não estava nem preparado para isso, nem acostumado. Seguiu-se uma avalanche de visitas, de cartas, de demandas por artigos e palestras, o que significava um constante esgotamento, fadiga e perda de tempo. Ele era gentil e não gostava de recusar um pedido; mas, por outro lado, teve que reconhecer que não podia aderir às solicitações que o sobrecarregavam sem resultados desastrosos à sua saúde, bem como para sua paz de espírito e seu trabalho. Em uma carta a Ch. Ed. Guillaume, ele disse:

“As pessoas me pedem artigos e palestras e, depois de alguns anos, as próprias pessoas que fazem esses pedidos ficarão impressionadas ao ver que não realizamos nenhum trabalho.”

E em outras cartas do mesmo período, escritas a E. Gouy, ele se expressou da seguinte maneira:

“20 de março de 1902

“Como você viu, a sorte nos favorece neste momento; mas esses favores da sorte não surgem sem muitas preocupações. Nunca estivemos menos tranquilos do que neste momento. Há dias em que mal temos tempo para respirar. E pensar que nós sonhamos em viver na selva, bem afastados dos seres humanos!”

“22 de janeiro de 1904

“Meu caro amigo:

“Quero escrever para você há muito tempo; desculpe-me se não fiz isso. A causa é a vida estúpida que levo atualmente. Você viu essa súbita paixão pelo rádio, o que resultou para todos nós em todas as vantagens de um momento de popularidade. Temos sido perseguidos por jornalistas e fotógrafos de todos os países do mundo; eles chegaram ao ponto de relatar a conversa entre minha filha e sua enfermeira e descrever o gato preto e branco que vive conosco... Além disso, tivemos muitos apelos por dinheiro... Finalmente, os colecionadores de autógrafos, esnobes, pessoas da sociedade e até mesmo cientistas vieram nos ver – em nossos locais magníficos e tranquilos no laboratório – e toda noite havia um grande volume de correspondências para enviar. Com esse estado de coisas me sinto invadido por um tipo de estupor. E, talvez, todo esse tumulto talvez não tenha sido em vão, se resultar em conseguir uma cadeira e um laboratório. Para dizer a verdade, será necessário criar a cadeira e eu não devo ter o laboratório de início. Eu deveria ter preferido o contrário, mas Liard quer aproveitar o presente momento para que ocorra a criação da nova cadeira que mais tarde será implementada pela universidade. Eles estão prestes a estabelecer uma cadeira sem um programa fixo, que será como um curso no Collège de France, e acredito que serei obrigado a mudar de assunto a cada ano, o que será um grande teste para mim.”

“31 de janeiro de 1905

“...Tive que desistir de ir para a Suécia. Nós somos, como você pode ver, bem irregulares quanto às nossas relações com a Academia Sueca; mas, para dizer a verdade, só consigo acompanhar para evitar toda a fadiga física. E a minha esposa está na mesma condição; não podemos mais sonhar com os grandes dias de trabalho dos tempos passados.

“Quanto à pesquisa, não estou fazendo nada no momento. Com meu curso, meus alunos, aparelhos para instalar e a interminável procissão de

peças que vêm me incomodar sem motivo sério, os dias passam sem que eu tenha conseguido algo útil até agora.

“25 de julho de 1905

“Meu caro amigo:

“Lamentamos muito ter sido privado da sua visita este ano, mas esperamos vê-lo em outubro. Se não fizermos um esforço de vez em quando, terminamos perdendo o contato com nossos melhores e mais agradáveis amigos e mantendo-nos em companhia de outras pessoas pela simples razão de que é fácil encontrá-las.

“Continuamos a levar a mesma vida de pessoas extremamente ocupadas, sem poder realizar nada de interessante. Já fez mais de um ano que pude realizar alguma pesquisa e não tenho tempo para mim mesmo. Claramente, ainda não descobri um meio de nos defender contra esse desperdício do tempo que é extremamente necessário. Intelectualmente, é uma questão de vida ou morte.

“7 de novembro de 1905

“Começo meu curso amanhã, mas em condições muito ruins para a preparação de meus experimentos. A sala de aula é na Sorbonne e meu laboratório fica na rua Cuvier. Além disso, um grande número de outros cursos são dados na mesma sala e posso usá-la apenas pela manhã para a preparação de minhas aulas.

“Não estou muito bem nem muito doente; mas me canso facilmente e resta pouca disposição para o trabalho. Minha esposa, pelo contrário, leva uma vida muito ativa entre as filhas, a Escola de Sèvres e o laboratório. Ela não perde um minuto e se ocupa mais regularmente do que eu no laboratório, em que passa a maior parte do dia”.

Em resumo: apesar dessas complicações externas, nossa vida, por um esforço comum, permaneceu tão simples e reservada quanto antes. No final de 1904 nossa família aumentou pelo nascimento de uma segunda filha. Ève Denise nasceu na casa modesta na Boulevard Kellermann, onde ainda morávamos com o doutor Curie, vendo apenas alguns amigos.

Quando nossa filha mais velha cresceu, ela começou a ser uma pequena companheira do pai, que se interessava muito por sua educação e passeava alegremente com ela nos tempos livres, especialmente nos dias de férias dele. Ele manteve conversas sérias

com ela, respondendo a todas suas perguntas e deliciando-se com o desenvolvimento progressivo de sua mente jovem. Desde a tenra idade, suas filhas desfrutaram de sua terna afeição e ele nunca se cansou de tentar entender esses pequenos seres, a fim de poder dar a elas o melhor que ele tinha.

Com seu grande sucesso em outros países, a apreciação completa de Pierre Curie na França, ainda que tardiamente, finalmente se seguiu. Aos quarenta e cinco anos, encontrou-se na primeira fila de cientistas franceses e, no entanto, como professor, ocupou uma posição inferior. Este estado anormal de coisas despertou a opinião pública a seu favor e, sob a influência dessa onda de sentimentos, o diretor da Academia de Paris, L. Liard, pediu ao Parlamento que criasse uma nova cadeira na Sorbonne e, no início do ano acadêmico de 1904-1905, Pierre Curie foi nomeado professor titular da Faculdade de Ciências de Paris. Um ano depois, ele definitivamente deixou a Escola de Física, onde seu substituto, Paul Langevin, o sucedeu.

Este novo cargo de professor não se estabeleceu sem algumas dificuldades. O primeiro projeto previa uma nova cadeira, mas não um laboratório. E Pierre Curie achava que não podia aceitar uma situação que envolvesse o risco de perder até os meios medíocres de trabalho que ele então possuía, em vez de oferecer outros melhores. Ele escreveu, portanto, aos seus chefes que ele havia decidido permanecer com as aulas da P.C.N. Sua firmeza valeu o dia. À nova cadeira foi adicionado um fundo para o laboratório e pessoal para o novo trabalho (um chefe e auxiliares de laboratório). A posição de chefe de laboratório foi oferecida a mim, que foi motivo de grande satisfação para meu marido.

Não foi sem pesares que saímos da Escola de Física, onde tínhamos vivido dias felizes de trabalho, apesar das dificuldades de subsídio. Nos tornamos particularmente apegados ao nosso galpão, que continuou em pé apesar de estar em decadência crescente por vários anos e fomos visitá-lo de vez em quando. Mais tarde, teve que ser demolido para dar lugar a um novo prédio para a Escola de Física, mas preservamos as fotos. Avisado de sua destruição iminente pelo fiel Petit, fiz minha última visita lá, infelizmente, sozinha. No quadro-negro ainda havia a escrita daquele que era a alma do lugar; o humilde refúgio para sua pesquisa estava todo impregnado de sua memória. A realidade cruel parecia um pesadelo; quase esperei ver a figura alta

aparecer e ouvir o som de sua voz familiar.

Apesar de o Parlamento ter votado a criação de uma nova cadeira, não chegou ao ponto de considerar a fundação simultânea de um laboratório que era, ainda, necessário ao desenvolvimento da ciência da radioatividade. Pierre Curie, portanto, manteve a pequena sala de trabalho na P.C.N. e garantiu como solução temporária o uso de uma sala grande que não estava sendo usada pela P.C.N. Ele também organizou um pequeno prédio composto por duas salas e uma área de estudo montada no local.

Não se pode deixar de sentir tristeza ao perceber que essa era uma última concessão e que, na verdade, um dos primeiros cientistas franceses nunca teve um laboratório adequado para trabalhar, mesmo que sua capacidade tenha se revelado tão cedo ao vigésimo ano. Sem dúvida, se ele tivesse vivido mais, ele teria se beneficiado de condições satisfatórias para seu trabalho, mas ainda assim foi privado delas quando faleceu à idade prematura de 48 anos. Podemos imaginar completamente o arrependimento de um trabalhador entusiasmado e interessado em um grande trabalho, que é prejudicado na realização de seu sonho pela falta de recursos? E podemos pensar sem um profundo pesar pelo desperdício – aquele irreparável – do maior patrimônio da nação: os talentos, os poderes e a coragem de seus melhores filhos?

Pierre Curie sempre teve em mente sua necessidade urgente de um bom laboratório. Quando, por causa de sua grande reputação, seus chefes se sentiram obrigados a tentar induzi-lo em 1903 a aceitar a decoração da Legião de Honra, ele recusou essa distinção, mantendo-se fiel à opinião já mencionada no capítulo anterior. E a carta que ele escreveu nesta ocasião foi inspirada pelo mesmo sentimento da citada anteriormente, quando escreveu ao reitor para recusar às *palmes académiques*. Cito um trecho:

“Peço-lhe que agradeça ao ministro e informe-o de que não sinto a necessidade de uma decoração, mas que sinto a maior necessidade de um laboratório.”

Depois de ser nomeado professor na Sorbonne, Pierre Curie teve que preparar um novo curso. A posição foi dada muito a um caráter pessoal e um escopo muito geral. Ele teve grande liberdade na escolha

do assunto que apresentaria. Aproveitando essa liberdade, ele retornou a um assunto que lhe era de interesse e dedicou parte de suas aulas às leis da simetria, ao estudo dos campos de vetores e tensores e à aplicação dessas ideias à física dos cristais. Ele pretendia levar adiante essas lições e elaborar um curso que abrangesse completamente a física da matéria cristalizada, que teria sido especialmente útil porque esse assunto era bem pouco conhecido na França. Suas outras aulas trataram da radioatividade, expuseram as descobertas feitas nesse novo domínio e a revolução que haviam causado na ciência.

Mesmo estando muito absorvido na preparação do curso e muitas vezes doente, meu marido continuou trabalhando no laboratório, que estava se tornando cada vez melhor e mais organizado. Ele tinha um pouco mais de espaço agora e poderia receber alguns alunos. Em colaboração com A. Laborde, ele realizou investigações em águas minerais e gases liberados das nascentes. Este foi o último trabalho que ele publicou.

Suas faculdades intelectuais estavam naquele momento no auge. Só se podia admirar a segurança e o rigor de seu raciocínio sobre as teorias da física, sua clara compreensão de princípios fundamentais e um certo senso profundo de fenômeno que ele possuía por instinto, mas que aperfeiçoou durante o curso de uma vida inteiramente consagrada à pesquisa e reflexão. Sua habilidade experimental, notável desde o início, foi aumentada pela prática. Ele experimentou o prazer de um artista quando conseguiu uma instalação delicada. Ele também gostava de conceber e construir novos aparelhos e eu brincava dizendo-lhe que ele não ficaria feliz a menos que fizesse pelo menos uma tentativa desse tipo a cada seis meses. Sua curiosidade natural e imaginação vívida o levaram a empreendimentos em direções muito variadas; ele poderia mudar o objeto de sua pesquisa com uma facilidade surpreendente.

Ele foi escrupulosamente cuidadoso com a integridade científica e com a precisão completa em suas publicações. São perfeitas em sua forma e não menos naquelas partes em que ele aplica o espírito crítico a si próprio, expressando sua determinação de nunca afirmar algo que não parece totalmente claro. Ele expressa seu pensamento sobre esse ponto nas seguintes palavras:

“No estudo de fenômenos desconhecidos, pode-se fazer hipóteses muito gerais e avançar passo a passo com a ajuda da experiência. Esse método de progresso é certo, mas necessariamente lento. Pode-se, pelo contrário, fazer hipóteses ousadas nas quais se especifica o mecanismo do fenômeno. Tal método de procedimento tem a vantagem de sugerir certos experimentos e, sobretudo, de facilitar o raciocínio, tornando-o menos abstrato através do emprego de uma imagem. Mas, por outro lado, não se pode esperar, assim, conceber uma teoria complexa de acordo com o experimento. A hipótese precisa quase certamente incluir uma porção de erro juntamente com uma porção de verdade. E essa última porção, se existir, forma apenas uma parte de uma proposição mais geral à qual será necessária no final retornar.”

Além disso, mesmo que ele nunca tenha hesitado em fazer hipóteses, ele nunca permitiu a publicação prematura delas. Ele nunca conseguiu se acostumar a um sistema de trabalho que envolvia publicações apressadas e estava sempre mais feliz em um domínio em que apenas alguns investigadores trabalhavam silenciosamente. A moda considerável da radioatividade fez com que ele desejasse abandonar esse campo de pesquisa por um tempo e retornar aos estudos interrompidos da física dos cristais. Ele sonhava também fazer uma verificação de diversas questões teóricas.

Ele refletiu muito sobre seu ensino, que constantemente melhorava, e que lhe sugeria ideias sobre a orientação geral dos estudos e sobre os métodos de ensino, que ele acreditava serem baseados no contato com a experiência e a natureza. Ele esperava ver seus pontos de vista adotados pela Associação de Professores assim que foi formada e obter a declaração de que “o ensino das ciências deve ser o ensino dominante em ambos os liceus, de meninos e de meninas”.

“Mas”, ele disse, “essa noção teria poucas chances de sucesso”.

Mas esse último período de sua vida, tão fecundo, estava infelizmente prestes a terminar. Sua admirável carreira científica foi interrompida repentinamente no exato momento em que ele esperava que os anos de trabalho vindouros fossem menos difíceis do que os anteriores.

Em 1906, bastante doente e cansado, ele foi comigo e com as crianças para passar a Páscoa no vale Chevreuse. Aqueles foram dois dias agradáveis sob um sol ameno. Pierre Curie sentiu o peso da cansaço aliviar num repouso curativo próximo daqueles que lhe eram

queridos. Ele se divertia no campo com suas filhinhas e conversava comigo sobre o presente e o futuro delas.

Ele voltou a Paris para uma reunião e jantar da Sociedade de Física. Lá ele se sentou ao lado de Henri Poincaré e teve uma longa conversa com ele sobre métodos de ensino. Quando voltamos a pé para nossa casa, ele continuou a desenvolver suas ideias sobre a cultura com a qual sonhava, feliz ao saber que compartilhava de suas opiniões.

No dia seguinte, em 19 de abril de 1906, ele participou de uma reunião da Associação de Professores das Faculdades das Ciências, onde conversou muito cordialmente sobre os objetivos que a Associação poderia adotar. Ao sair da reunião e atravessar a rua Dauphine, foi atingido por uma carroça vindo da Pont Neuf e caiu sob suas rodas. Uma concussão no cérebro trouxe morte instantânea.

Então pereceu assim a esperança fundada no maravilhoso ser que deixou de existir. Na sala de estudos para a qual ele nunca voltaria, os botões-de-ouro que trouxera do campo ainda estavam frescos.

Material 7

► Orientações para elaboração do pôster sobre radioatividade

**F Ô L D E R**

Objetivo: Elaborar um pôster sobre radioatividade;

Público-alvo: Seus futuros alunos do Ensino Médio;

Em duplas: Colega diferente do grupo do trabalho de seminário, para socializar ideias;

Material: Elaboração digital ou manual, folha de tamanho A3, dobra que preferirem;

Abordagens mínimas necessárias no folder:

(Não necessariamente nessa ordem ou com estabelecimento de tópicos)

- Histórico inicial sobre indícios do fenômeno;
- Primeiras investigações na área;
- Influências em outras pesquisas;
- Conceitos e/ou teorias científicas envolvidas;
- Desenvolvimento tecnológico atual;
- Benefícios e malefícios;
- Reflexões sobre o desenvolvimento científico-tecnológico;
- Imagens ilustrativas;
- Referências conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT);
- Explorar sua criatividade.

Entrega: Cópia física e/ou digital por e-mail;

Apresentação: Breve socialização oral de um dos autores com projeção do arquivo e passagem do pôster na turma;

Data: __/__/_____.



3.3 EPISÓDIO DE ENSINO III

Aspectos biológicos das radiações ionizantes

O Episódio de Ensino III apresenta no Primeiro Momento Pedagógico – Problematização Inicial os minutos iniciais do *trailer* de uma minissérie envolvendo um acidente nuclear (Etapa 1), como ilustra o **Quadro 4**. Posteriormente, são realizadas problematizações sobre os efeitos à saúde provocados pela radiação com base nas informações mencionadas no recorte do vídeo assistido (Etapa 2).

O Segundo Momento Pedagógico – Organização do Conhecimento inicia com a reprodução de um trecho de episódio da mesma minissérie, o qual explana aspectos biológicos das radiações ionizantes (Etapa 3). Na sequência, são realizados questionamentos aos licenciandos sobre os possíveis elementos que poderiam causar tais efeitos e a relação com algum(a) cientista que tenha trabalhado com esse tipo de substância e teve sua saúde prejudicada (Etapa 4). Então, ao ser levantada a ideia sobre Marie Curie⁴⁷, é reproduzido um vídeo-animação⁴⁸ sobre sua história, a fim de familiarizar os alunos sobre suas contribuições científicas e as questões biológicas estudadas (Etapa 5). Depois, é lido individualmente um capítulo de livro sobre o elemento rádio, em que aspectos históricos contextuais são abordados (Etapa 6). Em seguida, os licenciandos se reúnem em trios e respondem às três questões elaboradas com base no texto, as quais irão subsidiar as discussões, mediações e explanações conceituais subsequentes por parte do(a) professor(a) (Etapa 7).

Por fim, no Terceiro Momento Pedagógico – Aplicação do Conhecimento os licenciandos realizam uma investigação em duplas sobre a misteriosa morte de um espião russo, preparam um dossiê sobre o caso e elaboram uma reportagem sobre o assunto visando à informação de seus futuros alunos do Ensino Médio. A finalização da proposta ocorre com um debate em turma, a partir de questões inicialmente trazidas pelo(a) professor(a) (Etapa 8).

⁴⁷ Na pesquisa realizada, com base em questionário prévio, constatou-se que os licenciandos no início de sua graduação conhecem poucos aspectos da história de Marie Curie e de sua contribuição científica-tecnológica.

⁴⁸ Mesmo vídeo utilizado no Episódio de Ensino II. Caso tenha aplicado essa proposta também, pode-se pular a Etapa 5.

Quadro 4 – Episódio de Ensino III: Aspectos biológicos das radiações ionizantes

Momento Pedagógico	Etapa	Recurso empregado	Material para avaliação
1º Problematização inicial	1) <i>Trailer</i> de uma minissérie	Minutos iniciais (0'-1'32") do <i>trailer</i> de “Chernobyl”	-
	2) Problematizações	“O que é a radiação mencionada no vídeo?”, “Quais os possíveis efeitos dela no organismo?”, “O que ocorre no organismo para que esses efeitos sejam observados?” e “Os efeitos a curto e longo prazo são os mesmos?”	Respostas orais e comentários dos licenciandos aos questionamentos
2º Organização do conhecimento	3) Trecho de uma minissérie	Reprodução de trecho do episódio 3 de “Chernobyl” (13"-15") e entrega aos alunos de cópia transcrita do material	-
	4) Questionamentos	“Que tipos de elementos poderiam causar tais efeitos?” e “Conhece a história de alguém que trabalhou com esse tipo de elemento e teve sua saúde prejudicada?”	Respostas orais e comentários dos licenciandos aos questionamentos
	5) Vídeo	Vídeo-animação sobre Marie Curie e entrega aos alunos de cópia transcrita do material	-
	6) Leitura individual	Leitura do texto “O Rádio”	Principais ideias destacadas pelos licenciandos
	7) Atividade em trios/turma sobre o texto	Discussões em trios e respostas sobre três perguntas realizadas com base no texto. Socialização das ideias à turma e debate sobre conceitos científicos com mediação do(a) professor(a) para cada uma das perguntas	Respostas dos trios às perguntas e posteriores discussões realizadas em turma
3º Aplicação do conhecimento	8) Trabalho de investigação em duplas e debate	Investigação da morte de Alexander Litvinenko, preparo e entrega de dossiê e elaboração de reportagem sobre o assunto considerando os futuros alunos do Ensino Médio como público-alvo. Debate em turma sobre o caso com base em pontos inicialmente trazidos pelo(a) professor(a)	Dossiê preparado pelos e reportagem elaborada pelas duplas e debate realizado em turma

Fonte: A autora (2020)



MATERIAIS -----

EPISÓDIO DE ENSINO III



ASPECTOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Observação: Ícones clicáveis ▶

Material 1 -----

▶ *Slides* “Episódio de Ensino III: Aspectos biológicos das radiações ionizantes”



Material 2 -----

▶ Vídeos da minissérie “Chernobyl” e transcrição de trechos



Material 3 -----

▶ Vídeo “O gênio de Marie Curie” e sua transcrição



Material 4 -----

▶ Texto “O Rádio”



Material 5 -----

▶ Atividade de discussão em trios sobre o texto “O Rádio”



Material 6 -----

▶ Texto de apoio “Radiação ionizante, efeitos à saúde e medidas de proteção”



Material 7 -----

▶ Texto de apoio “Reportagem”



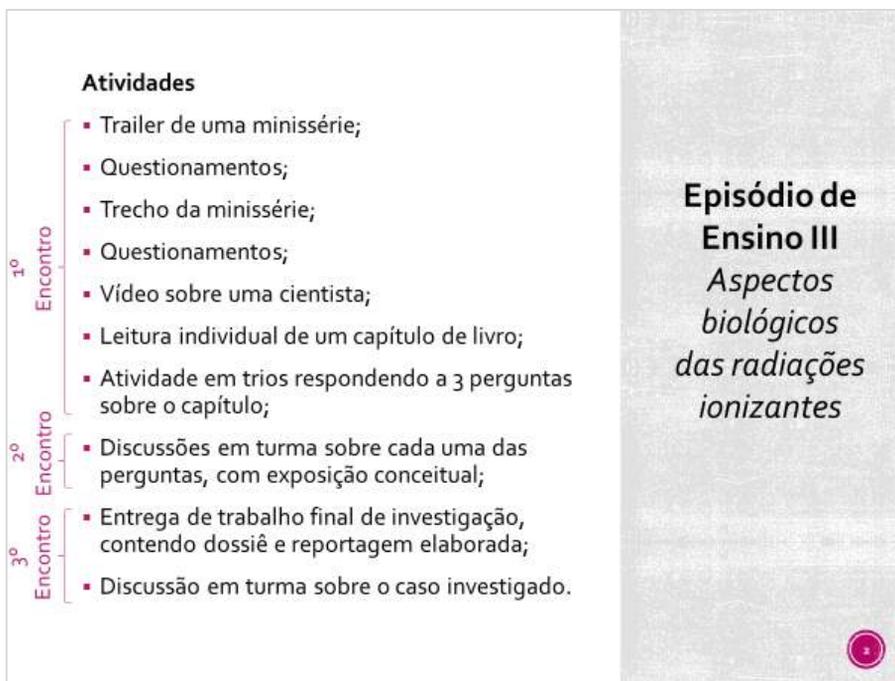
Material 8 -----

▶ Orientações para o trabalho final investigativo



Material 1

► Slides “Episódio de Ensino III: Aspectos biológicos das radiações ionizantes”



Para realizar o *download*, consultar
<quimicaempratica.com/produto-educacional>



Aspectos biológicos das radiações ionizantes

Mestranda: Karoline dos Santos Tarnowski
Orientadora: Prof. Dra. Ivani Teresinha Lawall



1

Atividades

- Trailer de uma minissérie;
- Questionamentos;
- Trecho da minissérie;
- Questionamentos;
- Vídeo sobre uma cientista;
- Leitura individual de um capítulo de livro;
- Atividade em trios respondendo a 3 perguntas sobre o capítulo;
- Discussões em turma sobre cada uma das perguntas, com exposição conceitual;
- Entrega de trabalho final de investigação, conteúdo de dossiê e reportagem elaborada;
- Discussão em turma sobre o caso investigado.

