

RADIOQUÍMICA: UMA DISCIPLINA ARTICULADORA DE CONHECIMENTOS PEDAGÓGICOS E CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS NA LICENCIATURA EM QUÍMICA

JUSTIFICATIVA

Como docente do curso de Licenciatura em Química-período noturno da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), tenho percebido que é raro ver colocados em prática, nas salas de aula de graduação, alguns dos pressupostos explicitados no Projeto Pedagógico do Curso (PPC). As disciplinas que abordam os conhecimentos específicos de Química, assim como de Matemática e de Física, em boa parte são baseadas em aulas expositivas nas quais o estudante nem sequer é convidado a se expressar, acompanhadas de métodos avaliativos que se caracterizam pela memorização de conteúdos ou de algoritmos de resolução de exercícios. Mesmo as disciplinas experimentais costumam ser pouco desafiadoras, pois em geral os experimentos são realizados de acordo com roteiros que detalham o passo a passo das atividades, seguidos da elaboração de relatórios que buscam aferir apenas a precisão com que os resultados foram obtidos. Muitas vezes, mesmo as disciplinas que discutem as questões pedagógicas são ministradas de uma forma tradicional ou pouco criativa, centrando suas atividades em aulas expositivas ou em discussões de textos propostos pelos

¹ Coordenadora do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (Pibid)/Química e professora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); tania.salgado@ufrgs.br

professores e que deveriam ter sido lidos pelos estudantes antes de cada aula – o que nem sempre acontece. Embora seja de senso comum que o futuro professor deva optar por abordagens e estratégias didáticas ditas “alternativas” quando estiver em sala de aula no ensino médio, poucas são as oportunidades que encontra de vivenciar o uso de tais estratégias durante sua formação, pois são raros os momentos em que se vence a dicotomia curricular, no dizer de McDermott (1990² apud CARVALHO; GIL-PÉREZ, 1998), entre a instrução sobre Educação e a instrução em conteúdos.

Percebi a disciplina de Radioquímica como um espaço para trabalhar conteúdos curriculares que se situam na fronteira entre a Química e a Física, de forma que os licenciandos pudessem experienciar alternativas de abordagem e avaliação condizentes com aquilo que indicam as pesquisas na área da Educação em Ciências e, particularmente, da Educação em Química. Ao mesmo tempo, as estratégias adotadas demandam a mobilização de conceitos de diferentes disciplinas anteriores, como Físico-Química, Física, Equações Diferenciais, Química Analítica, entre outras.

Tal abordagem foi criada a partir do que consta do PPC do curso de Licenciatura em Química-período noturno da UFRGS (UFRGS, 2004), no qual estão previstos diferentes tipos de atividades de ensino, como disciplinas, estágios de docência, trabalho de conclusão de curso e atividades complementares. As disciplinas que compõem o currículo do curso dividem-se em três categorias: disciplinas de conhecimentos específicos, nas quais são trabalhados aqueles conhecimentos químicos, matemáticos, físicos e outros necessários à formação de um profissional da área de Química; disciplinas pedagógicas que visam a que o estudante possa se pensar professor desde a primeira etapa de seu curso; e disciplinas articuladoras entre conhecimentos pedagógicos e conhecimentos específicos, “onde o aluno discutirá as peculiaridades relativas ao ensino da sua área específica de conhecimento, no caso, a Química” (UFRGS, 2004), articulando teoria e prática ao longo do curso. As disciplinas articuladoras atualmente presentes no currículo da Licenciatura em Química-período noturno (UFRGS, 2015) são as seguintes: Segurança em Laboratório Químico I (30 h, Etapa 1), Fundamentos de Educação Química (60 h, Etapa 6), Evolução da Química (60 h, Etapa 7), Fundamentos de Pesquisa em Educação Química (30 h, Etapa 8) e Radioquímica (60 h, Etapa 10).

O Plano de Ensino de Radioquímica (Anexo 1) apresenta entre seus objetivos:

[...] que o aluno compreenda a relação entre a evolução histórica do conhecimento sobre a natureza dos fenômenos nucleares e a evolução histórica dos modelos atômicos, instrumentando-o para trabalhar modelos atômicos em sala de aula no ensino médio.

Por meio dos conhecimentos básicos a respeito de radiações (...) pretende-se que o aluno seja capaz de compreender e explicar muitos fatos que frequentemente são noticiados com relação a esse campo do conhecimento e possa trabalhar esses temas em uma perspectiva adequada à sala de aula do ensino básico.

Atividades em laboratório acompanharão o desenvolvimento dos aspectos teóricos, tendo como principal objetivo a construção de novos conhecimentos a partir das atividades experimentais que envolvem o manuseio de radioisótopos [...].

Nesses objetivos estão explicitados alguns pontos que, entre outros, considero fundamentais no ensino de Química: abordagem da evolução histórica do conhecimento químico; contextualização dos conhecimentos químicos; experimentação como

² MCDERMOTT, L. C. A perspective on teacher preparation in Physics and other sciences: the need for special Science courses for teachers. *American Journal of Physics*, v. 58, n. 8, p. 734-742, 1990.

forma de construção de novos conhecimentos e desenvolvimento de habilidades; discussão dos conteúdos com o viés de sua transposição didática para o ensino médio, visto tratar-se de curso de formação de professores voltado para esse nível de ensino. Carvalho e Gil-Pérez (1998, p. 81) afirmam que a vivência de propostas inovadoras e a reflexão didática explícita, concebida numa conexão direta com as práticas docentes, constituem o núcleo integrador dos diferentes aspectos da formação docente, sendo requisitos básicos da Didática das Ciências como eixo articulador da formação de professores. Os mesmos autores (1998, p. 79) manifestam-se fortemente contrários à “mera justaposição do tratamento dos conhecimentos científicos e de uma preparação psico-sócio-pedagógica geral”. Assim, apresento aqui o relato do trabalho realizado na disciplina de Radioquímica como o resultado da confluência das duas vertentes de minha formação, a formação na área de Química, na qual sempre trabalhei com físico-química, radiações, reações nucleares e radioquímica, e a formação na área da Educação em Química, na qual iniciei meu trabalho guiada pelo educador Attico Inácio Chassot e continuei, na área de Educação Química do