Encontro 1º
Encontro 2º
Encontro 3º

Episódio de Ensino III Aspectos biológicos das radiações ionizantes



2

Chernobyl (HBO, 2019)
Reprodução do trailer – 0'0" a 1'32"



Disponível em: HBO (2019).



3

O que é a radiação mencionada no vídeo?

Quais os possíveis efeitos dela no organismo?

O que ocorre no organismo para que esses efeitos sejam observados?

Os efeitos a curto e longo prazo são os mesmos?



4

Chernobyl (HBO, 2019)
Reprodução do episódio 3 – 13'00" a 15'00"
Texto do vídeo transcrito
Diálogo entre o dentista Valery Legasov e o político Boris Shcherbina



Valery Legasov Boris Shcherbina

Disponível em: HBO GO (2019) e Vale Rio (2019).

Transcrição

Shcherbina: O que acontecerá com nossos homens?

Legasov: Que homens? Os mergulhadores?

Shcherbina: Os mergulhadores, os bombeiros, os homens da sala de controle. O que a radiação fará com eles... exatamente?

Legasov: No nível em que alguns deles ficaram expostos, a radiação ionizante dilacera a estrutura celular. A pele fica empolada, avermelhada, depois escurece. Isso é seguido de um período latente. Os efeitos imediatos vão retroceder, o paciente aparentará estar recuperado, até saudável, mas não está. Isso geralmente dura um ou dois dias.

Shcherbina: Continue.



5

Chernobyl (HBO, 2019)
Reprodução do episódio 3 – 13'00" a 15'00"
Texto do vídeo transcrito
Diálogo entre o cientista Valery Legasov e o político Boris Shcherbina



Valery Legasov Boris Shcherbina

Disponível em: HBO GO (2019) e Vale Rio (2019).

Legasov: Depois os danos celulares começam a se manifestar. A medula óssea morre. O sistema imunológico falha. Os órgãos e o tecido macio começam a se decompor. As artérias e as veias vão vaziar como peneiras, em que chegará um ponto que não será possível usar morfina para dor, o que é inimaginável. E aí, em três dias a três semanas, eles morrerão. É isso o que acontecerá com esses homens.

Shcherbina: E nós dois?

Legasov: Bom, nós recebemos uma dose regular, mas não foi muita coisa. Não é forte o suficiente para matar as células, mas consistente o bastante para danificar o nosso DNA. Então, com o tempo, câncer. Ou anemia aplástica. De qualquer forma, fatal.

Shcherbina: Bom, de certa forma parece que ficamos menos expostos, Valery.



6

Que tipos de elementos poderiam causar tais efeitos?

Conhece a história de alguém que trabalhou com esse tipo de elemento e teve sua saúde prejudicada?

7

O gênio de Marie Curie (GHOSE, 2017)

Reprodução do vídeo – 0' a 5'03"
Texto do vídeo transcrito

Disponível em: GHOSE (2017).

8

Marie Skłodowska-Curie: Imagens de outra face (MAIA, 2012)

Leitura individual – Capítulo 5: "O Rádio" (pp. 29-37) – 20'
Marcação de pontos importantes

Texto em Português de Portugal

Atômica → Atômica
Câncer → Câncer
Ciência nuclear → Física nuclear
Indenizações → Indenizações
Rádão → Radônio
Radioactiva → Radioativa
Rapaigas → Garotas

9

Marie Skłodowska-Curie: Imagens de outra face (MAIA, 2012)

Atividade de discussão em trios sobre o texto – 20'

- Debatam e escreva as conclusões do grupo na folha entregue → façam juntos;
- Posteriormente apresentarão oralmente à sala o que o trio refletiu;
- Discutiremos os conceitos científicos envolvidos em cada questão.

- Quais as características físicas e químicas do elemento rádio?
- Como o elemento rádio se popularizou na sociedade?
- Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

10

Orientações para o trabalho final

Trabalho de investigação em duplas

11

Marie Skłodowska-Curie: Imagens de outra face (MAIA, 2012)

Atividade de discussão em trios sobre o texto – 18'

- Apresentação das equipes, socialização geral no quadro e debate.

- Quais as características físicas e químicas do elemento rádio?
- O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

Características Isótopos do Ra Tempo de meia-vida Radiações α , β e γ

12



Comentários 1. Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

p. 20

Amostra de rádio galvanizado em cobre e coberto com polímero para impedir a reação com ar.

Fonte: Cavendish (2010)

- Brilhante
- Cor prateada
- Estrutura cúbica.

Fonte: Smolnik (2010)

Tabela Periódica: Grupo 2 e 7ª período
 Símbolo química: Ra
 Número atômico: 88
 Massa atômica: 226,025 u
 Isótopos: Átomos do mesmo elemento com diferentes quantidades de nêutrons. Do rádio são diversos e todos radioativos, sendo o mais abundante o Ra-226.
 Meia-vida: Tempo característico de um isótopo e necessário para que metade de sua quantidade inicial sofra de decaimentos radioativos. Meia-vida do Ra-226: 1600 anos.

13

Comentários 1. Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

Principais isótopos de rádio e seus decaimentos radioativos considerando seus tempos de meia-vida

Fonte: Smolnik (2010, adaptação nossa)

O gás radônio representa um risco à saúde da população, pois sua inalação e formação dos descendentes leva às células radioativas a irradiar os pulmões e favorecer a formação de câncer (CAMPOS, 2000).

14

Comentários 1. Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

Principal isótopo de rádio: Ra-226

Fonte: Cavendish (2010)

Decaimento radioativo do Ra-226

Fonte: Library (2010)

15

Comentários 1. Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

Decaimentos radioativos a partir do Ra-226: liberação de partículas α e β até a estabilidade da matéria

Filiação radioativa do Ra-226

Fonte: N. Cavendish (2010, adaptação nossa)

Legenda: a: anos; d: dias; min: minutos; s: segundos; α : partícula alfa; β : partícula beta; γ : radiação gama.

16

Comentários 1. Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

Principal isótopo de rádio: Ra-226

Fonte: Pedagogia (2007, adaptação nossa)

Faça a equação para liberação de energia de Ra-226

Decaimento α : 5,4%
 $E_{\alpha}(\alpha_1) = 4,6 \text{ MeV}$

Decaimento α : 94,6%
 $E_{\alpha}(\alpha_2) = 4,78 \text{ MeV}$

Decaimento γ :
 $E_{\gamma} = 0,18 \text{ MeV}$

17

Comentários 1. Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

O que são esses produtos originados?

α β γ

- ✓ Partícula **alfa**
 - ✓ Contém 2 prótons (p) e 2 nêutrons (n)
 - ✓ Caráter positivo
 - ✓ Ionizante (carga 2+)
 - ✓ Massa: 4 (2p + 2n)
 - ✓ Conhecida também por ser núcleo de hélio: He⁺
- ✓ Partícula **beta**
 - ✓ Quando negativa, partícula de elétron
 - ✓ Caráter negativo
 - ✓ Menos ionizante que a alfa por ter carga 1-
 - ✓ Massa: menor que as demais partículas subatômicas (p e n)
- ✓ Radiação **gama**
 - ✓ Radiação eletromagnética (luz)
 - ✓ Caráter neutro
 - ✓ Energia
 - ✓ Massa: Nula

Fonte: Filho (2000)

18



Comentários 1 Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

$${}_{88}^{226}\text{Ra} \longrightarrow {}_{86}^{222}\text{Rn} + 4\text{}_{2}^4\text{He} + 0\gamma$$

$${}_{82}^{214}\text{Pb} \longrightarrow {}_{83}^{214}\text{Bi} + 0\beta$$

O que são esses produtos originados?

Poder de penetração na matéria e modo comparativo:

Fonte: Cembranos, Camp, Instituto Mauel

19

Comentários 1 Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

P. 34

Radiação alfa: Penetra através da pele. Bloco de Pb.

Radiação beta: Bloco de Pb.

Radiação gama: Bloco de Pb.

Radiação produzida quando caíam e elétricas sofrem de sacole e siglo.

Fonte: Nuclear Power (2002), Radiação (2004)

20

Comentários 1 Quais as características físicas e químicas do elemento rádio? O que significam os isótopos e seu tempo de meia-vida?

Principais efeitos provocados pelas emissões radioativas

- Efeitos químicos
- Efeitos fisiológicos
- Efeitos térmicos
- Efeitos elétricos
- Efeitos luminosos

Cerca de 0,14 kcal por hora

Fonte: Faltus (2004).

21

Marie Skłodowska-Curie: Imagens de outra face (MAIA, 2012)

Atividade de discussão em trios sobre o texto – 18'

• Apresentação das equipes, socialização geral no quadro e debate.

2

Como o elemento rádio se popularizou na sociedade?

Quais foram suas aplicações e o que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico e tecnológico a partir de tais casos históricos?

Popularização, Aplicações, Análise do contexto

22

Comentários 2 Como o elemento rádio se popularizou na sociedade? Quais foram suas aplicações e o que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico e tecnológico a partir de tais casos históricos?

Popularização do rádio

pp. 29, 30, 31 e 33

- Os Curie sabiam que 7 toneladas de minério de U (pechblenda, contendo UO_2 e UO_3) eram necessários para obter 1 grama de Ra.
- Não patentearam o processo de extração do Ra por acreditar na ciência a favor da humanidade;
- No início das investigações foi constatado que interferia em tumores;
- Foi considerada por muitos como panaceia, remédio que curava tudo;
- Se tornou objeto de culto popular;
- Começou a ser amplamente utilizado em produtos;
- Descoberta de minas e minérios;

↓ custo dos produtos - ↑ da popularidade

Fonte: Animes e ilustrações de Francisco Lima

"O minério de pechblenda foi extraído com cuidado e lentamente pelo urânio, usado para colorir vidros e esmaltes de cerâmica."

7 000 000 gramas de minério

1 grama de Ra

0,00001%

23

Comentários 2 Como o elemento rádio se popularizou na sociedade? Quais foram suas aplicações e o que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico e tecnológico a partir de tais casos históricos?

Aplicações do rádio

pp. 29, 30, 31 e 33

Fotos

- Emprego em guerra:**
 - Pintura de mostradores de relógios de soldados;
 - Pintura de instrumentos de aviação;
 - Pintura de canos de armas;
 - Proposição para extinguir a guerra;
- Emprego como remédio:**
 - Câncer;
 - Elixir Radol;
 - Supostamente para qualquer doença.
- Alimentos e bebidas:**
 - Sugestão para induzir produção de ovos;
 - "Água radioativa" – águas termais;
 - Radium Ore Revigator (1912 a 1940);
 - Radium Ores Company (década de 1920);
- Ambientes:**
 - Chás de rádio – ambiente com ar radioativo;
 - Horas em galerias onde se extraía urânio;
- Produtos:**
 - Pastas de dente;
 - Sais de banho;
 - Sabonetes;
 - Produtos de beleza;
 - Botões;
 - Relógios;
 - Inseticidas.

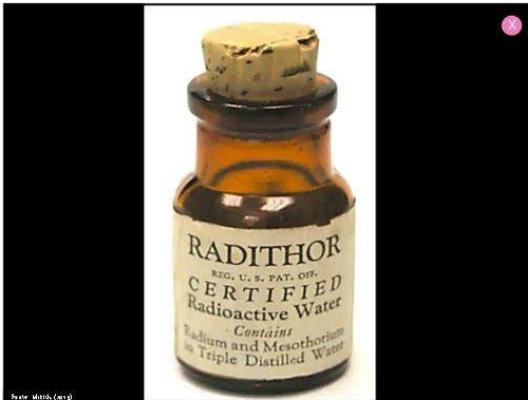
24



25



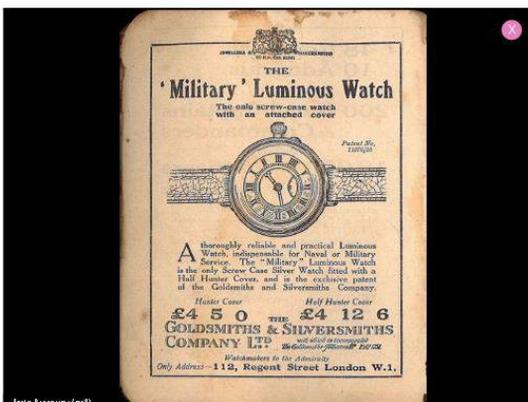
26



27



28



29



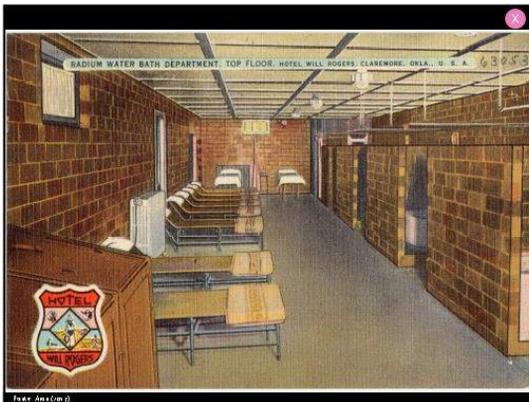
30



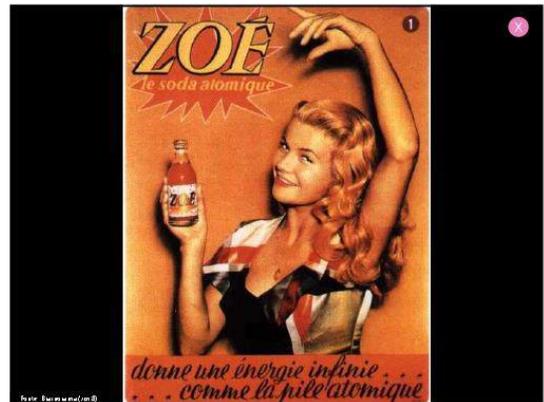
31



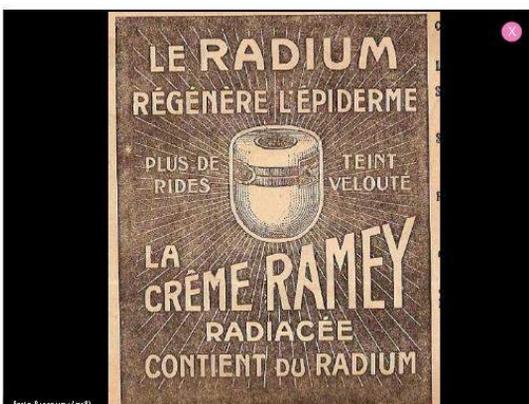
32



33



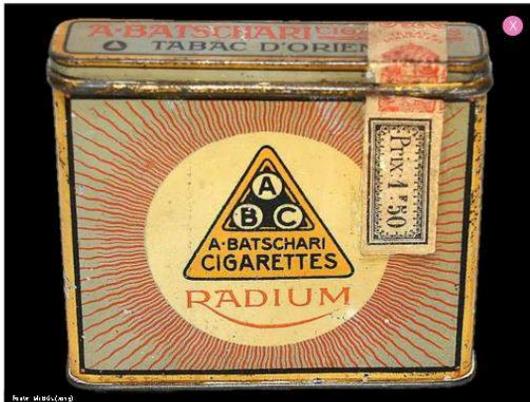
34



35



36



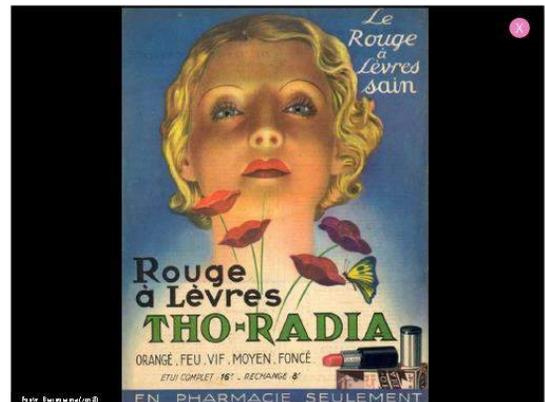
37



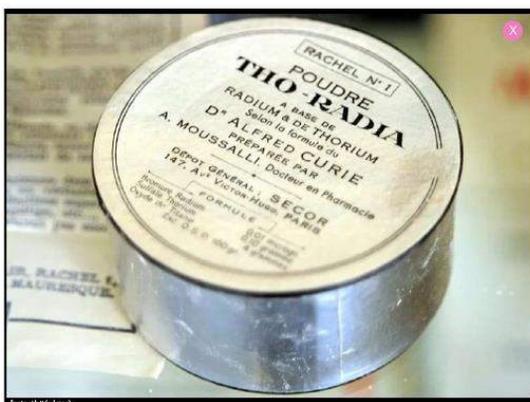
38



39



40



41



42



X-Radium Foot Warmer

The Necessity of Every Rural Mail Carrier

Costs nothing to operate. No carbon, kerosene, charcoal, gasoline, petroleum, etc. No danger, odor or smoke—but light, convenient, safe, and a furnace for heat. 10 inches long, 6 1/2 inches wide, 4 inches high, and weighs but 10 pounds. Made in two parts. 1st.—A Heating Pad filled with X-Radium, a wonderful substance newly discovered which absorbs heat like a sponge absorbs water. Place this pad on one shoe or over a fire for twenty minutes and it will get hot and remain piping hot for hours. 2nd.—A Receiving Foot Rest into which the Pad slips after being heated. Finely polished, nickel plated and plush covered.

Retails for only \$1.50

Don't suffer from cold feet or run the risk of gas accidents, but send for an X-Radium Foot Warmer and be prepared for inclement cold weather. If the dealer cannot supply you with the X-Radium Foot Warmer send us your order direct.

NOVELTY MFG. CO., Dept. 6, Jackson, Mich., U. S. A.

Fonte: Enciclopédia (on/d)

43

Une saine et douce chaleur, radio-active...

Une laine simple, élastique, résistante, apaisée et confortable, qu'un traitement physico-chimique a doué d'un remarquable pouvoir de radio-activité. Cette laine offre les remarquables effets de stimulation organique, d'excitation cellulaire, transmis par le radium. Les laines ainsi traitées ont une action hygiénique pour la peau. Une indéniable valeur hygiénique. Pour obtenir les laines de Bébé, les laines des enfants, vos trousses et vos giletons, adressez la

LAINE ORADIUM

Source précieuse de chaleur et d'énergie vitale, insubmersible, infatigable, c'est un Produit de la LAINE MÉDICALE 20 rue St-Georges, PARIS. Téléphone 07 28

LA LAINE ORADIUM est vendue dans toutes les pharmacies et dans les magasins de chaussures. Adressez-vous à votre fournisseur habituel pour plus amples renseignements et pour commander votre laine ORADIUM. Les laines ORADIUM sont vendues par paquets de 25 grammes. 1 kg. 40 francs. 500 grammes 20 francs. 250 grammes 10 francs. 125 grammes 5 francs. 62 grammes 2 francs 50 centimes. 31 grammes 1 franc 25 centimes. 15 grammes 50 centimes. 7 grammes 25 centimes. 3 grammes 10 centimes. 1 gramme 4 centimes.

Fonte: Enciclopédia (on/d)

44

15 DAY COURSE VITA RADIUM SUPPOSITORIES

Guaranteed to contain Radon emanating from Radium and to be perfectly innocuous.

The Home Products Co. Suite 10, East 14th Street, Toronto, Ontario

FOR DIRECTIONS SEE OTHER BOX

Fonte: Enciclopédia (on/d)

45

Comentários 2 Como o elemento rádio se popularizou na sociedade? Quais foram suas aplicações e o que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico e tecnológico a partir de tais casos históricos?

Análise do contexto pp. 31 a 34

1898 • Rádio descoberto;

1902 • Após anos de trabalho, isolamento de decima parte de rádio na forma de óxido de rádio;

1904 • Sabia-se que a semana seguinte rádio era mais para os raios;

1906 • Constatação de prejuízos sobre efeitos do rádio aos cientistas;

1906 • (Morte de Pierre Curie em acidente)

1920 • Marie acredita estar mal de saúde pelo rádio;

1925 • Morte de 5 pintores de relógio e mais de 30 doentes;

1925 • Processos das Giratos do Rádio;

1928 • Falocimento pouco tempo depois (anemia);

1934 • Falocimento de Marie Curie por consequência de exposição prolongada à radiação;

1934 • Proibição do rádio de exclusividade para uso médico;

1937 • Diversas consequências na sociedade e ambiental.

Fonte: Enciclopédia (on/d)

46

Comentários 2 Como o elemento rádio se popularizou na sociedade? Quais foram suas aplicações e o que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico e tecnológico a partir de tais casos históricos?

Análise do contexto pp. 31 a 34

- Uso indiscriminado de uma tecnologia 'recente' e 'milagrosa';
- Sem patente do processo → Aumento do lucro industrial;
- Os Curie acreditavam ser prematuro seu uso;
- O casal já havia experimentado consequências malélicas à saúde.

Década de 30: venda entre 70 e 100 mil dólares por grama de Ra-226 (U.S.A., 1930)

Laboratório de Curie com Ra-226 nos EUA (Fonte: Enciclopédia (on/d))

Mulheres pintando relógios em 1932 (Fonte: Enciclopédia (on/d))

Vista frontal de uma pintora com um sarcoma (câncer) no queixo induzido por rádio (Fonte: Enciclopédia (on/d))

Fonte: Enciclopédia (on/d)

47

Comentários 2 Como o elemento rádio se popularizou na sociedade? Quais foram suas aplicações e o que pode ser percebido sobre o desenvolvimento científico e tecnológico a partir de tais casos históricos?

Análise do contexto pp. 31 a 34

- Uso indiscriminado de uma tecnologia 'recente' e 'milagrosa';
- Sem patente do processo → Aumento do lucro industrial;
- Os Curie acreditavam ser prematuro seu uso;
- O casal já havia experimentado consequências malélicas à saúde.

1937 • Publicação artigo científico sobre o uso do rádio

Fonte: Enciclopédia (on/d)

Fonte: Enciclopédia (on/d)

48

Comentários 2 Como o elemento rádio se popularizou na sociedade? Quais foram suas aplicações e o que pode se perceber sobre o desenvolvimento tecnológico a partir de tais casos históricos?

Análise do contexto
p. 31

- Charlatanismo: Enriquecimento de suposto médico Dr. Rupert Wells (nome verdadeiro Dennis Dupuis) com o Elixir Radol para curar o câncer – não havia material radioativo.




Fonte: Orl. Edgar Anderson Barroim (2008)

Fonte: US Food & Drug Administration (2012)

49

Marie Skłodowska-Curie: Imagens de outra face (MAIA, 2012)

Atividade de discussão em trios sobre o texto – 18'

- Apresentação das equipes, socialização geral no quadro e debate.

3

Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

Pesquisas Aplicações Interação com o organismo

50

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

pp. 30 a 36

- Pesquisas com o rádio**
 - Fadiga física;
 - Dores nas articulações;
 - Queimaduras;
 - Insensibilidade nos dedos;
 - Visão comprometida/cataratas;
 - Audição comprometida/zumbido;
 - Mortalidade para ratos;
 - Instituto do Rádio.






Fonte: U.S. National Library of Medicine (2012)

Fonte: Loui (2012)

Fonte: Curie, Tubiana e Pierquin (2011)

Fonte: Fátima (2011)

51

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

Instituto do Rádio

regista as primeiras curas.

Fonte: Marie Curie e Frederic Joliot (2011)

52

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

Instituto do Rádio – Visita de Marie Curie ao Brasil

HERÓICA

Mineiros contra o câncer

Fonte: Anselmi (2011)

53

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

“ Deve ser fácil compreender como apreciei profundamente o privilégio de perceber que nossa descoberta se tornara um benefício para a humanidade, não apenas por sua grande importância científica, mas também por seu poder de ação eficiente contra o sofrimento humano e as terríveis doenças. Essa foi realmente uma recompensa esplêndida por nossos anos de trabalho árduo. ”
(CURIE, 2012, p. 98)

Fonte: Curie (2012)

54



Comentários 3 **Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?**

Instituto do Rádio

pp. 30 a 36

Pesquisas com o rádio

- Instituto do Rádio acreditava que os riscos eram pequenos;
- Ingestão de rádio mais grave que exposição externa;
- Alerta aos trabalhadores para se protegerem ao utilizar a substância;
 - Proteção de chumbo;
 - Luvas;
 - Respirar ar puro;
- Pesquisadores do Instituto do Rádio faleceram de anemia.

Falecimento de Marie Curie (presume-se) por anemia aplásica.

Fonte: Museu Curie, Arquivo da família (mar); Fonte: Wikipédia

55

Comentários 3 **Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?**

pp. 30 a 36

Emissões do rádio em tumores

- Benignos / malignos;
- Diminuição / eliminação;

Rádio considerado panaceia universal

- Câncer? Possivelmente outras doenças! Acne, úlceras, diabetes, artrite, flatulência e esantema.

Produtos e dispositivos de rádio

- Interação da radiação com o corpo humano;
- Anemia e falecimento das Garotas do Rádio.

"RADIIUM GIRL" AWAITS DEATH AT ORANGE, N. J.

"RADIIUM GIRL" IS VICTIM

Fourth to Die of Poisoning After Painting: HILLSIDE, N. J. (P. M.) Mrs. Edna Haxeman, 27, one of the "five radium girls" who sued the U. S. Radium Corporation in 1928, charging they contracted radium poisoning while painting luminous numerals on watch dials, died here. Only 3 of the 5, who 11 years ago were given a year to live, in still alive. Mrs. Edna Haxeman, 43, of Chicago.

LIVING DEATH VICTIM WINS

Fonte: Getty Images

56

Comentários 3 **Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?**

Como visto anteriormente, os isótopos de rádio podem liberar radiação ionizante como partículas α e β e até mesmo radiação eletromagnética γ , no caso do Ra-226.

Como essas radiações α , β e γ poderiam interagir com o corpo humano causando as consequências vistas até então?

- Partículas α e β e ondas γ , ao chegarem ao corpo, em DNA, dançam proteínas, células, tecidos e até moléculas;
- Elas, em grande quantidade, causam:
 - Câncer;
 - Anemia aplásica;
 - Falecimento em outros;
 - Doenças neurológicas;
 - Salivivora;
 - Morte.

Fonte: HDCC (Luz); Fonte: Museu Curie

57

Comentários 3 **Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?**

"Radiação ionizante é qualquer radiação, com ou sem massa de repouso, que pode remover elétrons de átomos e moléculas" (YOSHIMURA, 2009, p. 27)

Tipo de radiação	Radiação ionizante	Carga elemental	Massa (MeV/c ²)
Radiação eletromagnética	UV longínquo	0	0
	Raio-X	0	0
	Gama γ	0	0
Radiação partícula	Nêutron n	0	940
	Elétron β^-	-1	0,511
	Pósitron β^+	+1	0,511
	Múon μ^-	-1	106
	Próton p	+1	938
	Alfa α	+2	3730
Outros ions	Variável	Variável	Variável

Fonte: (adaptado de) DeWitt (2005, p. 1) e Ladoles (2008)

58

Comentários 3 **Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?**

Espetro eletromagnético

Comprimento de onda (m): 10^3 a 10^{-15}

Frequência (Hz): 10^3 a 10^{21}

Tipos de radiação: Rádio, Micro-ondas, Infravermelho, Visível, Ultravioleta, Raios X, Raios Gama.

Exemplos de fontes: Rádio (rádio), Micro-ondas (forno), Infravermelho (aquecedor), Visível (sol), Ultravioleta (luz solar), Raios X (máquina), Raios Gama (núcleo).

Fonte: Museu Curie

59

Comentários 3 **Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?**

Corpo humano: Existência de células contendo o DNA e a presença da água no organismo

Célula humana

Organelos: Mitocôndria, Núcleo, Retículo endoplasmático, Complexo de Golgi, Citosol, Membrana celular.

Genética

Chromossomo: Telômero, Centríolo, Cromátida, Telômero.

DNA (Dupla hélice): Estrutura de fitado de açúcar, Nucleotídeos (Adenina, Guanina, Citosina, Timina).

Hidratação

Problemas Ana Escobar e nutricionista Lara Nóbrega explicam por que tomar água é importante.

Água no corpo

- Á água é o elemento mais abundante no organismo humano;
- É fundamental para coibir o tórax e o meio condutor de íons em reações químicas e metabólicas, de difusão ao transporte de nutrientes;
- Também age diretamente no equilíbrio da temperatura.

Homem e mulher

70 kg (homem) vs 55 kg (mulher)

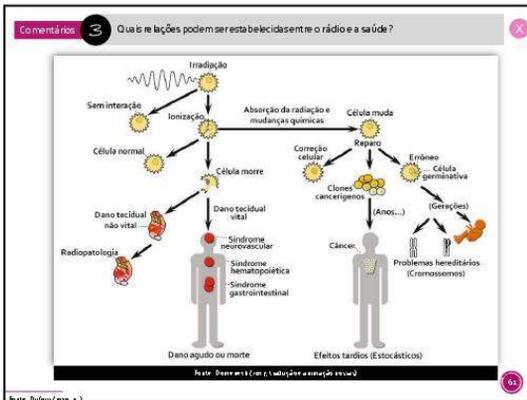
80% do peso* vs 60% do peso*

Os volumes são diferentes porque a estrutura muscular e óssea é diferente na quantidade de músculos, ossos e gordura.

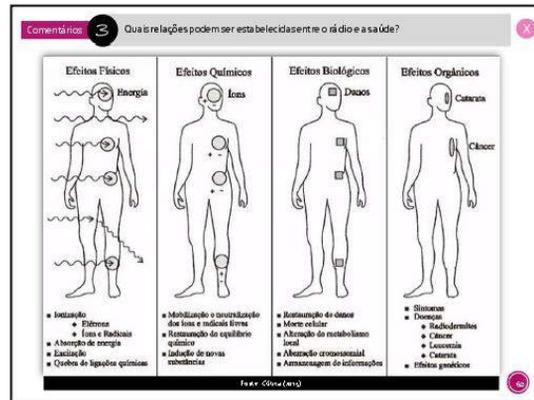
Fonte: Quatro distantes (com a tradução livre); Fonte: Fm (Luz) (Luz)

* A água não é um elemento no sentido químico, mas sua utilização, pois é formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio: H₂O.

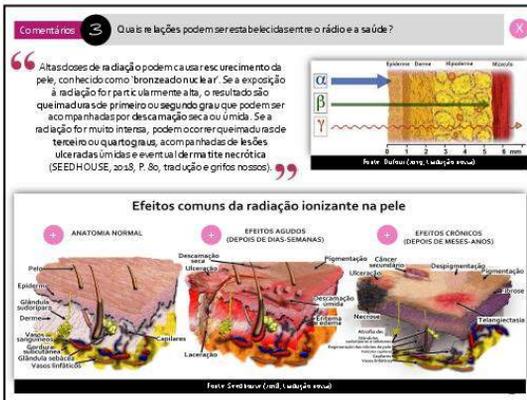
60



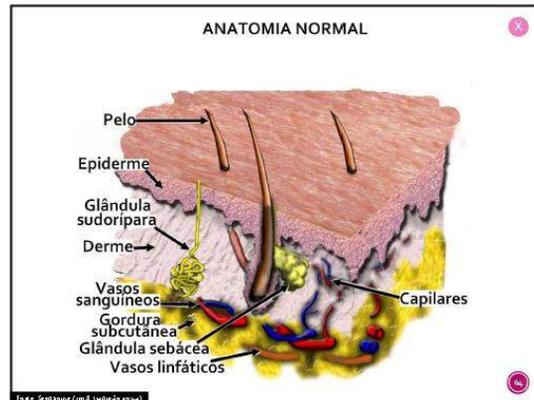
61



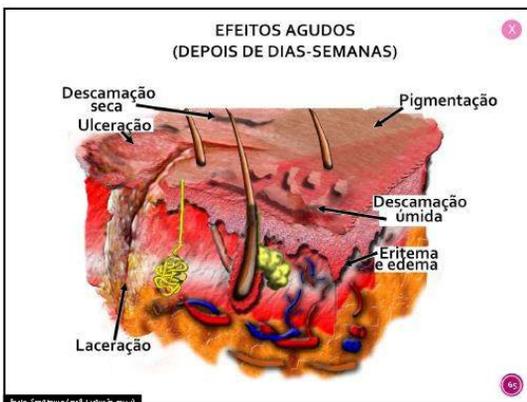
62



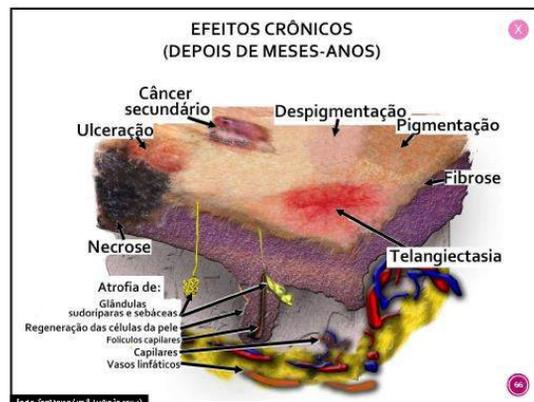
63



64



65

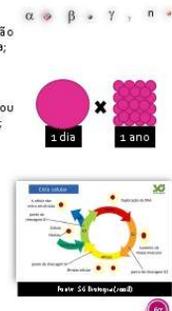


66

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

Fatores de sensibilidade celular à radiação ionizante

- **Energia de radiação**
Partículas pesadas (prótons, nêutrons ou radiações alfa) são mais tóxicas para a célula do que radiação eletromagnética.
- **Taxa de dose**
A mesma dose administrada por um período muito curto ou distribuído ao longo do tempo não terá os mesmos efeitos;
- **Tipo de células**
Induindo estágio de diferenciação e atividade mitótica;
- **Ciclo celular**
A célula é mais radiosensível em certas fases;
- **Oxigênio**
Concentração de oxigênio no citoplasma.



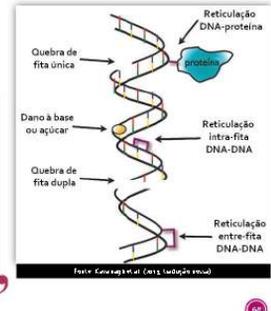
Fonte: Bulfinch (2013, p. 30)

67

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

- **Lesões no DNA**
- Um trecho sem reparo no DNA pode causar:
 - Apoptose (Morte celular programada);
 - Mutação.

“A radiação ionizante causa muitos tipos diferentes de danos ao DNA, por rotas diretas e indiretas. Esse dano varia de lesões ‘simples’, como modificações de base ou açúcar, interações DNA-proteína; para reticulações de DNA e quebras de fita simples para lesões mais ‘complexas’, como quebras de suporte duplo do DNA (KAVANAGH et al., 2013, p. 2459, tradução nossa).”



Fonte: Kavanagh et al. (2013, tradução nossa)

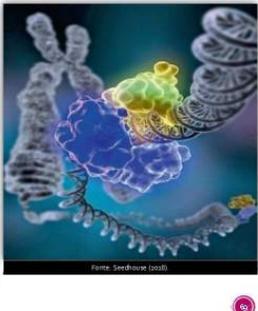
Fonte: Bulfinch (2013, p. 31)

68

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

- **Lesões no DNA**
- Um trecho sem reparo no DNA pode causar:
 - Apoptose (Morte celular programada);
 - Mutação.

“A radiação ionizante causa muitos tipos diferentes de danos ao DNA, por rotas diretas e indiretas. Esse dano varia de lesões ‘simples’, como modificações de base ou açúcar, interações DNA-proteína; para reticulações de DNA e quebras de fita simples para lesões mais ‘complexas’, como quebras de suporte duplo do DNA (KAVANAGH et al., 2013, p. 2459, tradução nossa).”



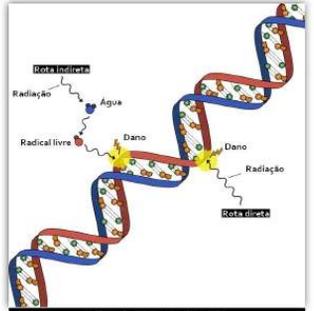
Fonte: Seckhouse (2010)

Fonte: Bulfinch (2013, p. 31)

69

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

- **Lesões no DNA: Rota direta e indireta.**

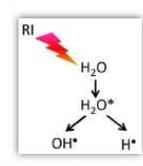


Fonte: Duke University (2016, tradução nossa)

70

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

- Há dois mecanismos para realizar a radiólise da água (H₂O)
- **Radiólise por excitação:**



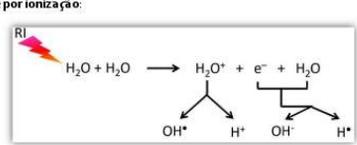
- Ruptura potencial de ligações covalentes → Formação de 2 radicais livres;
 - OH* → poderoso agente oxidante;
 - H* → poderoso agente redutor;
- Ca da radical leva consigo seu único elétron;
- Esses radicais provocam reações químicas nas moléculas vizinhas.

Fonte: Bulfinch (2013, p. 30)

71

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

- Há dois mecanismos para realizar a radiólise da água (H₂O)
- **Radiólise por ionização:**



- Um elétron é arrancado da água → Ligação covalente se rompe;
- Dissociação de H₂O⁺, formando:
 - OH* → radical livre poderoso agente oxidante;
 - H* → íon hidrogênio;
- O elétron livre dissocia outra molécula de H₂O, formando:
 - OH- → íon hidroxila;
 - H* → radical livre poderoso agente redutor;

Fonte: Bulfinch (2013, p. 30)

72

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

• Reações pós-radiação: Os radicais livres OH^{\bullet} e H^{\bullet} podem se envolver em dois tipos de reações:

Recombinação de radicais livres para formação de moléculas estáveis

$H^{\bullet} + OH^{\bullet} \rightarrow H_2O$ Água

$H^{\bullet} + H^{\bullet} \rightarrow H_2$ Gás hidrogênio

$OH^{\bullet} + OH^{\bullet} \rightarrow H_2O_2$ Peróxido de hidrogênio

Interação dos radicais livres com macromoléculas (M) das células

$MH + OH^{\bullet} \rightarrow M^{\bullet} + H_2O$ Radical complexo

$MH + H^{\bullet} \rightarrow M^{\bullet} + H_2$ Radical complexo

$M^{\bullet} + OH^{\bullet} \rightarrow MOH$ Gás hidrogênio

$M^{\bullet} + M^{\bullet} \rightarrow MM$ Oxidação da macromolécula

Dímero

Fonte: Bulhões (2013, p. 40)

73

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

• Lesões da membrana celular e do citoplasma

Membrana celular saudável

Membrana celular submetida ao estresse oxidante

Dose da RI	Efeito
Média	Peroxidação dos ácidos graxos da membrana celular <ul style="list-style-type: none"> Disfunções dos receptores de membrana; Disfunções dos sistemas de transporte de canais iônicos;
Alta	Anormalidades da permeabilidade da membrana <ul style="list-style-type: none"> Perturbação do funcionamento celular; Inflamação dos tecidos; Alteração de um grande número de proteínas do citoesqueleto <ul style="list-style-type: none"> Perturbações potenciais do funcionamento celular;
Muito alta	Morte celular <ul style="list-style-type: none"> Necrose tecidual.

Legenda: RI - Radiação Ionizante

Fonte: Bulhões (2013, p. 40)

74

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

Os **efeitos biológicos da radiação ionizante** são uma consequência da **ionização** dos átomos das biomoléculas, que podem causar alterações químicas e alterar ou erradicar suas funções.

A **energia transmitida** pela radiação pode atuar diretamente causando a **ionização da molécula** biológica ou indiretamente através dos **radicais livres** resultantes da ionização das moléculas de água que circundam a célula.

Devido à ionização, as **proteínas** podem perder a funcionalidade de seus grupos amino e modificar seu comportamento, aumentando assim sua capacidade de resposta química; as **enzimas** seriam desativadas; **lipídios** sofrerão peroxidação; **carboidratos** se dissociarão; e cadeias de **ácidos nucleicos** experimentarão rupturas e modificações de estrutura.

Porém, dentre todas as possíveis alterações combinadas, o **DNA** é o principal alvo da radiação, pois contém genes / cromossomos que contêm informações para o funcionamento e a reprodução das células, essenciais para a sobrevivência das células.

Fonte: Demaretti (2011, p. 4). Adaptação do autor.

75

Comentários 3 Quais relações podem ser estabelecidas entre o rádio e a saúde?

Texto sobre radiações ionizantes
Material complementar – Organização Mundial da Saúde (2016)

Fonte: Demaretti (2011, p. 4). Adaptação do autor.

76

Global Regiões

Organização Mundial da Saúde

Tópicos de Saúde Países Sala de notícias

Início / Notícias / Fichas técnicas / Detalhe / Radiação ionizante, efeitos à saúde e medidas de proteção

Radiação ionizante, efeitos à saúde e medidas de proteção

29 de abril de 2016

Principais fatos

- A radiação ionizante é um tipo de energia liberada pelos átomos na forma de ondas ou partículas eletromagnéticas.
- As pessoas são expostas a fontes naturais de radiação ionizante, como no solo, água e vegetação, bem como em fontes criadas pelo homem, como raios-x e dispositivos médicos.

77

World Health Organization Tópicos de Saúde Países Sala de notícias

Fontes de radiação

As pessoas são expostas diariamente a fontes naturais de radiação e fontes feitas pelo homem. A radiação natural vem de muitas fontes, incluindo mais de 80 materiais radioativos naturais encontrados no solo, na água e no ar. O rádio, um gás natural, emana das rochas e do solo e é a principal fonte de radiação natural. Todos os dias, as pessoas inalam e ingerem radionuclídeos do ar, alimentos e água.

As pessoas também são expostas à radiação natural dos raios cósmicos, principalmente em grandes altitudes. Em média, 80% da dose anual de radiação de fundo que uma pessoa recebe é devida a fontes de radiação terrestre e cósmica que ocorrem naturalmente. Os níveis de radiação de fundo variam geograficamente devido a diferenças geológicas. A exposição em certas áreas pode ser 200 vezes maior que a média global.

A exposição humana à radiação também vem de fontes produzidas pelo homem, que vão desde a geração de energia nuclear até o uso médico da radiação para diagnóstico ou tratamento. Hoje, as fontes mais comuns de radiação ionizante fabricadas pelo homem são dispositivos médicos, incluindo máquinas de raios-X.

Exposição à radiação ionizante

A exposição à radiação pode ser interna ou externa e pode ser adquirida através de várias vias de exposição.

A **exposição interna** à radiação ionizante ocorre quando um radionuclídeo é inalado, ingerido ou entra na corrente sanguínea (por exemplo, por injeção ou através de feridas). A exposição interna para quando o radionuclídeo é eliminado do corpo, espontaneamente (como através de excrementos) ou como resultado de um tratamento.

A **exposição externa** pode ocorrer quando material radioativo no ar (como poeira, líquido ou aerossóis) é depositado na pele ou na roupa. Esse tipo de material radioativo geralmente pode ser removido do corpo simplesmente lavando-se.

78



World Health Organization Tópicos de Saúde Países Sala de notícias

A dose eficaz é usada para medir a radiação ionizante em termos do potencial de causar danos. O sievert (Sv) é a unidade de dose efetiva que leva em consideração o tipo de radiação e a sensibilidade dos tecidos e órgãos. É uma maneira de medir a radiação ionizante em termos do potencial de causar danos. O Sv leva em consideração o tipo de radiação e a sensibilidade dos tecidos e órgãos.

O Sv é uma unidade muito grande, portanto, é mais prático usar unidades menores, como milisieverts (mSv) ou microsieverts (µSv). Existem mil µSv em um mSv e mil mSv em um Sv. Além da quantidade de radiação (dose), geralmente é útil expressar a taxa na qual essa dose é administrada (taxa de dose), como microsieverts por hora (µSv / hora) ou milisievert por ano (mSv / ano).

Além de certos limiares, a radiação pode prejudicar o funcionamento dos tecidos e / ou órgãos e produzir efeitos agudos, como vermelhidão da pele, perda de cabelo, queimaduras por radiação ou síndrome da radiação aguda. Esses efeitos são mais graves em doses mais altas e taxas de doses mais altas. Por exemplo, o limiar de dose para a síndrome de radiação aguda é de cerca de 1 Sv (1000 mSv).

Se a dose de radiação é baixa e / ou é administrada por um longo período de tempo (baixa taxa de dose), o risco é substancialmente menor porque há uma maior probabilidade de reparar o dano. Ainda existe o risco de efeitos a longo prazo, como o câncer, que podem aparecer anos ou até décadas depois. Efeitos desse tipo nem sempre ocorrem, mas sua probabilidade é proporcional à dose de radiação. Esse risco é maior para crianças e adolescentes, pois eles são significativamente mais sensíveis a exposição à radiação do que os adultos.

Estudos epidemiológicos em populações expostas à radiação, como sobreviventes de bombas atômicas ou pacientes com radioterapia, mostraram um aumento significativo do risco de câncer em doses acima de 100 mSv. Mais recentemente, alguns estudos epidemiológicos em indivíduos expostos a exposições médicas durante a infância (TC; pediátrica) sugeriram que o risco de câncer pode aumentar mesmo em doses mais baixas (entre 50-100 mSv).

79

Trabalho de investigação em duplas

Fonte: Tommasi (2012)

Fonte: Appl Stu Libr (2015)

80

Trabalho de investigação em duplas

"Alexander Litvinenko nasceu em Voronezh, em 1962. Após concluir os estudos em 1980, foi mobilizado para o exército e, nos vinte anos que se seguiram, sobiu de soldado raso para tenente-coronel.

A partir de 1988, serviu nas agências de contraespionagem do KGB soviético e, depois de 1991, integrou os quadros do MB-FSK-FSB da Rússia, especializando-se na ação antiterrorista e no combate ao crime organizado" – Porto Editora (2007, grifo nosso).

Morreu misteriosamente em 2006.

O que aconteceu ao Litvinenko?

Fonte: BBC (2015)

Fonte: Wikimedia Com (2015)

81

Trabalho de investigação em duplas

Orientações e objetivos

- Investigar o caso envolvendo a morte de Alexander Litvinenko
 - Selecionar fonte consideradas confiáveis por vocês;
 - Pesquisar em outras línguas além do português, se possível – existem recursos de tradução online.
- Preparar um dossiê sobre o caso
 - Agrupar em uma pasta os diversos materiais encontrados sobre o assunto;
 - Será subsidiado para a elaboração da reportagem e auxiliará com argumentos para o posterior debate.
- Elaborar um texto jornalístico de reportagem sobre o assunto
 - Escrever uma reportagem sobre o caso tendo como público-alvo seus futuros alunos do Ensino Médio;
 - O texto auxiliará em seus argumentos para o debate.
- Participar de debate em sala sobre a temática
 - Debater sobre pontos do caso trazidos pela professora;
 - Discussão envolvendo os materiais encontrados e a reportagem elaborada.

Fonte: Correio (2015)

Fonte: Reuters (2015)

Fonte: Reuters (2015)

82

Trabalho de investigação em duplas

Questões iniciais para reflexão sobre o caso

(Tais questionamentos poderão auxiliá-los no início da investigação. Poderão se indagar sobre outras questões a fim de tentar encontrar respostas ao caso)

- Quem foi Alexander Litvinenko?
- O que ele fez na época anterior ao seu falecimento?
- O que ocorreu?
- Qual(is) pessoa(s) pode(m) estar relacionadaa(s) ao caso?
- Como ele morreu? O que de fato levou à sua morte?
- Como o instrumento responsável pela sua morte se rigiu na sociedade?
- Quais são as características desse instrumento? Como afeta o organismo?
- Por que esse instrumento afetou fortemente Litvinenko e não os que o transportavam?
- Qual é o contexto atual da disponibilidade desse instrumento no mundo?
- Existem casos semelhantes ao de Litvinenko? Quais os pontos de convergência e divergência? Como isso pode ajudar a compreender o caso em questão?
- Como a morte de Alexander Litvinenko se relaciona à História da Ciência?

83

Trabalho de investigação em duplas

Texto de reportagem

Instruções gerais – Perez (2015)

Fonte: Perez (2015)

84

REPORTAGEM

Por dentro dos gêneros textuais: Clique e confira as características da reportagem, texto do universo jornalístico.

Características da reportagem

► A reportagem é um dos gêneros textuais do universo jornalístico, e todos os textos que habitam nesse universo têm como principal missão informar. Por cumprir uma tarefa tão importante, a reportagem desempenha uma função social e deve estar sempre a serviço da comunicação. Diferentemente do que acontece com a notícia, cujas características formam outro gênero textual, a reportagem não tem como objetivo noticiar um assunto pontual, algo que esteja acontecendo, por exemplo, no dia de hoje. A reportagem pode escolher como tema um assunto que faça parte da realidade das pessoas e que seja de interesse de uma comunidade;

► A notícia está no grupo de textos que compõem aquilo que os estudos da comunicação chamam de



A reportagem é um dos gêneros textuais do universo jornalístico. Ela não deve ser confundida com a notícia.

85

Trabalho de investigação em duplas
Discussões e entrega dos trabalhos

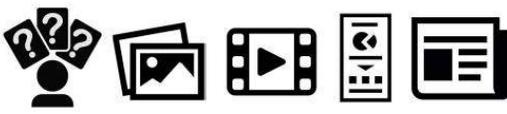


86

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Materiais



Perguntas Fotos Vídeos Infográficos Notícias

87

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Perguntas

- Quem foi Alexander Litvinenko?
- O que ele fez: na época anterior ao seu falecimento?
- O que ocorreu?
- Qual(is) pessoa(s) pode(m) estar relacionada(s) ao caso?
- Como ele morreu? O que de fato levou à sua morte?
- Como o *instrumento* responsável pela sua morte surgiu na sociedade?
- Quais são as características desse *instrumento*? Como afeta o organismo?
- Por que esse *instrumento* afetou fortemente Litvinenko e não os que o transportavam?
- Qual é o contexto atual da disponibilidade desse *instrumento* no mundo?
- Existem casos semelhantes ao de Litvinenko? Quais os pontos de convergência e divergência? Como isso pode ajudar a compreender o caso em questão?
- Como a morte de Alexander Litvinenko se relaciona à História da Ciência?

88

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Fotos



Fonte: BBC news.com Fonte: Oquir.com

89

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Vídeos

Fantástico 2007

Jornal Hoje 2016



Fonte: Fantástico (2007) Fonte: Jornal Hoje.com.br

90



O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Infográficos

11/12

Quatro pessoas na Alemanha foram contaminadas por polônio 210. Uma delas é o ex-espionista Dmitry Kovtun, que se encontrou com o espião russo no dia em que ele adoeceu.

Fonte: Globo (web)

91

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Infográficos

Morte por polônio-210

Contaminação
Polônio deve ser inalado ou ingerido para a radiação danificar o tecido.

1

2 **Sistema digestivo**
Comida emvenenada passa pelo intestino, entra o tecido macio, causa vômito intenso.

3 **Sangue**
Polônio se espalha para a corrente sanguínea acelerando a propagação pelo corpo.
7 tubos no urina por 24 horas: **5 Grays***
Médico em estado de risco: **0,00002 Grays**

4 **Ossos**
O veneno se acumula nos ossos, causando inchaço e dor à medida que a medula cresce as células brancas do sangue morrem.

5 **Coração**
Sucesso de insuficiência cardíaca intensa.

Órgãos
A radiação destrói a DNA no fígado e rins, causando sua falha.

* unidade de dose de radiação absorvida.
Fonte: May (web, ilustração própria)

92

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Infográficos

O ESPÃO QUE BEBEU POLÔNIO

Fonte: Superintendência de Notícias

93

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Infográficos

O ESPÃO QUE BEBEU POLÔNIO

Fonte: Superintendência de Notícias

94

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Infográficos

CONVENIENTE
O polônio emite partículas alfa, que fora do corpo podem ser barradas pela roupa ou até por uma folha de papel. Pode ser transportado em vidro e não aciona detectores de radiação em aeroportos.

MORTE NUCLEAR
Contato com pó ou partículas e suas vantagens como veneno.

EFETIVO
Absorvido por ingestão ou por feridas, o polônio bombardeia o organismo com partículas alfa, que causa morte celular. A radiação se acumula no fígado, nos rins, na medula óssea e nos folículos capilares.

MICRODOSE FATAL
Estima-se que um grama de Po-210 poderia matar 50 milhões de pessoas e afetar outros 50 milhões. Uma dose de um micrograma é fatal - Litvinenko deu três pequenos goles no chá "batizado" e sorveu 2,65 microgramas.

ONDE ENCONTRAR
Existente na natureza em doses mínimas, o polônio é manufacturado para uso em eliminadores de eletricidade estática. Apenas 100 gramas são produzidos por ano e cerca de 97% da produção mundial vem da Rússia.

Fonte: Superintendência de Notícias

95

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Infográficos

Yasser Arafat

Fonte: Superintendência de Notícias

96

ENTENDA O CASO ARAFAT

2004 12.out Após uma refeição, Arafat adoce, tem náuseas, dores abdominais e vômito. 29.out Chega a Paris para tratamento. 4.nov Entra em coma; médico suspeita de envenenamento.	8.nov Exames avaliam radiação gama na sua urina (polônio-210 é uma radiação alfa). 11.nov Arafat morre; palestinos iniciam investigação.	2012 Mai. Relatório do Instituto Suíço mostra níveis significativos de polônio-210 em suas roupas. Nov. Corpo de Arafat é exumado.	2013 Out. Revista médica britânica "The Lancet" vê possibilidade envenenamento. Nov. Al Jazeera revela detalhes da investigação.
--	--	---	---

1 O que é o **polônio-210**? Elemento radioativo descoberto por Marie Curie em 1898 que emite partículas alfa altamente nocivas.

2 Como é encontrado? Existe na natureza, mas uma quantidade suficiente para matar devido de ser produzida em um reator.

3 Por que é radioativo? Isótopos instáveis emitem energia substancial (5.000 vezes maior que o rádio).

Núcleo: 84 prótons, 125 nêutrons

Elétrons

Estrutura em forma de cristal

Mela-vida (tempo para diminuir a radiação pela metade) **138,4 dias**

Mela-vida biológica (tempo para metade do total ser expulso do organismo) **30/50 dias**

OUTRO CASO



97

O caso Alexander Litvinenko

Discussão em sala

Notícias

The Telegraph
"Polônio, a substância radioativa altamente tóxica que matou o espião Litvinenko"

Journal of Radiological Protection
"O envenenamento por polônio-210 de Alexander Litvinenko"

Polônio, a substância radioativa altamente tóxica que matou o espião Litvinenko

Puista 'provavelmente' aprovou assassinato de ex-espion em Londres, diz investigação

98

Referências

AGÊNCIA LÍDER. **Investigação Empresarial**. O Que Você Quer Descobrir? Saiba Tudo! Agência Líder, 2018. Disponível em: <https://liderdetetives.com.br/investigacao-empresarial-e-seus-resultados/>. Acesso em: 25 set. 2019.

AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. **Marie Curie and the Science of Radioactivity**. Center for History of Physics, American Institute of Physics, 2000. Disponível em: <https://history.aip.org/history/exhibits/curie/resbrz.htm>. Acesso em: 13 set. 2019.

ANDRADE, Rodrigo de Oliveira. **Mineiros contra o câncer**. Memória, **Pesquisa FAPESP**, ed. 280, abr. 2015. Disponível em: <https://revistasapesquisa.fapesp.br/2015/04/10/min-eiros-contra-o-cancer/>. Acesso em: 26 set. 2019.

ARHELL, Esther Inglis. **The women who took radium from savior to killer**. Physics, Gizmodo, 2013. Disponível em: <https://gizmodo.com/the-women-who-took-radium-from-savior-to-killer-643594794>. Acesso em: 18 set. 2019.

ARON, Nina Renata. **The 'Radium Girls' literally glowed from their work — and then it started killing them**. Timeline, 2017. Disponível em: <https://timeline.com/radium-girls-kate-moore-16c5746f9a6b>. Acesso em: 13 set. 2019.

BBC. **Timeline**: Alexander Litvinenko death case. BBC News, 27 jan. 2015. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/uk-30929340>. Acesso em: 24 set. 2019.

BBC News. **Obituary**: Alexander Litvinenko. BBC News, 24 nov. 2006. Disponível em: <news.bbc.co.uk/2/1/uk/06112405.stm>. Acesso em: 25 set. 2019.

99

Referências

BÉ, M. M.; CHISTÉ, V.; DJULIEU, C. **Le radium 226 et ses descendants**. Tables et commentaires. Note technique LNH80a-04. Bureau National de Métrologie (BNM), Commissariat à l'énergie atomique (CEA) e Laboratoire National Henri Becquerel, 2004. Disponível em: <www.nucleide.org/DDEP_WGRa-226D_NT04-04.pdf>. Acesso em: 12 set. 2019.

FANTÁSTICO. **O assassinato do espião russo**. 2007. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=N858NoDrko>. Acesso em: 24 set. 2019.

BEM ESTAR. **Água com póe até 60% do corpo e é usada em todas as reações químicas**. G1, Globo, 2012. Disponível em: <g1.globo.com/bem-estar/noticia/2012/03/agua-com-poe-ate-60-do-corpo-e-usada-em-todas-reacoes-quimicas.html>. Acesso em: 20 set. 2019.

BIODAKU. **Samod: 7 Mistakes to Avoid When Writing Reports for Senior Management**. Career Advice, Jobberman, 2016. Disponível em: <https://www.jobberman.com/blog/business-writing-mistakes/>. Acesso em: 25 set. 2019.

BRAINORAMA. **Pour une jeunesse éternelle, mangez des matières radioactives**. 2018. Disponível em: <https://www.brain-magazine.fr/article/brainorama/432512-Pour-une-jeunesse-eternelle-mangez-des-matieres-radioactives#>. Acesso em: 13 set. 2019.

CAMARGO, Rodrigo Oliveira de. **A investigação defensiva como uma necessidade democrática**. Canal Ciências Criminais, 2019. Disponível em: <https://canalcienciascriminais.com.br/investigacao-defensiva-necessidade/>. Acesso em: 25 set. 2019.

CAMPUS, Thomas Ferreira da Costa. **Consequências do Gás Radônio na Saúde Humana**. LARANA – Laboratório de Radioatividade Natural do Rio Grande do Norte da UFRN, 2010. Disponível em: <www.lageoma.geologia.ufrrn.br/larana/downloads/cartilhalarana.pdf>. Acesso em: 12 set. 2019.

100

Referências

CAN, Sümeyra. **Woman who died for science**. Marie Curie. Physics Health, 2019. Disponível em: <www.physicshealth.com/physics-engineering/woman-who-died-for-science-marie-curie/>. Acesso em: 26 set. 2019.

CÓTICA, Luiz Fernando. **Aula 13**. Física aplicada à Biologia. Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá, 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VWFZeqPIA>. Acesso em: 26 set. 2019.

CURIE, Pierre; BECQUEREL, Henri. **Action physiologique des rayons du radium**. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**. v. 132, p. 1289-1291, 1901. Disponível em: <https://www.academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Curie/Curie_pdf(CR1901_p1289_1291.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2019.

CURIE, Marie Skłodowska. **Pierre Curie**: with autobiographical notes by Marie Curie. Mineola: Dover Publications, 2012. 118 p.

CYBERPHYSICS. **Ionizing Power and Penetrating Power**. 2013. Disponível em: <https://www.cyberphysics.co.uk/topics/radioact/radioact/ionpenet.htm>. Acesso em: 12 set. 2019.

DOMENECH, Haydee. **Radiation Safety**. Cham: Springer, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42672-6_2>. Acesso em: 20 set. 2019.

DUFOUR, Thierry. **Interactions, rayons ionisants & milieux biologiques**. Cours d'ondes et milieux biologiques, Sorbonne Université, Paris, France, 2019. Disponível em: <https://www.lpp.polytechnique.fr/IMG/pdf/la_ondes_ionisantes_mb_new.pdf>. Acesso em: 13 set. 2019.

101

Referências

DUKE UNIVERSITY. **Radiation damages DNA**. Raising Interest in the Science Education (RISE), Duke University Medical Center, 2016. Disponível em: <https://sites.duke.edu/misistomars/misistomars/cancer/what-is-cancer/>. Acesso em: 23 set. 2019.

DUTREIX, Jean; TUBIANA, Maurice; PIERQUIN, Bernard. **The hazy dawn of brachytherapy**. **Radiation Therapy and Oncology**, v. 48, n. 3, p. 223-232, dez. 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0167-8140(98)00137-6>. Acesso em: 17 set. 2019.

EBRARY. **Current Advances in Osteosarcoma**. Academic Library, 2014. Disponível em: <https://ebrary.net/9304/h/health/high-dose_samarium-153-edtm>. Acesso em: 12 set. 2019.

FELTRE, Ricardo. **Química: Físico-Química**. v. 2, 6ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2004.

FERGUSON, Maggie. **BOOKS The Radium Girls — still glowing in their coffins**. 2016. Disponível em: <https://www.spectator.co.uk/2016/06/the-radium-girls-still-glowing-in-their-coffins/>. Acesso em: 16 set. 2019.

FRANCE PRESSE. **Conclui investigação sobre assassinato de ex-espion russo**. G1. Mun do, 19 jan. 2016. Disponível em: <g1.globo.com/mundo/noticia/2016/01/conclui-investigacao-sobre-assassinato-de-ex-espiao-russo.html>. Acesso em: 25 set. 2019.

GALLOWAY, Taraya. **The Radium Girls**. Newspapers, 2017. Disponível em: <https://blog.newspapers.com/the-radium-girls/>. Acesso em: 18 set. 2019.

GFYCAT. **Decay of Radium-226 into Radon-222 and Alpha Particle**. 2017. Disponível em: <https://gfy.cat.com/warmheartednlegiblecob>. Acesso em: 12 set. 2019.

102



Referências

- GHOSE, Shohini. **O gênio de Marie Curie**. TED-Ed, Youtube. 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w6JFRbQm_>. Acesso em: 10 set. 2019.
- GRENIER, Radium. Radium electroplated on a very small sample of copper foil and covered with polyurethane to prevent reaction with the air. Wikimedia commons. 2010. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Radium226.jpg>>. Acesso em: 11 set. 2019.
- HBO. **Chernobyl (2019) | Official Trailer | HBO**. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=59APLMgEi8>>. Acesso em: 09 set. 2019.
- HBO GO. **Open Wide, O Earth. Chernobyl**. Temporada 01, Episódio 03. 2019. Disponível em: <<https://br.hbogo.com/ItemView/4,25f88ef-7a84-41e9-8a0e-0059569a0a0f>>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- JOURNAL HOJE. **Rússia nega acusação que Putin tenha mandado matar espão**. Globoplay, 21 jan. 2016. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/4753623/>>. Acesso em: 24 set. 2019.
- KAVANAGH, Joy N. et al. Double Strand Break Repair: A Radiation Perspective. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 18, n. 18, pp. 2458-2472, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1089/ars.2012.5515>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- KLIK. **H Margaret Thatcher στην κοροφία της λάσπης των γενετικών με τη μεγαλύτερη επιρροή στον κόσμο της ΤΕΛΕΥΤΙΑΣ 200 Χρόνια**. KLIK ΤΡΟΣΟΠΙΑ, 2015. Disponível em: <<https://klik.gr/gre/epirosopi-all-margaret-thatcher-stin-korofia-tis-laspi-ton-genaitikon-meti-megaluteri-epirroi-ston-kosmo-ta-teleutias-200-chronia/>>. Acesso em: 18 set. 2019.

103

103

Referências

- LUSA. **Rádio, o bom e o mau da fita, foi descoberto há 120 anos**. Vida e futuro, Diário de Notícias. 2018. Disponível em: <<https://www.dn.pt/vida-e-futuro/interior/radio-o-bom-e-o-mau-da-fita-foi-descoberto-ha-120-ano-5-20556448.html>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- MAIA, Raquel Gonçalves. **Marie Sklodowska Curie**. Imagens de outra face. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. 110 p.
- MARIE Curie, além do mito. Direção: Michel Vuillemet. Produtoras: Géraldine Berger, Nathalie Huchette e Michel Vuillemet. Produtoras: ARTE France, Les Films d'un Jour, Institut Curie e CNRS Images. França, 2017. Documentário, (52 min). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=hQsUoQDYew>> (Áudio: Francês, Legenda: Português) ou <<https://vimeo.com/28488135>> (Áudio: Francês). Acesso em: 07 jul. 2019.
- MARTINI, João Batista Sabala. **Óptica Geométrica**. Slide Player, 2016. Disponível em: <<https://slideplayer.com.br/slide/10606375/>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- MAY, Dustin. **Radionuclides in Groundwater**. State Hygienic Laboratory at the University of Iowa. 2017. Disponível em: <<https://www.iowapha.org/resources/Pictures/Radionuclides%20in%20Ground%20Water%20-%20D%20MAY.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2019.
- MIKLÓS, Vincze. **Seriously Scary Radioactive Products From The 20th Century**. Gizmodo, 2013. Disponível em: <<https://io.gizmodo.com/seriously-scary-radioactive-consumer-products-from-the-49804380>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- MELLO, Fernando Figueiredo. **Morre Yasser Arafat**. *Efemérides do efemelo*. 2014. Disponível em: <<https://efemeridesdoefemelo.com/2014/11/11/morre-yasser-arafat/>>. Acesso em: 27 set. 2019.

104

104

Referências

- MOWAT, Laura. Who is Litvinenko? Report due on killing of Russia spy today. **Express**, 21 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.express.co.uk/news/uk/1636679/Who-is-Litvinenko-Report-due-killing-Russia-spy-today>>. Acesso em: 24 set. 2019.
- NEWELL, Claire; TELFORD, Lyndsey; MALNICK, Edward. **Litvinenko inquiry: the proof Russia was involved in dissident's murder**. The telegraph, 23 jan. 2015. Disponível em: <<https://www.telegraph.co.uk/news/investigations/litvinenko-inquiry-the-proof-russia-was-involved-in-dissident-m/>>. Acesso em: 25 set. 2019.
- NUCLEAR POWER. **Radiation**. Nuclear Power for Everybody. 2019. Disponível em: <<https://www.nuclear-power.net/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radiation/>>. Acesso em: 12 set. 2019.
- OAK RIDGE ASSOCIATED UNIVERSITIES. **Radiol (ca. 1905 - 1910)**. 2019. Disponível em: <<https://www.ora.uoi.org/jptp/collection/qaocqures/radiol.htm>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- OAK RIDGE ASSOCIATED UNIVERSITIES. **Reviator (ca. 1924-1926)**. 2010. Disponível em: <<https://www.ora.uoi.org/jptp/collection/qaocqures/reviagat.htm>>. Acesso em: 23 set. 2019.
- OSOBE, Slavne. **Alexander Litvinenko, biografia, vijesti, fotografije**. Odkurzacze, 2018. Disponível em: <<https://hr.odkurzacze.info/3883-alexander-litvinenko-biography-new-s-photos.html>>. Acesso em: 25 set. 2019.
- PEREZ, Luana Castro Alves. **Reportagem**. Português, Escola Kids, UOL. 2015. Disponível em: <<https://escolakids.uol.com.br/portugues/reportagem.htm>>. Acesso em: 24 set. 2019.

105

105

Referências

- PODGOŠČAK, Ervin B. **Radiation Physics for Medical Physicists**. Graduate Texts in Physics. Cham: Springer, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-35382-4_11>. Acesso em: 12 set. 2019.
- RIOTRON. **Descubra como montar o dossiê de uma empresa**. Informação, Riotron. 2019. Disponível em: <<https://www.riotron.com.br/descubra-como-montar-o-dossie-de-uma-empresa/>>. Acesso em: 25 set. 2019.
- TOMAZINI, Addressa. **Investigação preliminar: conceito e natureza jurídica**. Canal Ciências Criminais, Jusbrasil, 2017. Disponível em: <<https://canalcienciascriminais.jusbrasil.com.br/artigos/536178340/investigacao-preliminar-conceito-e-natureza-juridica>>. Acesso em: 25 set. 2019.
- TOMAZINI, Addressa. **A quem compete a investigação?** Canal Ciências Criminais, Jusbrasil, 2018. Disponível em: <<https://canalcienciascriminais.com.br/quem-com-ete-investigacao/>>. Acesso em: 25 set. 2019.
- QADER, Nooruldeen; AL-KHAFAJI, Hussein Kettan. Motif Discovery and Data Mining in Bioinformatics. **International Journal of Computers & Technology**, v. 13, n. 1, pp. 4082-4095, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.24297/ijct.v13i1.1932>>. Acesso em: 19 set. 2019.
- REITMAN, Matthew. **How 'The Radium Girls' Left a Legacy of Scientific and Civil Rights Contributions**. Inside Hook, History, 2017. Disponível em: <<https://www.insidehook.com/article/history/radium-girls-left-legacy-scientific-civil-rights-contributions>>. Acesso em: 17 set. 2019.

106

106

Referências

- SAMPLE, Ian. Saiba mais: poucos miligramas do Polônio-210 podem matar. Mundo, **Folha de São Paulo**, 6 nov. 2016. Disponível em: <<https://www2.folha.uol.com.br/mundo/2016/11/13/67626-saiba-mais-poucos-miligramas-do-polonio-210-podem-matar.shtml>>. Acesso em: 27 set. 2019.
- SEEDHOUSE, Erik. **Space Radiation and Astronaut Safety**. Cham: Springer International Publishing AG, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-74615-9_7>. Acesso em: 17 set. 2019.
- SHUTTERSTOCK. **Periodic Table 88 radium element sign with position, atomic number and weight**. 2019. Disponível em: <<https://www.shutterstock.com/jp/t/vidoe/clip-104725478-periodic-table-88-radium-element-sign-position>>. Acesso em: 21 set. 2019.
- SÓ BIOLOGIA. **O Controle do Ciclo Celular e a Origem do Câncer**. Só biologia, Virtuoso Tecnologia da Informação, 2008. Disponível em: <<https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Citologia2/nucleo11.php>>. Acesso em: 26 set. 2019.
- SUPERINTERESSANTE. O espelho que bebeu polônio. Crimes: Os 71 casos mais impressionantes de todos os tempos. **Dossiê Superinteressante**, ed. 350-A. Agosto 2015.
- The Genius of Marie Curie – The Woman Who Let up the World. Direção: Gideon Bradshaw. Produção: Gideon Bradshaw. Produtora: BBC. Reino Unido, 2013. Documentário, (59 min). Disponível em: <<https://vimeo.com/137525487>> (Áudio: Inglês). Acesso em: 09 jul. 2019.
- US FOOD & DRUG ADMINISTRATION. **A Brief History of the Center for Drug Evaluation and Research**. Virtual Exhibits of FDA History, U.S. Food and Drug Administration, 2018. Disponível em: <<https://www.fda.gov/about-fda/virtual-exhibits-fda-history/brief-history-center-drug-evaluation-and-research>>. Acesso em: 13 set. 2019.

107

107

Referências

- U.S. NATIONAL LIBRARY OF MEDICINE. **M. and Mme. Curie Experimenting with Radium**. Digital Collections, 2019. Disponível em: <<http://resource.nlm.nih.gov/1011448039>>. Acesso em: 18 set. 2019.
- VELE 160. **Chernobyl (2019) HBO Episode 3 Scene | Radiation Effects (HD)**. 2019. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1ZU5P-0X00M>>. Acesso em: 08 jul. 2019.
- WEINSTEIN, Gerald. **United States Radium Corporation, Radium Crystallization Laboratory, 428 Alden Street, Orange, Essex County, NJ**. Library of Congress, 2014. Disponível em: <www.loc.gov/pictures/item/nj.615.photos.384.850pp>. Acesso em: 17 set. 2019.
- WIKIPÉDIA. **Yasser Arafat**. 2012. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Yasser_Arafat>. Acesso em: 27 set. 2019.
- WHITMORE, Brian. **The Moment Russia Went Fully Rogue**. Global, The Atlantic, 21 jan. 2016. Disponível em: <<https://www.theatlantic.com/international/archive/2016/01/alexander-litvinenko-russia-putin/425457/>>. Acesso em: 25 set. 2019.
- WONG, Dave. **Marie Curie's grave in the Crypt of the Pantheon**. Flickr, 2007. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/davwon/2521790811/n/photostream/>>. Acesso em: 19 set. 2019.
- WOLKE, Robert. Marie Curie's Doctoral Thesis: Prelude to a Nobel Prize. **Journal of Chemical Education**, v. 65, n. 7, jul. 1988. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/ed06p561a>>. Acesso em: 17 set. 2019.
- YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 3, n. 1, pp. 57-67, 2009. Disponível em: <www.rbfm.org.br/rbfm/article/viewFile/3/27>. Acesso em: 20 set. 2019.
- YOSHIMURA, Elisabeth Mateus. Física das Radiações: interação da radiação com a matéria. *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 3, n. 1, pp. 57-67, 2009. Disponível em: <www.rbfm.org.br/rbfm/article/viewFile/3/27>. Acesso em: 20 set. 2019.

108

108

Material 2

► Vídeos da minissérie “Chernobyl” e transcrição de trechos



CHERNOBYL - TRAILER

HBO. **Chernobyl (2019) | Official Trailer | HBO. 2019.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=s9APLXM9Ei8> (Selecionar legenda em português⁴⁹). Acesso em: 09 set. 2019.



Transcrição:

Valery Legasov (*cientista*): Tudo de bom que fizemos... Não importa. O que importa é que, para eles, a justiça foi feita. Veja, um mundo justo é um mundo são. Não havia nada de são em Chernobyl. **Boris Shcherbina** (*político*): Tenho o prazer de informar que a situação em Chernobyl é estável. Em termos de radiação... Me disseram que é o equivalente a uma radiografia de tórax. **Legasov**: Não! Chernobyl está em chamas. E cada átomo de urânio é como uma bala, penetrando tudo em seu caminho: metal, concreto, carne. Agora, Chernobyl detém mais de três trilhões dessas balas. Alguns deles não vão parar de atirar por 50.000 anos. **Shcherbina**: Diga-me como apagá-lo. **Legasov**: Você está lidando com algo que nunca ocorreu neste planeta antes. **Zharkov**⁵⁰ (*político*): Corte as linhas telefônicas. Contenha a disseminação de informações erradas. **Shcherbina**: O que acontecerá com nossos homens? **Legasov**: A dor é inimaginável. Em três dias a três semanas, você está morto. **Enfermeira**: Você pode vê-lo, mas não pode tocá-lo. Você entende? **Ulana Khomyuk** (*cientista*): O que aconteceu na noite do acidente? **Anatoly Dyatlov** (*engenheiro*): Você acha que a pergunta certa lhe dará a verdade? Não há verdade. **Legasov**: O que aconteceu então... o que aconteceu depois... tudo isso... tudo isso... Loucura.

⁴⁹ A transcrição apresenta algumas traduções diferentes do que a legenda gerada automaticamente pelo Youtube. Elas aqui foram corrigidas para se manterem mais adequadas ao discurso do vídeo.

⁵⁰ Personagem fictício, não foi mencionado o seu primeiro nome.



CHERNOBYL – EPISÓDIO 3 (13’-15’)

HBO GO. **Open Wide, O Earth.** Chernobyl. Temporada 01, Episódio 03. 2019. Disponível em: <br.hbogola.com/itemView/425f88ef-7a84-11e9-810e-0050569a010f>. Acesso em: 08 jul. 2019.



Legasov

Shcherbina

Transcrição:

Shcherbina: O que acontecerá com nossos homens?

Legasov: Que homens? Os mergulhadores?

Shcherbina: Os mergulhadores, os bombeiros, os homens da sala de controle. O que a radiação fará com eles... exatamente?

Legasov: No nível em que alguns deles ficaram expostos, a radiação ionizante dilacera a estrutura celular. A pele fica empolada, avermelhada, depois escurece. Isso é seguido de um período latente. Os efeitos imediatos vão retroceder, o paciente aparentará estar recuperado, até saudável, mas não está. Isso geralmente dura um ou dois dias.

Shcherbina: Continue.

Legasov: Depois os danos celulares começam a se manifestar. A medula óssea morre. O sistema imunológico falha. Os órgãos e o tecido macio começarão a se decompor. As artérias e as veias vão vaziar como peneiras, em que chegará um ponto que não será possível usar morfina para dor, o que é inimaginável. E aí, em três dias a três semanas, eles morrerão. É isso o que acontecerá com esses homens.

Shcherbina: E nós dois?

Legasov: Bom, nós recebemos uma dose regular, mas não foi muita coisa. Não é forte o suficiente para matar as células, mas consistente o bastante para danificar o nosso DNA. Então, com o tempo, câncer. Ou anemia aplástica. De qualquer forma, fatal.

Shcherbina: Bom, de certa forma parece que ficamos menos expostos, Valery.

Material 3

▶ Vídeo “O gênio de Marie Curie” e sua transcrição



i

O GÊNIO DE MARIE CURIE

GHOSE, Shohini. O gênio de Marie Curie. TED-Ed, Youtube. 2017. Disponível em: <[youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s](https://www.youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s)> (Selecionar legenda em português). Acesso em: 10 set. 2019.



[00:00] Se quisesse dar apenas uma olhadinha nos manuscritos de Marie Curie, você teria que assinar um termo de compromisso e vestir roupa de proteção contra contaminação por radiação. Os restos mortais de Marie Curie estão guardados num caixão de chumbo, mantendo a radiação, que foi a essência de sua pesquisa e provavelmente a causa de sua morte, bem isolada.

[00:27] Crescendo em Varsóvia, durante a ocupação da Polônia pela Rússia, a jovem Marie, cujo nome era Maria Skłodowska, era uma estudante brilhante que teve que enfrentar muitos obstáculos. Como mulher, ela foi impedida de prosseguir num curso superior então, num ato de rebeldia, Marie se inscreveu numa universidade itinerante, uma instituição secreta que oferecia educação clandestina à juventude polonesa. Economizando e trabalhando como professora e tutora, ela se mudou para Paris para estudar na renomada Sorbonne.

[01:01] Marie então se graduou em Física e Matemática, sobrevivendo basicamente de chá e pão, sendo que, às vezes, desmaiava de fome. Em Paris, Marie conheceu o físico Pierre Curie, que dividiu o seu



laboratório e seu coração com ela. Mas ela queria muito voltar à Polônia. De volta a Varsóvia, ela percebeu que, conseguir uma posição acadêmica, continuava sendo muito difícil. Nem tudo estava perdido. De volta a Paris, Pierre ainda esperava por ela, eles se casaram e se tornaram uma fantástica equipe científica.

[01:31] Os trabalhos de outros físicos despertaram o interesse de Marie. Em 1896, Henri Becquerel descobriu que o urânio emitia espontaneamente uma radiação misteriosa semelhante ao raio X, que queimava filme fotográfico. Logo ela descobriu que o tório emitia uma radiação parecida. E o mais importante, a força da radiação dependia unicamente da quantidade da substância e não era afetada por alterações físicas ou químicas. Isso a levou a concluir que a radiação provinha de alguma coisa fundamental de dentro do átomo de cada elemento. Era uma ideia radical que ajudou a contestar o modelo de longa data dos átomos como objetos indivisíveis. Em seguida, pesquisando um minério super radioativo chamado pechblenda, os Curies perceberam que o urânio sozinho não poderia criar toda aquela radiação. Haveria outros elementos radioativos que seriam responsáveis? Em 1898, eles anunciaram dois novos elementos: polônio, em homenagem à Polônia, e rádio, a palavra latina para raio. Eles também inventaram o termo radioatividade.

[02:43] Em 1902, os Curies extraíram um décimo de grama de sal de cloreto de rádio de diversas toneladas de pechblenda, um feito incrível naquela época. Depois, naquele ano, Pierre Curie e Henri Becquerel foram indicados ao prêmio Nobel de Física, mas Marie não foi. Pierre solicitou que houvesse o reconhecimento de sua esposa também. E ambos os Curies e Becquerel dividiram o prêmio Nobel de 1903 transformando Marie Curie a primeira mulher a ganhar o Nobel.

[03:16] Recebendo financiamentos e muito respeitados, os Curies estavam com sorte. Mas a tragédia veio em 1906 quando Pierre foi atropelado por uma carruagem, quando atravessava um cruzamento movimentado. Marie, desolada, mergulhou em suas pesquisas e assumiu o lugar de Pierre na Sorbonne, tornando-se a primeira professora da universidade. Seu trabalho solitário foi prolífico. Em 1911 ela ganhou outro Nobel, desta vez em Química, pela sua descoberta anterior de rádio e polônio e pela extração e análise de rádio puro e seus componentes. Com isso, ela foi a primeira e é até hoje a única pessoa a ganhar o Nobel duas vezes em dois campos diferentes da ciência.

[03:56] Curie colocou suas descobertas em campo mudando para



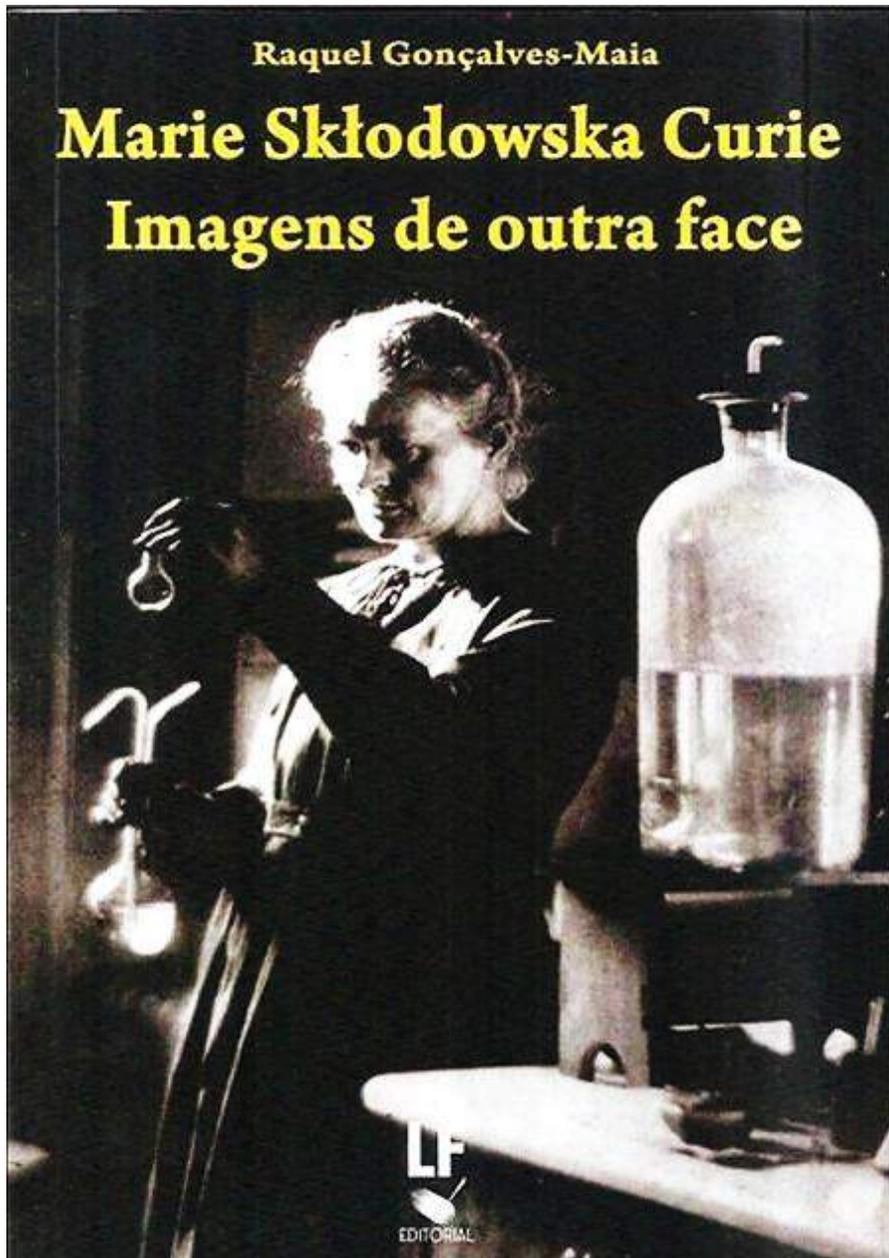
sempre o panorama da pesquisa e do tratamento médico. Criou unidades radiológicas móveis na Primeira Guerra Mundial e investigou os efeitos da radiação em tumores. No entanto, esses benefícios à humanidade cobraram dela um alto preço pessoal. Curie morreu em 1934 de uma doença da medula óssea, que se acredita tenha sido causada pela exposição à radiação. As pesquisas revolucionárias de Marie Curie lançaram as bases para a nossa compreensão da Física e da Química, abrindo caminhos na Oncologia, Tecnologia, Medicina e Física Nuclear, para citar apenas alguns. Para o bem ou o para o mal, suas descobertas iniciaram uma nova era, revelando alguns dos maiores segredos da ciência.

Material 4

▶ Texto “O Rádio”

**i** O RÁDIO

MAIA, Raquel Gonçalves. O Rádio. In: _____. **Marie Skłodowska Curie: Imagens de outra face**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012. Capítulo 5 (p. 29-37).



Observação: A Editora Livraria da Física autorizou a reprodução deste capítulo neste Produto Educacional.

5

O Rádío

Tal como os Curie se tornaram famosos, também o Rádío se viu transformado em objeto de culto popular. A milagrosa substância é o elemento de símbolo químico Ra, brilhante, de cor prateada e estrutura cúbica. Tem o número atômico 88, o que significa que o seu núcleo contém 88 prótons ou, em alternativa, pode dizer-se que em redor do seu núcleo gravitam 88 elétrons; a sua massa atômica é 226,02 (em unidades de massa atômica, ou *dalton*, Da). Apresenta vários isótopos (o número de neutrons varia de 134 a 140), todos radioativos, sendo dominante o que possui 138 neutrons e o período de meia-vida mais elevado – necessita de cerca de 1620 anos para que a quantidade inicial de Rádío se reduza a metade. O Rádío insere-se no grupo II, o dos “Metais Alcalino-Terrosos”, na Tabela Periódica dos Elementos, uma vez que possui dois elétrons na última camada.

Nada ou quase nada dessas informações eram conhecidas nas primeiras décadas do século XX – nem tão pouco que o átomo possuía um núcleo! Marie Curie sabia, sim, que eram necessárias sete toneladas do minério de nome pecheblenda (principalmente constituído por óxidos de Urânio, UO_2 e UO_3) para se obter 1g de Rádío! Já sabia também, ajudada pelo seu colaborador e amigo André-Louis Debierne que, por eletrólise de uma solução de cloreto de rádío usando um cátodo de mercúrio, o Rádío podia ser isolado na forma de metal puro.

Durante a Primeira Guerra Mundial, a luminosidade característica do Rádío foi usada, quer para pintar os mostradores dos relógios dos soldados,

30 MARIE SKŁODOWSKA CURIE - IMAGENS DE OUTRA FACE

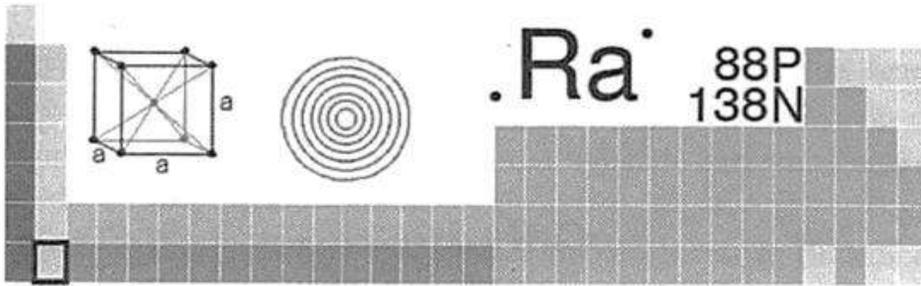


Figura 5.1 Tabela Periódica dos Elementos – posição ocupada pelo Rádío

quer partes de instrumentos de aviões e mesmo os canos das armas. Desse modo, podiam ver-se durante a noite.

Bem cedo se deu conta que as emanações do Rádío interferiam com os tumores, benignos e malignos, diminuindo-os ou mesmo eliminando-os. Tal foi suficiente para que o Rádío fosse encarado como uma panaceia universal. Se “curava” o cancro, então talvez curasse outras doenças, acne, úlceras, quiçá a diabetes... Os mais afoitos propunham mesmo a indução da postura de ovos pelos galináceos... ou o fim das guerras – não era o Rádío capaz de penetrar metais, de destruir qualquer arma de guerra?

Mas, para além de notícias disparatadas e infundadas que charlatães, alguns médicos, propagandeavam, foram sendo revelados fatos verídicos que ajudavam a fazer do Rádío uma substância indispensável à saúde. Um caso paradigmático foi a descoberta de que muitas fontes de água termal, água recomendada para beber e para banhos desde há vários séculos, eram radioativas. Então, se tais águas eram boas para a saúde, por que não ter ou fazer “Água de Rádío” em casa? O negócio pôs-se em marcha. A *Radium Ores Company*, no Colorado (EUA), lançou, na década de 1920, a sua água radioativa. Deveria tomar-se um frasco após cada refeição e era saúde garantida...

Outros difundiram no mercado dispositivos contendo material radioativo – o mais célebre dos quais foi, porventura, o cone poroso de Thomas, uma invenção patenteada em 1912 por R.W. Thomas – que se colocava, à noite, dentro de um jarro com a água que se iria consumir no dia seguinte. Prevenia, pelo menos, a artrite, a flatulência e a senilidade... Manufaturado pela *Radium Ore Revigator Co.*, foram vendidos milhares destes “emanadores” até aos anos de 1940.

O que sucedia era expor-se a água ao gás Radônio, produto da desintegração do Rádio, tornando-a levemente radioactiva durante alguns dias (a meia-vida do isótopo de Radão de maior período é cerca de 3,8 dias).

A descoberta de minas e de minérios de onde os elementos radioativos podiam ser extraídos, particularmente nos Estados Unidos, fez decrescer rapidamente o preço daqueles elementos e expandir o seu comércio por variados produtos. Em Paris, tornou-se moda entre as damas da sociedade o “Chá de Rádio”. Na verdade, não se tratava propriamente de beber chá, tratava-se antes de conversar, ler ou jogar às cartas num ambiente onde era lançado oxigênio após passar por um contentor de Rádio! Nos Estados Unidos, usava-se o mesmo princípio, embora menos sofisticado: grupos de pessoas pagavam para se sentarem durante algumas horas dentro das galerias de onde era extraído minério de Urânio...

Pastas de dentes, sais de banho, sabonetes, produtos de beleza... botões ou vaporizadores contra insetos não ficaram imunes ao Rádio. E outros ficaram imunes, mas diziam que o continham – assim enriqueceu, por exemplo, Dennis Dupuis, no Missouri (EUA), que se dizia médico, mas não era, a vender milhares e milhares de garrafas do elixir Radol para curar o cancro!

Marie Curie, e previamente Pierre Curie, eram completamente contra esta utilização indiscriminada do Rádio e das substâncias radioativas em geral. Eles não tinham patenteado a produção do Rádio – a bem da huma-



Figura 5.2 Revigator (1929) — *Fotografia de Andrew Kuchling*

32 MARIE SKŁODOWSKA CURIE - IMAGENS DE OUTRA FACE



Figura 5.3 *Cosméticos contendo Rádio – Exposição de produtos vendidos na primeira metade do século XX — Museu Marie Curie, Paris*

nidade –, mas, ademais da continuação de estudos científicos sobre o fenômeno da radioatividade, consideravam prematuro o seu uso. Era certo que as emanções do Rádio tinham efeitos benéficos, mas também era quase certo que tanto um como o outro teriam já experimentado efeitos maléficos. Como explicar a fadiga física continuada, as dores fortíssimas que sentiam nas articulações? As queimaduras na pele que Pierre ostentara quando, propositamente, colara uma amostra de Rádio ao seu braço? A insensibilidade de Marie nas pontas dos dedos, o que a levava a esfregá-los uma e muitas vezes?

Pelo menos desde 1904 que os Curie sabiam que as emanções do Rádio eram mortais para ratos e hamsters – em poucas horas. Não seria fácil extrapolar daí a sua perigosidade para os humanos? Quando Pierre Curie morreu, em 1906, o jornal *The New York Times* assim escreveu: *Tanto o professor como a sua mulher ficaram recentemente doentes devido aos efeitos do Rádio.*

Nos anos de 1920, Marie apresentava sérias dificuldades de visão e de ouvidos. É a própria que, em carta dirigida à irmã Bronia, escreve que os seus olhos *estão a ficar cada vez mais fracos* e que ouve *um murmúrio contínuo, muito intenso*. O desenvolvimento de cataratas nunca explicou cabalmente o seu problema de visão e o de audição foi sempre uma incógnita. Mais

à frente, escreve ainda: *Talvez o Rádio tenha alguma coisa a ver com estes problemas, mas não posso afirmá-lo com certeza.*

Marie Curie sempre tentou esconder as suas deficiências de saúde dos olhares do público. Em 1923, em 1924 e, de novo, em 1930 sofre operações aos olhos. As operações correram bem e, com óculos poderosos, pôde continuar a trabalhar virtualmente até morrer.

No dia 30 de maio de 1925, porém, o jornal *The New York Times* conta a história da morte de cinco mulheres (e de mais dez muito doentes), empregadas numa fábrica em East Orange, Nova Jersey, por uma infecção de causa desconhecida; ou seria uma nova doença com origem no Rádio? Todas tinham em comum o fato de trabalharem na pintura de mostradores de relógios com uma tinta contendo Rádio.

As condições de trabalho na fábrica eram excelentes, espaços amplos e bem arejados, bom ordenado e, para mais, o excitante trabalho com o Rádio! Ai, mas o pincel... Uma vez que a pintura era muito minuciosa (os algarismos, os ponteiros...), as raparigas umedeciam os pelos do pincel entre os lábios, de forma a criar-lhe uma ponta aguçada – vezes sem conta, durante um só dia. E, ainda brincavam pintando os botões, os cintos, as unhas ou até



Figura 5.4 As “Raparigas do Rádio” trabalhando numa fábrica em East Orange, Nova Jersey

34 MARIE SKŁODOWSKA CURIE - IMAGENS DE OUTRA FACE

os dentes que depois mostravam radiosas à família e aos namorados pela noite fora.

Mais e mais casos foram surgindo – uma severa anemia que rapidamente destruíra toda a força muscular instalava um cansaço persistente e esgotante. Sobrevinha a morte. Em 1928, algumas “Raparigas do Rádio”, designação por que eram conhecidas, chegaram mesmo a processar as companhias onde trabalhavam, requerendo indenizações. Ganharam o processo e conseguiram que lhes pagassem boas remunerações anuais em vida. Nenhuma sobreviveu mais de dois anos...

A posição oficial do Instituto do Rádio sobre tais acontecimentos, instituto cujo Laboratório Curie tinha Marie por diretora, era que, se o Rádio apresentava riscos para a saúde, eles eram diminutos... Marie Curie, instada a falar sobre o caso, explica que após a ingestão do Rádio pelo corpo humano, não mais há forma de o destruir – o que sucedera às pintoras dos mostradores. Acredita que a exposição exterior não acarrete a mesma gravidade.

Acredita? Depois de tantas vicissitudes acontecidas com ela, e já antes acontecidas com Pierre, não está Marie Curie “cega” e “surda” pela sua descoberta? Má interpretação, menosprezo pelo perigo? Não deveríamos antes ter escutado a sua voz de alerta, bem alto, sonora, a prevenir o cidadão comum? Mas, pelo sim pelo não, adverte todos os seus funcionários e investigadores para que que devessem se proteger (sabia-se que o Rádio não penetrava facilmente o chumbo), que nunca manipulassem qualquer substância radioativa sem luvas e que respirassem profundamente nos jardins em redor. O que ela não faz e que não impede que três dos seus empregados de laboratório morram de anemia.

Espantosamente, Marie, que há tantos anos vem manuseando tais substâncias tão perigosas, que há tantos anos apresenta uma contagem de glóbulos vermelhos muito inferior ao normal, continua firme, de pé.

Depois de uma difícil e longa viagem aos Estados Unidos em 1920, onde se fez acompanhar pelas duas filhas, empreende uma segunda em 1929. Cansada, muito cansada... mas ainda encontrou forças para se deslocar a Bruxelas em 1930 e em 1933 a fim de participar na sexta (tema: Magnetismo) e na sétima (tema: Estrutura e propriedades dos núcleos atômicos) Conferência Solvay, respectivamente, tendo por presidente o sempre

amigo Paul Langevin.¹ Nesta última, ao contrário de todas as anteriores em que a única investigadora era ela, mais duas mulheres foram convidadas: a sua filha Irène (Joliot-Curie) e Lise Meitner.² Em 1932, deslocou-se à Polónia onde foi homenageada aquando da fundação do Instituto do Rádio Marie Skłodowska-Curie em Varsóvia, atualmente Instituto de Oncologia Marie Skłodowska-Curie.³



Figura 5.5 7ª Conferência Solvay – 1933 — Marie Curie no centro, à esquerda Irène Joliot-Curie (por detrás, à sua esquerda, o marido, Frédéric Joliot-Curie) e à direita Lise Meitner

Um dia, nos finais de maio de 1934, Marie decide ir para casa. *Estou com febre*, diz a um dos colegas do Instituto. Por insistência das filhas submete-se a exames médicos numa clínica. Os testes não encontram uma explicação

1. As anteriores Conferências Solvay realizaram-se em 1911, 1913, 1921, 1924 e 1927. Marie Curie e Paul Langevin marcaram presença em todas elas. Em 1922, realizou-se uma Conferência Solvay dedicada à Química (tema: Cinco questões da Atualidade), na qual nenhum deles participou.
2. Lise Meitner foi a cientista austríaca que primeiro interpretou a cisão nuclear. Entre ela e Irène Joliot-Curie desenvolveu-se uma rivalidade de que a Ciência muito usufruiu.
3. Em novembro de 1913, Marie Curie fundara o primeiro Laboratório Radiológico na Polónia, promovido pela Sociedade Científica de Varsóvia. Marie Curie era sua Diretora Honorária.

36 MARIE SKŁODOWSKA CURIE - IMAGENS DE OUTRA FACE

satisfatória. Inflamação pulmonar? Recomendam uma estadia no sanatório de Sancellemoz, na Alta Sabóia francesa. Ève parte com a mãe e com ela passa longos dias. Conversam como nunca antes o tinham feito – Marie fala da sua infância, do futuro dos Institutos do Rádio, em Paris, em Varsóvia, da esperança de que Irène e seu genro Frédéric venham a receber o Prêmio Nobel, do futuro de Ève, dos netos... Semanas passadas e o diagnóstico mais inconclusivo fica. Afinal, nada de errado com os pulmões de Marie Curie. Mas Marie sofre terrivelmente, tem febre alta. Morre no dia 4 de julho de 1934, de anemia aplástica, assim se presume hoje, uma forma de anemia segundo a qual a medula óssea fica incapaz de produzir células sanguíneas (glóbulos vermelhos, glóbulos brancos e plaquetas) em quantidade suficiente para as necessidades e defesas orgânicas. A exposição contínua à radiação fizera os seus estragos. Marie Curie tinha 66 anos.

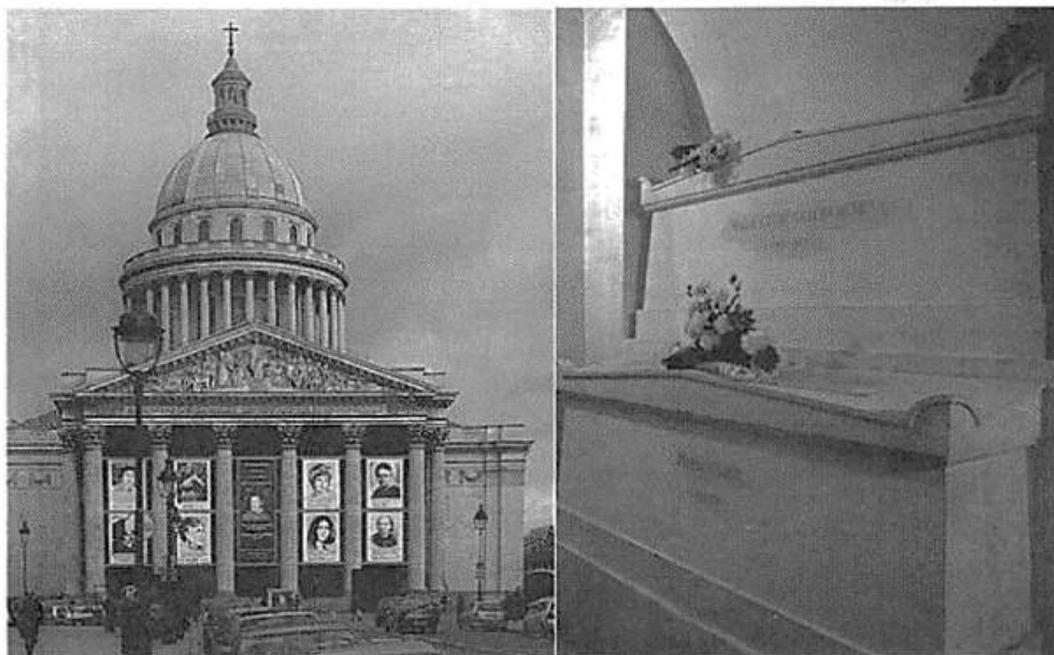


Figura 5.6 *O Panteão, em Paris, que alberga os túmulos de Marie e Pierre Curie – Fotografias de Manfred Heyde e de Rémi*

O caixão foi colocado sobre o do seu marido, de acordo com o seu desejo expresso, no jazigo do cemitério de Sceaux. Um punhado de terra polaca é lançado pelos seus irmãos Bronia e José.

Em 1995, o governo francês decidiu que os restos mortais de Pierre Curie e de Marie Curie deveriam repousar no Panteão, ao lado dos maiores de França. Tanto Jean Perrin como Paul Langevin, cientistas e amigos dos Curies, já aí repousavam desde 1948. Marie foi a primeira mulher a ter essa honra por mérito próprio.⁴

4. Marcellin Berthelot (1827-1907), considerado um dos maiores químicos de sempre, morreu de repente, imediatamente após a morte da sua mulher, Sophie Niaudet. Os seus restos mortais repousam juntos no Panteão.

Material 5

- ▶ Atividade de discussão em trios sobre o texto “O Rádio”



Orientações:

- Debatam e escrevam as conclusões do grupo nesta folha (frente/verso): façam juntos cada uma das questões. Posteriormente apresentarão oralmente à sala o que refletiram. Discutiremos os conceitos científicos envolvidos em cada questão.

Questão 1

- Quais as **características** físicas e químicas do elemento rádio?
- O que significam os **isótopos** e seu **tempo de meia-vida**?

Questão 2

- Como o elemento **rádio** se **popularizou** na **sociedade**?
- Quais foram suas **aplicações** e o que pode ser percebido sobre o **desenvolvimento** científico e tecnológico a partir de tais **casos históricos**?

Questão 3

- Quais **relações** podem ser estabelecidas entre o **rádio** e a **saúde**?

Material 6

► Texto de apoio “Radiação ionizante, efeitos à saúde e medidas de proteção”



RADIAÇÃO IONIZANTE...

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Ionizing radiation, health effects and protective measures. Tradução de página: Google Tradutor e revisão nossa. Newsroom, 2016. Disponível em: <who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>. Acesso em: 27 set. 2019.

Radiação ionizante, efeitos à saúde e medidas de proteção

29 de abril de 2016

Principais fatos

- A radiação ionizante é um tipo de energia liberada pelos átomos na forma de ondas ou partículas eletromagnéticas.
- As pessoas são expostas a fontes naturais de radiação ionizante, como no solo, água e vegetação, bem como em fontes criadas pelo homem, como raios-x e dispositivos médicos.
- A radiação ionizante tem muitas aplicações benéficas, incluindo usos na medicina, indústria, agricultura e pesquisa.
- À medida que o uso da radiação ionizante aumenta, aumenta também o potencial de riscos à saúde se não for usado ou contido adequadamente.
- Efeitos agudos na saúde, como queimaduras na pele ou síndrome da radiação aguda, podem ocorrer quando as doses de radiação excedem certos níveis.
- Baixas doses de radiação ionizante podem aumentar o risco de efeitos a longo prazo, como o câncer.

O que é radiação ionizante?

A radiação ionizante é um tipo de energia liberada pelos átomos que viaja na forma de ondas eletromagnéticas (raios gama ou X) ou partículas (nêutrons, beta ou alfa). A desintegração espontânea de átomos é chamada radioatividade, e o excesso de energia emitida é uma forma de radiação ionizante. Elementos instáveis que se desintegram e emitem radiação ionizante são chamados radionuclídeos.

Todos os radionuclídeos são identificados exclusivamente pelo tipo de radiação que emitem, a energia da radiação e sua meia-vida.

A atividade - usada como uma medida da quantidade de um radionuclídeo presente - é expressa em uma unidade chamada becquerel (Bq): um becquerel é uma desintegração por segundo. A meia-vida é o tempo necessário para a atividade de um radionuclídeo diminuir por decaimento para metade do seu valor inicial. A meia-vida de um elemento radioativo é o tempo que leva para a metade de seus átomos se desintegrar. Isso pode variar de uma mera fração de segundo a milhões de anos (por exemplo, o iodo-131 tem meia-vida de 8 dias, enquanto o carbono-14 tem meia-vida de 5730 anos).

Fontes de radiação

As pessoas são expostas diariamente a fontes naturais de radiação e fontes feitas pelo homem. A radiação natural vem de muitas fontes, incluindo mais de 60 materiais radioativos naturais encontrados no solo, na água e no ar. O rádon, um gás natural, emana das rochas e do solo e é a principal fonte de radiação natural. Todos os dias, as pessoas inalam e ingerem radionuclídeos do ar, alimentos e água.

As pessoas também são expostas à radiação natural dos raios cósmicos, principalmente em grandes altitudes. Em média, 80% da dose anual de radiação de fundo que uma pessoa recebe é devida a fontes de radiação terrestre e cósmica que ocorrem naturalmente. Os níveis de radiação de fundo variam geograficamente devido a diferenças geológicas. A exposição em certas áreas pode ser 200 vezes maior que a média global.

A exposição humana à radiação também vem de fontes produzidas pelo homem, que vão desde a geração de energia nuclear até o uso médico da radiação para diagnóstico ou tratamento. Hoje, as fontes mais comuns de radiação ionizante fabricadas pelo homem são dispositivos médicos, incluindo máquinas de raio-X.

Exposição à radiação ionizante

A exposição à radiação pode ser interna ou externa e pode ser adquirida através de várias vias de exposição.

A exposição interna à radiação ionizante ocorre quando um radionuclídeo é inalado, ingerido ou entra na corrente sanguínea (por exemplo, por injeção ou através de feridas). A exposição interna para quando o radionuclídeo é eliminado do corpo, espontaneamente (como através de excrementos) ou como resultado de um tratamento.

A exposição externa pode ocorrer quando material radioativo no ar (como poeira, líquido ou aerossóis) é depositado na pele ou na roupa. Esse tipo de material radioativo geralmente pode ser removido do corpo simplesmente lavando-se.

A exposição à radiação ionizante também pode resultar da irradiação de uma fonte externa, como a exposição médica à radiação de raios-X. A irradiação externa para quando a fonte de radiação é protegida ou quando a pessoa se move para fora do campo de radiação.

As pessoas podem ser expostas a radiação ionizante sob diferentes circunstâncias, em casa ou em locais públicos (exposições públicas), em seus locais de trabalho (exposições ocupacionais) ou em um ambiente médico (como pacientes, cuidadores e voluntários).

A exposição à radiação ionizante pode ser classificada em 3 situações de exposição. A primeira, situações de exposição planejada, resultam da introdução e operação deliberadas de fontes de radiação com propósitos específicos, como é o caso do uso médico de radiação para diagnóstico ou tratamento de pacientes, ou o uso de radiação na indústria ou na pesquisa. O segundo tipo de situação, as exposições existentes, é onde a exposição à radiação já existe e uma decisão sobre controle deve ser tomada - por exemplo, a exposição ao rádon em residências ou locais de trabalho ou a exposição à radiação natural do ambiente. O último tipo, situações de exposição de emergência, resulta de eventos inesperados que exigem resposta imediata, como acidentes nucleares ou atos maliciosos.

O uso médico de radiação representa 98% da contribuição da dose da população de todas as fontes artificiais e representa 20% da exposição total da população. Anualmente, em todo o mundo, são realizados mais de 3600 milhões de exames de radiologia diagnóstica, 37 milhões de procedimentos de medicina nuclear e 7,5 milhões de tratamentos de radioterapia.

Efeitos na saúde da radiação ionizante

Os danos causados pela radiação nos tecidos e / ou órgãos dependem da dose de radiação recebida ou da dose absorvida que é expressa em uma unidade denominada cinza (Gy). O dano potencial de uma dose absorvida depende do tipo de radiação e da sensibilidade de diferentes tecidos e órgãos.



A *dose eficaz* é usada para medir a radiação ionizante em termos do potencial de causar danos. O sievert (Sv) é a unidade de dose efetiva que leva em consideração o tipo de radiação e a sensibilidade dos tecidos e órgãos. É uma maneira de medir a radiação ionizante em termos do potencial de causar danos. O Sv leva em consideração o tipo de radiação e a sensibilidade dos tecidos e órgãos.

O Sv é uma unidade muito grande, portanto, é mais prático usar unidades menores, como millisieverts (mSv) ou microsieverts (μ Sv). Existem mil μ Sv em um mSv e mil mSv em um Sv. Além da quantidade de radiação (dose), geralmente é útil expressar a taxa na qual essa dose é administrada (taxa de dose), como microsieverts por hora (μ Sv / hora) ou millisievert por ano (mSv / ano).

Além de certos limiares, a radiação pode prejudicar o funcionamento dos tecidos e / ou órgãos e produzir efeitos agudos, como vermelhidão da pele, perda de cabelo, queimaduras por radiação ou síndrome da radiação aguda. Esses efeitos são mais graves em doses mais altas e taxas de doses mais altas. Por exemplo, o limiar de dose para a síndrome de radiação aguda é de cerca de 1 Sv (1000 mSv).

Se a dose de radiação é baixa e / ou é administrada por um longo período de tempo (baixa taxa de dose), o risco é substancialmente menor porque há uma maior probabilidade de reparar o dano. Ainda existe o risco de efeitos a longo prazo, como o câncer, que podem aparecer anos ou até décadas depois. Efeitos desse tipo nem sempre ocorrem, mas sua probabilidade é proporcional à dose de radiação. Esse risco é maior para crianças e adolescentes, pois eles são significativamente mais sensíveis à exposição à radiação do que os adultos.

Estudos epidemiológicos em populações expostas à radiação, como sobreviventes de bombas atômicas ou pacientes com radioterapia, mostraram um aumento significativo do risco de câncer em doses acima de 100 mSv. Mais recentemente, alguns estudos epidemiológicos em indivíduos expostos a exposições médicas durante a infância (TC pediátrica) sugeriram que o risco de câncer pode aumentar mesmo em doses mais baixas (entre 50-100 mSv).

A exposição pré-natal à radiação ionizante pode induzir danos cerebrais em fetos após uma dose aguda superior a 100 mSv entre as semanas 8 a 15 da gravidez e 200 mSv entre as semanas 16 a 25 da gravidez. Antes da semana 8 ou após a semana 25 da gravidez, estudos em humanos não mostraram risco de radiação para o desenvolvimento do cérebro fetal. Estudos epidemiológicos indicam que o risco de câncer após a exposição fetal à radiação é semelhante ao risco após a exposição na primeira infância.

Resposta da OMS

A OMS estabeleceu um programa de radiação para proteger pacientes, trabalhadores e o público contra os riscos à saúde da exposição à radiação em situações planejadas, existentes e de emergência. Com foco nos aspectos de saúde pública da proteção contra radiação, este programa abrange atividades relacionadas à avaliação, gerenciamento e comunicação de riscos de radiação.

Em consonância com sua função principal de "estabelecer normas e padrões e promover e monitorar sua implementação", a OMS cooperou com outras 7 organizações internacionais para a revisão e atualização dos padrões internacionais de segurança básica de radiação (BSS). A OMS adotou o novo BSS internacional em 2012 e atualmente está trabalhando para apoiar a implementação do BSS em seus Estados Membros.

Material 7

► Texto de apoio “Reportagem”



REPORTAGEM

Fonte (adaptada): PEREZ, Luana Castro Alves. **Reportagem**. Português, Escola Kids, UOL. 2015. Disponível em: <escolakids.uol.com.br/portugues/reportagem.htm>. Acesso em: 24 set. 2019.

► A **reportagem** é um dos gêneros textuais do universo jornalístico, e todos os textos que habitam nesse universo têm como **principal missão informar**. Por cumprir uma tarefa tão importante, a reportagem desempenha uma **função social** e deve estar sempre a serviço da **comunicação**. Diferentemente do que acontece com a notícia, cujas características formam outro gênero textual, a reportagem não tem como objetivo noticiar um assunto pontual, algo que esteja acontecendo, por exemplo, no dia de hoje. A reportagem pode escolher como tema um assunto que faça parte da **realidade** das pessoas e que seja de **interesse** de uma comunidade;

► A notícia está no grupo de textos que compõem aquilo que os estudiosos da comunicação chamam de jornalismo informativo. Já a reportagem está no grupo de textos que constituem o **jornalismo opinativo**. O jornalismo informativo apenas noticia, ou seja, narra acontecimentos. Por esse motivo, as opiniões do repórter devem ficar implícitas. Já o jornalismo opinativo tem como função **opinar, interferir** na construção dos **juízos de valores** do leitor ou do espectador, portanto, a opinião do jornalista fica explícita;

► A reportagem apresenta uma **estrutura textual mais elaborada**, por isso ela geralmente é um texto maior do que a notícia. A notícia precisa ser objetiva, nela o repórter não tem compromisso com o jornalismo opinativo. Na reportagem, ao contrário do que é feito na notícia, o jornalista pode utilizar os discursos direto e indireto, intercalando seu ponto de vista com o ponto de vista de **testemunhas, entrevistados** ou **especialistas** sobre determinado assunto. É claro que a objetividade é um recurso desejável, afinal de contas, trata-se de um texto não literário, mas é possível observar que na reportagem o assunto é abordado a partir de um ângulo pessoal e, por esse motivo, ela é assinada por quem a escreveu;

► Podemos dizer, portanto, que a reportagem vai além da notícia, pois apresenta elementos mais sofisticados, além de dispor de **variados recursos linguísticos**. Pode apresentar levantamento de **dados** e uma **análise** sobre eles. Por esse motivo, a reportagem demanda maior tempo e dedicação de quem a escreve.

Material 8

► Orientações para o trabalho final investigativo



“**Alexander Litvinenko** nasceu em Voronezh, em 1962. Após concluir os estudos em 1980, foi mobilizado para o exército e, nos vinte anos que se seguiram, subiu de soldado raso para tenente-coronel. A partir de 1988, serviu nas agências de contraespionagem do KGB soviético e, depois de 1991, integrou os quadros do MB-FSK-FSB da Rússia, especializando-se na ação antiterrorista e no combate ao crime organizado” (Porto Editora, 2007).



Orientações e objetivos

- **Investigar o caso envolvendo a morte de Alexander Litvinenko;**
 - Selecionar fontes consideradas confiáveis por vocês;
 - Pesquisar em outras línguas além do português, se possível – existem recursos de tradução *online*.
- **Preparar um dossiê sobre o caso**
 - Agrupar em uma pasta os diversos materiais encontrados sobre o assunto;
 - Será subsídio para a elaboração da reportagem e auxiliará com argumentos para o posterior debate.
- **Elaborar um texto jornalístico de reportagem sobre o assunto**
 - Escrever uma reportagem sobre o caso tendo como público-alvo seus futuros alunos do Ensino Médio;
 - O texto auxiliará em seus argumentos para o debate.
- **Participar de debate em sala sobre a temática (__/__/__)**
 - Debater sobre pontos do caso trazidos pelo(a) professor(a);
 - Discussão envolvendo os materiais encontrados e a reportagem elaborada.
- **Entregar o trabalho (__/__/__)**
 - Dossiê: pasta com cópias físicas dos materiais encontrados/referências;
 - Reportagem: cópia física e também por e-mail.

QUESTÕES INICIAIS PARA REFLEXÃO SOBRE O CASO

Tais questionamentos poderão auxiliá-los no início da investigação. Poderão ainda se indagar sobre outras questões a fim de tentar encontrar respostas ao caso.

- Quem foi Alexander Litvinenko?
- O que ele fez na época anterior ao seu falecimento?
- O que ocorreu?
- Qual(ais) pessoa(s) pode(m) estar relacionada(s) ao caso?
- Como ele morreu? O que de fato levou à sua morte?
- Como o instrumento responsável pela sua morte surgiu na sociedade?
- Quais são as características desse instrumento? Como afeta o organismo?
- Por que esse instrumento afetou fortemente Litvinenko e não os que o transportavam?
- Qual é o contexto atual da disponibilidade desse instrumento no mundo?
- Existem casos semelhantes ao de Litvinenko?
- Quais os pontos de convergência e divergência?
- Como isso pode ajudar a compreender o caso em questão?
- Como a morte de Alexander Litvinenko se relaciona à História da Ciência?





4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista do objetivo desse Produto Educacional, proporcionar materiais de apoio ao ensino de Ciências tendo como contexto a história de Marie Curie visando à Alfabetização Científica e Tecnológica, esperamos que esse trabalho possa ser útil aos professores em suas práticas pedagógicas na Educação Básica e Superior.

Nos colocamos à disposição para discutir com os que desejam implementar os Episódios de Ensino, realizar outras pesquisas e propostas que podem se originar a partir dessas ou ainda novas relacionadas às temáticas sobre Marie Curie e/ou Alfabetização Científica e Tecnológica.

Atenciosamente,

Karoline dos Santos Tarnowski

Professora pesquisadora
(karol.tarnowski@hotmail.com)

Ivani Teresinha Lawall

Professora orientadora
(ivani.lawall@udesc.br)



5. AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias (PPGECMT) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), pelo trabalho sério, colaborativo, prestativo e inspirador realizado pela equipe de professores, técnicos e estudantes;

À minha professora orientadora, Ivani Teresinha Lawall, por ter acreditado no projeto e sempre ter me indicado possibilidades para que esse trabalho pudesse se concretizar;

Ao professor José de Pinho Alves Filho e às professoras Thaís Cyrino de Mello Forato, Maria da Graça Moraes Braga Martin, Marinês Domingues Cordeiro e Nicole Glock Maceno, que compuseram a banca avaliadora do projeto e/ou dissertação e deste Produto Educacional, pelas valiosas contribuições;

Ao Programa de Bolsas de Monitoria de Pós-Graduação (PROMOP-UDESC) pela bolsa concedida, subsídio fundamental que possibilitou a dedicação exclusiva à pesquisa, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro, que custeou a impressão dos materiais necessários;

À comunidade científica, por suas contribuições que possibilitaram a pesquisa e o desenvolvimento do Produto Educacional;

Às instituições que auxiliaram à pesquisa histórica pelo acesso aos documentos originais, Bibliothèque Nationale de France (bnf.fr), Internet Archive (archive.org), Musée Curie (musee.curie.fr), Académie des Sciences (academie-sciences.fr), Biblioteca Nacional Digital Brasil (memoria.bn.br), Biblioteka Główna Politechnika Warszawska (bcpw.bg.pw.edu.pl), Universidad Nacional de La Plata (libros.unlp.edu.ar), National Portrait Gallery (npg.org.uk), The Nobel Foundation (nobelprize.org) e Wikimedia Foundation (wikimediafoundation.org);

Ao José Roberto Marinho e à Editora Livraria da Física, por permitirem a disponibilização gratuita neste Produto Educacional de parte de um de seus livros;

Aos meus colegas de curso e de laboratório, pelo apoio, parceria, sugestões e discussões ao longo do desenvolvimento do trabalho.



6. REFERÊNCIAS

BECQUEREL, Henri (1896). Sur les radiations émises par phosphorescence. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 122, p. 420-421. 1896a. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Becquerel/Becquerel_pdf/CR1896_p420.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

BECQUEREL, Henri (1896). Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 122, p. 501-503, 1896b. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Becquerel/Becquerel_pdf/CR1896_p501.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

BECQUEREL, Henri (1896). Sur quelques propriétés nouvelles des radiations invisibles émises par divers corps phosphorescents. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 122, p. 559-564, 1896c. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Becquerel/Becquerel_pdf/CR1896_p559.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

BECQUEREL, Henri (1896). Sur les radiations invisibles émises par les sels d'uranium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 122, p. 689-694, 1896d. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Becquerel/Becquerel_pdf/CR1896_p689.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

BECQUEREL, Henri (1896). Sur les propriétés différentes des radiations invisibles émises par les sels d'uranium, et du rayonnement de la paroi anticathodique d'un tube de Crookes. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 122, p. 762-767, 1896e. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Becquerel/Becquerel_pdf/CR1896_p762.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

BECQUEREL, Henri (1896). Émission de radiations nouvelles par l'uranium métallique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 122, p. 1086-1088, 1896f. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Becquerel/Becquerel_pdf/CR1896_p1086.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

BECQUEREL, Henri (1899). Note sur quelques propriétés du rayonnement de l'uranium et des corps radio-actifs. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 128, p. 771-777, 1898. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30841/f771.image>. Acesso em: 19 set. 2020.

BIGLAND, Eileen (1957). **Madame Curie**. Tradução: Madalena de Castro. 2ª ed. Porto: Livraria Civilização, 1957. 173 p.

BINDA, María del Carmen Binda (2009). Marie Curie, una mujer pionera en su tiempo (Primera parte). **Revista Argentina de Radiología**, v. 73, n. 3, p. 265-270, jul./set. 2009. Disponível em: <scielo.org.ar/pdf/rar/v73n3/v73n3a03.pdf>. Acesso em: 16 set. 2018.

BINDA, María del Carmen Binda (2009). Marie Curie, una mujer pionera en su tiempo (Segunda parte). **Revista Argentina de Radiología**, v. 73, n. 4, p. 409-416, out./dez. 2009. Disponível em: <scielo.org.ar/pdf/rar/v73n4/v73n4a03.pdf>. Acesso em: 16 set. 2018.

BIRCH, Beverley (1993). **Marie Curie**. [Originalmente publicado: 1988]. Série Personagens que mudaram o mundo – Os grandes cientistas. Tradução: Sônia Siessere. São Paulo: Editora Globo, 1993. 64 p.

BOUCHARD, Charles Jacques; **CURIE**, Pierre; **BALTHAZARD**, Victor (1904). Action physiologique de l'emanation du radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 138, p. 1384-1387, 1904. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3092>. Acesso em: 19 set. 2020.

BRASIL (2018). Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base**. 04 dez. 2018. Disponível em: <basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/BNCC_19dez2018_site.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2019.

CARLOS, Cássio Starling (Org.) (2016). **Madame Curie**: Um filme inspirado na vida de Marie Curie. Coleção Folha Grandes Biografias no Cinema. São Paulo: Folha de S. Paulo, 2016. 44 p.

CARVALHO, Fernando P. (2014). Marie Curie: pioneira na descoberta da radioatividade, dos primeiros radionuclídeos e suas aplicações em medicina. **Gazeta da Física**, v. 37, n. 1, p. 2-9, 2014. Disponível em: <edicoes.up.pt/anexo/ficheiro/143/RecensaoEnsinoExperimental_Revista_Gazeta_da_Fisica_n113.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

CHAVANNES, Isabelle (1907). **Aulas de Marie Curie**: Anotadas por Isabelle Chavannes em 1907. Tradução: Waldyr Muniz Oliva. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007. 136 p.

CORDEIRO, Marinês Domingues (2011). **Dos Curie a Rutherford**: aspectos históricos e epistemológicos da radioatividade na formação científica. 2011. 234 p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. Disponível em: <repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95575>. Acesso em: 16 set. 2018.

CORDEIRO, Marinês Domingues; **PEDUZZI**, Luiz Orlando de Quadro (2010). As Conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: a gênese da radioatividade no ensino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 3, p. 473-514, dez. 2010. Disponível em: <periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n3p473/17170>. Acesso em: 10 set. 2018.

CURIE, Eva [Ève] (1937). **Madame Curie**. [Originalmente publicado: 1937]. Biblioteca do Espírito Moderno. História e Biografia. Série 3ª, vol. 1. Tradução: Monteiro Lobato. São Paulo: Companhia Editora Nacional, [1ª ed. brasileira: 1938] 11ª ed., 1962. 337 p.

CURIE, Marie Skłodowska (1898). Propriétés magnétiques des aciers trempés. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 125, p. 1165-1168, 1897. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3081>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1898). Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 126, p. 1101-1103, 1898. Disponível em: <archive.org/details/rayonsmisparle00curi/page/1100>. Acesso em: 13 abr. 2019.

CURIE, Marie Skłodowska (1899). Les rayons de Becquerel et le polonium. **Revue Générale des Sciences**, v. 10, p. 41-50, 1899. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k17074d/f43.item>. Acesso em: 08 jul. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1899). Sur le poids atomique du métal dans le chlorure de baryum radifère. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 129, p. 760-762, 1899. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3085>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1900). Les nouvelles substances radioactives. **Revue Scientifique**, série 4, v. 14, pp. 65-71, jul. 1900. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k215133g/f68.image>. Acesso em: 13 maio 2020. [Reproduzido por JOLIOT-CURIE, Irène. Œuvres de Marie Skłodowska Curie – Prace Marii Skłodowskiej-Curie. Varsóvia: Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1954. pp. 95-105. Disponível em: <bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/7295/Prace_MSC_95.pdf >. Acesso em: 24 abr. 2020].

CURIE, Marie Skłodowska (1900). Sur la pénétration des rayons de Becquerel non deviables par le champ magnétique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 130, p. 76-79, 1900. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3086>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1902). Sur le poids atomique du Radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 135, p. 161-163, 1902. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k64435428/f167.image>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1903). **Recherches sur les substances radioactives**. 1903. 155 p. Tese (Docteur ès Sciences Physiques) – Faculté des sciences de Paris. Paris: Gauthier-Villars, 2^a ed., 1904. Disponível em: <catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb30291901n>. Acesso em: 13 abr. 2019.

CURIE, Marie Skłodowska (1904). **Badanie ciał radioaktywnych**. Varsóvia: Wende, 1904. Disponível em: <polona.pl/item/badanie-cial-radioaktywnych,Njc4NjgwNjk/4/#info:metadata> e <wolnelektury.pl/media/book/pdf/sklodowska-badanie-cial-radioaktywnych.pdf>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1907). Sur le poids atomique du Radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 145, p. 422-425, 1907. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3099>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1907). Sur le poids atomique du Radium. **Le Radium**, ano 4, n. 10, p. 349-352, 1907. Disponível em: <hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00242258/document>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1910). **Traité de Radioactivité**. Tome I. Paris: Gauthier-Villars, 1910a. Disponível em: <libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/view/123/105/338-1> e <ia800209.us.archive.org/26/items/traitderadioac01curi/traitderadioac01curi.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

CURIE, Marie Skłodowska (1910). **Traité de Radioactivité**. Tome II. Paris: Gauthier-Villars, 1910b. Disponível em: <ia801806.us.archive.org/12/items/traitederadioact02pmad/traitederadioact02pmad_text.pdf> e <ia800206.us.archive.org/12/items/traitderadioac02curi/traitderadioac02curi.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019.

CURIE, Marie Skłodowska (1911). **Radium and the New Concepts in Chemistry**. Marie Curie: Nobel Lecture. Nobel Prize. December 11, 1911. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/marie-curie/lecture/>. Acesso em: 06 out. 2018.

CURIE, Marie Skłodowska (1912). Les mesures en radioactivité et l'étalon du radium. **Journal de Physique**, v. 2, n. 1, p. 795-826, 1912. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3099>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1920). Sur la distribution des intervalles d'émission des particules α du polonium. **Journal de Physique et Le Radium**, v. 1, n. 1, p. 12-24, 1920. Disponível em: <hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00200749/document>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1921). **La Radiologie et la Guerre**. Nouvelle Collection Scientifique. Paris: Librairie Félix Alcan, 1921. 143 p. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6565193m>. Acesso em: 12 maio de 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1923). **Pierre Curie**. New York: The Macmillan company, 1923. 242 p. Disponível em: <archive.org/details/pierrecurie0000curi/page/n7/mode/2up>. Acesso em: 01 maio 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1923). **Pierre Curie**: with autobiographical notes by Marie Curie. [Originalmente publicado: 1923]. Mineola: Dover Publications, 2012. 118 p.

CURIE, Marie Skłodowska (1926). Stan obecny chemji polonu. **Roczniki Chemii**, v. 6, p. 355-361, 1926. Disponível em: <bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/7295/roczniki_chemii_1926_355.pdf>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska (1930). Sur l'actinium. **Journal de Chimie Physique**, v. 27, p. 2-8, 1930. Disponível em: <doi.org/10.1051/jcp/1930270002>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska; **DEBIERNE**, André-Louis (1910). Sur le polonium. **Le Radium**, n. 7, v. 2, p. 38-40, 1910. Disponível em: <hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00242391/document>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Marie Skłodowska; DEBIERNE, André-Louis (1910). Sur le radium métallique. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**. v. 151, p. 523-525, 1910. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/CadresFenetre?O=NUMM-3104&I=523&M=tdm>. Acesso em: 08 jul. 2020.

CURIE, Pierre (1905). **Radioactive substances, especially radium**. Pierre Curie: Nobel Lecture. Nobel Prize. June 6, 1905. Disponível em: <nobelprize.org/uploads/2018/06/pierre-curie-lecture.pdf>. Acesso em: 06 out. 2018.

CURIE, Pierre; **BECQUEREL**, Henri (1901). Action physiologique des rayons du radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**. v. 132, p. 1289-1291, 1901. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1901_p1289_1291.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

CURIE, Pierre; **CURIE**, Marie Skłodowska (1898). Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 127, p. 175-178, 1898. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1898_p175_178.pdf >. Acesso em: 02 jul. 2020.

CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska (1899). Effects chimiques produits par les rayons de Becquerel. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 129, p. 823-825, 1899. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3085>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska (1899). Sur la radioactivité provoquée par les rayons de Becquerel. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 129, p. 714-716, 1899. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3085>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska (1900). Sur la charge électrique des rayons déviables du radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 130, p. 647-650, 1900. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3086>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska (1900). **Les nouvelles substances radioactives et les rayons qu'elles émetten**. Congrès International de Physique – Société Française de Physique. Paris: Gauthier-Villars, 1900. Disponível em: <library.si.edu/digital-library/book/nouvellessubsta00curi> e <bcpw.bg.pw.edu.pl/Content/7295/Prace_MSC_106.pdf>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska (1902). Sur les corps radioactifs. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 134, p. 85-87, 1902. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3090>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Pierre; **CURIE**, Marie Skłodowska; **BÉMONT**, Gustave (1898). Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 127, p. 1215-1217, 1898. Disponível em: <academie-sciences.fr/archivage_site/activite/archive/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1898_p1215_1217.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

CURIE, Pierre; **DEBIERNE**, André-Louis (1901). Sur la radio-activité induite provoquée par les sels de radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 132, p. 548-551, 1901. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k30888/f584.image>. Acesso em: 19 set. 2020.

CURIE, Pierre; **LABORDE**, Albert (1903). Sur la chaleur dégagée spontanément par les sels de radium. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 136, p. 673-675, 1903. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/Visualiseur?Destination=Gallica&O=NUMM-3091>. Acesso em: 19 set. 2020.

DEBIERNE, André-Louis (1899). Sur une nouvelle matière radio-active. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 129, p. 593-595, 1899. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3085b/f593.image>. Acesso em: 19 set. 2020.

DELIZOICOV, Demétrio; **ANGOTTI**, José André; **PERNAMBUCO**, Marta Maria (2009). **Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos**. Coleção Docência em Formação. 3ª ed. São Paulo: Cortez, 2009. 364 p.

DEMARÇAY, Eugène (1898). Sur le spectre d'une substance radio-active. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, v. 127, p. 1218, 1898. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3083q/f1220.image>. Acesso em: 19 set. 2020.

DOORLY, Eleanor (1939). **The Radium Woman**. [Originalmente publicado: 1939]. Londres: Heinemann Educational Books, 1969. 181 p.

FOUREZ, Gérard (1995). The science, technologies and society (STS) movement and the teaching of science. **Prospects**, v. 25, n. 1, p. 27-40, mar. 1995. Disponível em: <doi.org/10.1007/BF02334282>. Acesso em: 16 abr. 2020.

FOUREZ, Gérard (2003). Crise no Ensino de Ciências? Tradução: Carmem Cecília de Oliveira. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003. Disponível em: <if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/542/337>. Acesso em: 30 set. 2018.

FOUREZ, Gérard (2005). **Alfabetización científica y tecnológica**: Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Tradução: Elsa Gómez de Sarría. Buenos Aires: Ediciones Colihue, 2005. 256 p.

GARCIA, Daniela.; **GARCIA**, Cristián (2006). Marie Curie, una gran científica, una gran mujer. **Revista Chilena de Radiología**, v. 12, n. 3, 2006. Disponível em: <[dx.doi.org/10.4067/S0717-93082006000300008](https://doi.org/10.4067/S0717-93082006000300008)>. Acesso em: 23 jun. 2020.

GAROZZO, Filippo (1974). **Madame Curie**. Série Os Homens que Mudaram a Humanidade. São Paulo: Editora Três, 1974. 153 p.

GIROUD, Françoise (1981). **Marie Curie**. [Originalmente publicado: 1981]. Tradução: Ramon Vasquez. 1ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 1989. 264 p.

GOLDSMITH, Barbara (2005). **Gênio obsessivo**: O mundo interior de Marie Curie. [Originalmente publicado: 2005]. Tradução: Ivo Korytowski. São Paulo: Companhia das Letras, 2006. 221 p.

HURWIC, Józef (2008). **Marie Skłodowska-Curie et la Radioactivité**. Varsóvia: GAL, 2008. 138 p.

IGOT, Yves (1959). **Monsieur et Madame Curie**. [Originalmente publicado: 1959]. Paris: Didier, 1961. 70 p.

LOBATO, Maria do Carmo Sayão (1999). **A noite dos vagalumes feéricos**: A vida de Marie Curie. Rio de Janeiro: Ampersand, 1999. 103 p.

MADAME CURIE (1943). Direção: Mervyn LeRoy. Produção: Sidney Franklin. Produtor: Metro-Goldwyn-Mayer (MGM). Estados Unidos, 1943. Filme, (124 min). In: CARLOS, Cássio Starling (Org.). **Madame Curie**: Um filme inspirado na vida de Marie Curie. Coleção Folha Grandes Biografias no Cinema. São Paulo: Folha de S. Paulo, 2016. 44 p.

MAIA, Raquel Gonçalves (2012). **Marie Skłodowska Curie**: Imagens de outra face. São Paulo: Livraria da Física, 2012. 111 p.

MARIE CURIE, ALÉM DO MITO (2011). Título original: Marie Curie, au-delà du mythe. Direção: Michel Vuillermet. Produção: Géraldine Berger, Nathalie Huchette e Michel Vuillermet. Produtoras: ARTE France, Les Films d'un Jour, Institut Curie e CNRS Images. França, 2011. Documentário, (52 min). Disponível em: <youtube.com/watch?v=dhQsU0QDYew> (Áudio: Francês, Legenda: Português) ou <vimeo.com/28488135> (Áudio: Francês). Acesso em: 07 jul. 2019.

MARIE CURIE: Uma mulher na frente de batalha (2014). Título original: Marie Curie, une femme sur le front. Direção: Alain Brunard. Produção: Cécile Roger-Machart. Produtora: CAPA Drama. Bélgica-França, 2014. Filme-Documentário, (90 min). Disponível em: <youtube.com/watch?v=Q22KBwlqW-8> (Áudio: Francês, Legenda: Português). Acesso em: 09 jul. 2019.

MARIE CURIE (2016). Direção: Marie Noëlle. Produção: Andrea Stoll e Marie Noëlle. Produtora: Big World Pictures. Alemanha-França-Polônia, 2016. Filme, (100 min).

MARQUES, Gentil (1942). **História Maravilhosa de Madame Curie**. Lisboa: Argo, 1942. 197 p.

MARTINS, Roberto de Andrade (2003). As primeiras investigações de Marie Curie sobre os elementos radioativos. **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 1, n. 1, p. 29-41, 2003. Disponível em: <sbhc.org.br/revistahistoria/view?ID_REVISTA_HISTORIA=21>. Acesso em: 19 set. 2018.

MARTINS, Roberto de Andrade (2012). **Becquerel e a descoberta da radioatividade**: uma análise crítica. Campina Grande: EDUEPB/Livraria da Física, 2012. 482 p

MONTOYA, Edgar Serna (2011). Marie Curie. **Lámpsakos**, n. 5, pp. 70-75. jan./jun. 2011. Disponível em: <funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/822/790>. Acesso em: 16 set. 2018.

MUSÉE CURIE (2019). **Les « années folles » du radium**. Exposition permanente, Histoire famille Curie (Pierre et Marie) et radioactivité, Musée Curie. 2019. Disponível em: <musee.curie.fr/decouvrir/exposition-permanente/visite-virtuelle/b6-les-annees-folles-du-radium>. Acesso em: 11 maio 2020.

NEW YORK TIMES (1911). Alchemy, long scoffed at, turns out to be true: Transmutation of Metals, the Principle of the Philosopher's Stone, accomplished in the Twentieth Century. **New York Times**. February 19, 1911, p. 12. Disponível em: <nytimes.com/1911/02/19/archives/alchemy-long-scoffed-at-turns-out-to-be-true-transmutation-of.html>. Acesso em: 14 abr. 2019.

O GÊNIO DE MARIE CURIE: A Mulher que Iluminou o Mundo (2013). Título original: The Genius of Marie Curie: The Woman who lit up the World. Direção: Gideon Bradshaw. Produção: Laura Davey, Alice Pattenden, Kathryn Jein e Imogen Stringer. Produtoras: BBC Worldwide Ltd. Reino Unido, 2013. Documentário, (59 min). Disponível em: <vimeo.com/136715487> (Áudio: Inglês). Acesso em: 08 jul. 2020.

PÁEZ, Adela Muñoz (2013). Marie Sklodowska–Curie y la radioactividad. Mujeres en la química. **Educación Química**, v. 24, n. 2, p. 224-228, abr. 2013. Disponível em: <scielo.org.mx/pdf/eq/v24n2/v24n2a7.pdf>. Acesso em: 16 set. 2018.

PARKER, Steve (1996). **Marie Curie e a Radioatividade**. Tradução: Silvio Neves Ferreira. São Paulo: Scipione, 1996. 32 p.

PORTO EDITORA (2007). **Terror na Rússia**: Revelações de um ex-espião do KGB. 2007. Disponível em: <portoeditora.pt/produtos/ficha/terror-na-russia/191366>. Acesso em: 31 ago. 2020.

PRINCE, Julius Mendes (1904). Marie Curie, Pierre Curie (“People of the Day. No. 1 ‘Radium - Jehu Junior’”). Cromolitografia. **Vanity Fair**, 22 dez. 1904. National Portrait Gallery. Disponível em: <npg.org.uk/collections/search/portrait/mw259700/Marie-Curie-Pierre-Curie-People-of-the-Day-No-1-Radium---Jehu-Junior>. Acesso em: 10 jun. 20.

PUGLIESE, Gabriel (2012). **Sobre o “Caso Marie Curie”**: A Radioatividade e a Subversão do Gênero. São Paulo: Alameda, 2012. 266 p.

PUGLIESE, Gabriel (2014). O Nobel e alguns “contos de fada”. **ComCiência**, n. 164, p. 1-4, dez. 2014. Disponível em: <comciencia.scielo.br/pdf/cci/n164/11.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

QUINN, Susan (1995). **Marie Curie**: Uma vida. [Originalmente publicado: 1995]. Tradução: Sonia Coutinho. 1ª ed. São Paulo: Scipione Cultural, 1997. 526 p.

RADIOATIVO (2019). Título original: Radioactive. Direção: Marjane Satrapi. Produção: Tim Bevan, Eric Fellner e Paul Webster. Produtora: Shoebox Films e Working Title Films. Reino Unido, 2019. Filme, (110 min). Trailer disponível em: <youtube.com/watch?v=uRJwnP0KC8>. Acesso em: 09 jul. 2020.

REID, Robert (1974). **Marie Curie**. New York: Saturday Review Press/E. P. Dutton & Co., Inc., 1974. 349 p.

RUTHERFORD, Ernest (1905). **Radio-activity**. 2ª ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1905. Disponível em: <archive.org/details/radioactivityern00ruthrich/mode/2up>. Acesso em: 19 set. 2020.

RUTHERFORD, Ernest; **SODDY**, Frederick (1902). The radioactivity of thorium compounds I. **Journal of the Chemical Society**, v. 81, p. 321-350, 1902. Disponível em: <doi.org/10.1039/CT9028100321>. Acesso em: 19 set. 2020.

RUTHERFORD, Ernest; **SODDY**, Frederick (1902). The cause and nature of radioactivity: Part I. **Philosophical Magazine**, v. 4, n. 21, p. 370-396, 1902. Disponível em: <doi.org/10.1080/14786440209462856>. Acesso em: 19 set. 2020.

RUTHERFORD, Ernest; **SODDY**, Frederick (1903). A comparative study of the radioactivity of radium and thorium. **Philosophical Magazine**, v. 5, n. 28, p. 445-457, 1903. Disponível em: <doi.org/10.1080/14786440309462943>. Acesso em: 19 set. 2020.

SANTO, Brunilde Mendes do Espírito (2015). **Marie Curie: Coragem, determinação, persistência**. Série Heróis da Humanidade, v. 2. 1ª ed. Rio de Janeiro: Lorenz, 2015. 79 p.

SANTOS, Monique (2018). Uso da História da Ciência para Favorecer a Compreensão de Estudantes do Ensino Médio sobre Ciência. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 18, n. 2, p. 641-668, 31 ago. 2018. Disponível em: <periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4592>. Acesso em: 09 jul. 2020.

SCHMIDT, Gerhard Carl (1898). Über die von den Thorverbindungen und einigen anderen Substanzen ausgehende Strahlung. **Annalen der Physik und Chemie**, v. 65, p. 141-151, 1898. Disponível em: <gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k153068/f149.item>. Acesso em: 02 jul. 2020.

SEGUINDO OS PASSOS DE MARIE CURIE (2011). Título original: Dans les pas de Marie Curie (Francês) - Śladami Marii Skłodowskiej-Curie (Polonês). Direção: Krzysztof Rogulski. Produção: Stéphanie Vannier, Philippe Boulègue e Krzysztof Rogulski. Produtoras: Alchimic Films, Filmstom Productions, Olivier Productions e Telessonne. França-Polônia, 2011. Documentário, (80 min).

SENIOR, John E. (1998). **Marie & Pierre Curie**. Guernsey: Sutton Publishing, 1998. 117 p.

SIMAL, Carlos Jorge Rodrigues; **PARISOTTO**, Viviane Santuari (2011). Um pouco da vida e da obra da Madame Curie e os 85 anos da sua visita a Belo Horizonte. **Revista Médica de Minas Gerais**, v. 21, n. 3, p. 361-368, 2011. Disponível em: <rmmg.org/exportar-pdf/183/v21n3a17.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

STRATHERN, Paul (1998). **Curie e a Radioatividade em 90 minutos**. [Originalmente publicado: 1998]. Tradução: Maria Luiza Borges. 1ª ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2000. 89 p.

THORNE, Alice (1961). **The Story of Madame Curie**. 1ª ed. Nova York: Scholastic, 1961. 154 p.

VASCONCELOS, Stephanie Siqueira; **FORATO**, Thaís Cyrino de Mello (2018). Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 851-887, dez. 2018. Disponível em: <periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n3p851/38048>. Acesso em: 12 maio 2020.

WEART, Spencer R. Nuclear fear. In: ENGELHARDT Jr, H. Tristram; CAPLAN, Arthur L. **Scientific controversies: Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology**. New York: Cambridge University Press, 1987. 529-550 p.



7. CRÉDITOS DAS IMAGENS

CAPA

- **Fotografia de Marie Curie, p. 2** [BT. *It's Marie Curie's 150th birthday today – learn 10 things about this incredible scientist.* Maria Skłodowska-Curie em Birmingham (1913). Disponível em: <home.bt.com/tech-gadgets/who-is-marie-curie-facts-birthday-scientist-11364227021989>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Assinatura de Marie Curie, p. 2** [Disponível em: <pt.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie>. Acesso em: 30 ago. 2020]

SUMÁRIO

- **Desenho de Marie Curie, p. 5** [CLIPART ETC. *Marie Curie.* Florida Center for Instructional Technology, College of Education, University of South Florida. 2020. Disponível em: <etc.usf.edu/clipart/79800/79859/79859_curie.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020]

BREVE BIOGRAFIA

- **Fotografia 1, p. 8** [MUZEUM MARI SKŁODOWSKIEJ-CURIE. *Rua Freta.* Disponível em: <muzeum.fizyka.pw.edu.pl/museums-history?lang=en>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 2, p. 8** [GENEANET. *Pais de Maria Skłodowska: Boguska e Skłodowski.* Disponível em: <gw.geneanet.org/titeufs6?lang=en&n=boguska&oc=0&p=bronislawa+marianna>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 3, p. 8** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Maria e irmãos em 1872.* Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 4, p. 8** [GENEANET. *Zofia Marya Skłodowska.* Disponível em: <gw.geneanet.org/titeufs6?lang=en&n=sklodowska&oc=0&p=zofia+marya>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 5, p. 8** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Bronislawa Skłodowska em 1860.* Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 6, p. 8** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Maria Skłodowska em 1883.* Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 7, p. 8** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Diploma russo de 1883.* Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 8, p. 8** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Maria e Bronislawa em 1886.* Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 9, p. 8** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Maria, irmãs e o pai em 1890.* Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 10, p. 8** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie Curie entre 1894-1895.* Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]

- **Fotografia 11, p. 8** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie Skłodowska em 1892*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 12, p. 8** [*Marie Skłodowska em 1903*. Disponível em: <es.wikipedia.org/wiki/Arquivo:Maria_Sk%C5%82odowska-Curie_1903.jpg>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 13, p. 9** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Casamento de Marie e Pierre Curie em 1895*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 14, p. 9** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e Pierre Curie com bicicletas em 1895*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 15, p. 9** [NOBEL FOUNDATION. *Henri Becquerel em 1903*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/becquerel/facts/>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 16, p. 9** [CURIE, Marie Skłodowska. Rayons émis par les composés de l'uranium et du thorium. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, v. 126, p. 1101-1103, 1898. Disponível em: <archive.org/details/rayonsmisparle00curi/page/1100>. Acesso em: 13 abr. 2019]
- **Fotografia 17, p. 9** [CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska. Sur une substance nouvelle radioactive, contenue dans la pechblende. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, v. 127, p. 175-178, 1898. Disponível em: <academie-sciences.fr/pdf/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1898_p175_178.pdf >. Acesso em: 02 jul. 2020]
- **Fotografia 18, p. 9** [CURIE, Pierre; CURIE, Marie Skłodowska; BÉMONT, Gustave. Sur une nouvelle substance fortement radio-active contenue dans la pechblende. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, v. 127, p. 1215-1217, 1898. Disponível em: <academie-sciences.fr/archivage_site/activite/archive/dossiers/Curie/Curie_pdf/CR1898_p1215_1217.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020]
- **Fotografia 19, p. 9** [WELLCOME LIBRARY. *Marie e Pierre em seu galpão na École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles em 1898*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 20, p. 9** [WELLCOME COLLECTION. *Galpão da EPCI em cerca de 1900 (1)*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 21, p. 9** [WELLCOME COLLECTION. *Galpão da EPCI em cerca de 1900 (2)*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 22, p. 9** [LA CHIMICA E L'INDUSTRIA NEWSLETTER. *Marie Curie e algumas de suas alunas de Sèvres*. 2017. Disponível em: <chim.it/sites/default/files/chimind/pdf/2017_9_4419_on.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 23, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *André Debierne em 1901*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 24, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Foto de brometo de rádio em 1922*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 25, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Władysław Skłodowski em 1890*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]

- **Fotografia 26, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Casal Curie em 1903*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 27, p. 10** [CURIE, Marie Skłodowska. Tese “Recherches sur les substances radioactives”. 1903. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 28, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Prêmio Nobel de Física de 1903*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 29, p. 10** [ANDERSSON, Karl. *Carta de agradecimento pelo Nobel em Física de 1903*. Academia Real Sueca de Ciências. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 30, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Casal Curie e Irène em 1904*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 31, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Pierre Curie na Sorbonne em 1904 (1)*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 32, p. 10** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Pierre Curie na Sorbonne em 1904 (2)*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 33, p. 10** [ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. *Marie Curie em seu laboratório na rua Cuvier*. Disponível em: <britannica.com/video/201446/World-War-I-Marie-Curie-labs-fleet>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 34, p. 11** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie com cronômetro e eletrômetro realizando pesquisas em radioatividade em 1904*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 35, p. 11** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e suas filhas Irène e Ève em 1905*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 36, p. 11** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Funeral de Pierre Curie após acidente de trânsito*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 37, p. 11** [MUSÉE CURIE. *A primeira professora na Sorbonne*. Disponível em: <musee.curie.fr/decouvrir/la-famille-curie/un-couple-de-pionniers>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 38, p. 11** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie em seu laboratório na rua Cuvier em 1908*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 39, p. 11** [DAILY HERALD ARCHIVE. *Ève, Marie e Irène em 1908*. Science Museum Group - SSPL. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 40, p. 11** [CURIE, Marie Skłodowska; DEBIERNE, André-Louis. *Sur le radium métallique*. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris. v. 151,

- p. 523-525, 1910. Disponível em: <visualiseur.bnf.fr/CadresFenetre?O=NUMM-3104&I=523&M=tdm>. Acesso em: 08 jul. 2020]
- **Fotografia 41, p. 11** [LIBRARY OF CONGRESS. *Marie Curie e quatro alunas entre 1910 e 1915*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 42, p. 11** [CURIE, Marie Skłodowska. *Traité de Radioactivité*. Paris: Gauthier-Villars, 1910. Disponível em: <ia800209.us.archive.org/26/items/traitderadioac01curi/traitderadioac01curi.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2019]
 - **Fotografia 43, p. 11** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *1ª Conferência Solvay em 1911*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 44, p. 11** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Prêmio Nobel de Química de 1911*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 45, p. 11** [ANDERSSON, Karl. *Carta de agradecimento pelo Nobel em Química de 1911*. Academia Real Sueca de Ciências. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 46, p. 12** [AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. *Capa do jornal Excelsior sobre a eleição à título de membro da Academia de Ciências francesa*. Disponível em: <history.aip.org/exhibits/curie/scandall.htm>. Acesso em: 30 ago. 2020]
 - **Fotografia 47, p. 12** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie em seu laboratório na rua Cuvier em 1913*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 48, p. 12** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Pavilhão Curie do Instituto do Rádio em 1925*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 49, p. 12** [Fonte desconhecida. *Irène na Primeira Guerra Mundial*. Disponível em: <technicianjourney.com/2018/10/08/irene-curie/>. Acesso em: 30 ago. 2020]
 - **Fotografia 50, p. 12** [DEBAILLIE, Roseline. *Marie Curie na Primeira Guerra (1914-1918)*. Disponível em: <1914-1918.be/marie_curie.php>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 51, p. 12** [BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE. *Carro radiológico Massiot em 1914*. Disponível em: <catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb40504352c>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 52, p. 12** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e Irène no Hospital Hoogstade com equipamento radiológico em 1915*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 53, p. 12** [HISTORIA/REX. *Marie em visita a um hospital de campanha britânico em 1915*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
 - **Fotografia 54, p. 12** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e Albert I em 1915*. Disponível em: <france24.com/fr/20160521-grande-guerre-marie-curie-radiologie-voiture-belgique-medical-prix-nobel-sante>. Acesso em: 12 jul. 2020]

- **Fotografia 55, p. 12** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e enfermeiras em 1916*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 56, p. 12** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie no “Petit Curie” em 1917*. Disponível em: <nobelprize.org/womenwhochangedscience/stories/marie-curie>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 57, p. 12** [NATIONAAL ARCHIEF OF THE NETHERLANDS. *Marie no laboratório de química do Instituto do Rádio em 1921*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 58, p. 13** [INSTITUT CURIE. *Marie Curie e Claudius Regaud*. Disponível em: <institut-curie.org/page/our-history>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 59, p. 13** [ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e Irène no Instituto do Rádio em 1921*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 60, p. 13** [O GLOBO. *Marie Curie e filhas nos Estados Unidos*. Disponível em: <oglobo.globo.com/celina/a-visita-de-marie-curie-ao-brasil-em-1926-23778255>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 61, p. 13** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e fabricante de rádio em 1921*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 62, p. 13** [NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. *Marie Curie com o presidente Harding e senhorita Meloney*. Disponível em: <nist.gov/image-23787>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 63, p. 13** [UNITED NATIONS. Disponível em: <pbs.twimg.com/media/DRj3kqAW0AACSoY?format=jpg&name=4096x4096>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 64, p. 13** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie Curie nos fundos do Instituto do Rádio em 1923*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 65, p. 13** [CENTRO DA MEMÓRIA DA MEDICINA DA UFMG. *Marie e Irène com Eduardo Borges da Costa em 1926*. Disponível em: <noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2015/05/06/marie-curie-inspirou-mg-a-dar-inicio-a-radioterapia-no-brasil.htm>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 66, p. 13** [O GLOBO. *A visita de Marie Curie ao Brasil, em 1926*. Disponível em: <oglobo.globo.com/celina/a-visita-de-marie-curie-ao-brasil-em-1926-23778255>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia 67, p. 13** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Marie e Irène no Rio de Janeiro em 1926*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 68, p. 13** [COUPRIE, Benjamin. *5ª Conferência Solvey em 1927*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery/>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 69, p. 13** [MUSÉE CURIE/ASSOCIAÇÃO CURIE JOLIOT-CURIE. *Árvore no Instituto em 1932*. Disponível em: <explore.psl.eu/en/discover/virtual-exhibits/marie-curie-1867-1934/>. Acesso em: 12 jul. 2020]

- **Fotografia 70, p. 14** [REIAL ACADÈMIA EUROPEA DE DOCTORS. *Marie e família em 1932*. Disponível em: <raed.academy/en/children-and-grandchildren-of-four-nobel-prizes>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 71, p. 14** [SMITHSONIAN INSTITUTION ARCHIVES. *Porta-retrato de Marie Curie em 1934*. Disponível em: <nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/photo-gallery>. Acesso em: 12 jul. 2020]
- **Fotografia 72, p. 14** [MARIE Curie, além do mito. Título original: Marie Curie, au-delà du mythe. Direção: Michel Vuillermet. Produção: Géraldine Berger, Nathalie Huchette e Michel Vuillermet. Produtoras: ARTE France, Les Films d'un Jour, Institut Curie e CNRS Images. França, 2011. Documentário, (52 min)]
- **Fotografia 73, p. 14** [INA. *20 de abril de 1995, Marie e Pierre Curie entram no Panteão. 2020*. Disponível em: <ina.fr/contenus-editoriaux/articles-editoriaux/20-avril-1995-marie-et-pierre-curie-entrent-au-pantheon>. Acesso em: 31 ago. 2020]
- **Fotografia de fundo de Marie Curie, p. 14** [BT. *It's Marie Curie's 150th birthday today – learn 10 things about this incredible scientist*. Maria Skłodowska-Curie em Birmingham (1913). Disponível em: <home.bt.com/tech-gadgets/who-is-marie-curie-facts-birthday-scientist-11364227021989>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Assinatura de Marie Curie, p. 14** [Disponível em: <pt.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie>. Acesso em: 30 ago. 2020]

SUGESTÕES PARA APROFUNDAMENTO

- **Cena de filme, p. 21** [MADAME Curie. Direção: Mervyn LeRoy. Produção: Sidney Franklin. Produtor: Metro-Goldwyn-Mayer (MGM). Estados Unidos, 1943. Filme, (124 min). In: CARLOS, Cássio Starling (Org.). *Madame Curie: Um filme inspirado na vida de Marie Curie*. Coleção Folha Grandes Biografias no Cinema. São Paulo: Folha de S. Paulo, 2016. 44 p]
- **Pôster de filme, p. 21** [Idem anterior. Disponível em: <imdb.com/title/tt0036126/mediaviewer/rm1444795648>. Acesso em: 31 ago. 2020]
- **Museu polonês, p. 22** [NOVIL, Nihil. *Mural no local de nascimento de Maria Skłodowska-Curie na rua Freta na cidade nova de Varsóvia, pintado em 2011 no 100º aniversário de seu segundo Prêmio Nobel. 2012*. Disponível em: <commons.wikimedia.org/wiki/File:Maria_Skłodowska-Curie_birthplace_mural.jpg>. Acesso em: 31 ago. 2020]
- **Museu francês, p. 22** [LACEK. *Entrada para Musée Curie, Paris. 2012*. Disponível em: <commons.wikimedia.org/wiki/File:Entrance_to_Musee_Curie,_Paris.jpg>. Acesso em: 31 ago. 2020]

EPISÓDIO DE ENSINO I

- **Capa do documentário, p. 27** [MARIE Curie, além do mito (Marie Curie, au-delà du mythe). Direção: Michel Vuillermet. Produtores: Géraldine Berger, Nathalie Huchette e Michel Vuillermet. Produtoras: ARTE France, Les Films d'un Jour, Institut Curie e CNRS Images. França, 2011. Documentário, (52 min). Disponível em: <imdb.com/title/tt2069049/mediaviewer/rm3516139008>. Acesso em: 31 ago. 2020]
- **Fotografia de Marie Curie, p. 43** [BT. *It's Marie Curie's 150th birthday today – learn 10 things about this incredible scientist*. Maria Skłodowska-Curie em Birmingham (1913). Disponível em: <home.bt.com/tech-gadgets/who-is-marie-curie-facts-birthday-scientist-11364227021989>. Acesso em: 30 ago. 2020]
- **Fotografia de Marie Curie, p. 45** [SOCIENTIFICA. *Cientista Marie Curie eleita a mulher mais influente da história*. Disponível em: <socientifica.com.br/cientista-marie-curie-eleita-a-mulher-mais-influente-da-historia>. Acesso em: 31 ago. 2020]

- **Imagens dos slides, pp. 45-54** [Indicadas ao final dos slides]
- **Imagens do artigo, pp. 55-56** [MARQUES, Fabrício. O coro dos excluídos. *Pesquisa FAPESP*. Ed. 153, pp. 28-29, nov. 2008. Disponível em: <revistapesquisa.fapesp.br/o-corro-dos-excluidos>. Acesso em: 14 abr. 2019]

EPISÓDIO DE ENSINO II

- **Imagens dos slides, pp. 62-66** [Indicadas ao final dos slides]
- **Imagem do vídeo, p. 67** [GHOSE, Shohini. O gênio de Marie Curie. TED-Ed, Youtube. 2017. Disponível em: <youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s>. Acesso em: 10 set. 2019]

EPISÓDIO DE ENSINO III

- **Imagens dos slides, pp. 114-132** [Indicadas ao final dos slides]
- **Imagem do vídeo, p. 133** [HBO. *Chernobyl (2019) | Official Trailer*. 2019. Disponível em: <youtube.com/watch?v=s9APLXM9Ei8>. Acesso em: 09 set. 2019]
- **Imagem do vídeo, p. 134** [HBO GO. *Open Wide, O Earth*. Chernobyl. Temporada 01, Episódio 03. 2019. Disponível em: <br.hbogola.com/itemView/425f88ef-7a84-11e9-810e-0050569a010f>. Acesso em: 08 jul. 2019]
- **Imagem do vídeo, p. 135** [GHOSE, Shohini. O gênio de Marie Curie. TED-Ed, Youtube. 2017. Disponível em: <youtube.com/watch?v=w6JFRi0Qm_s>. Acesso em: 10 set. 2019]
- **Imagens do livro, pp. 138-147** [MAIA, Raquel Gonçalves. *Marie Skłodowska Curie: Imagens de outra face*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012]
- **Foto de Alexander Litvinenko, p. 153** [BBC. *Inquérito Litvinenko: Principais descobertas*. BBC News. 2016. Disponível em: <bbc.com/news/uk-35371344>. Acesso em: 31 ago. 2020]

DIAGRAMAÇÃO

- As ferramentas para diagramação, bem como os elementos gráficos foram suportados pelo pacote Office 365 – Microsoft PowerPoint. Licença concedida pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

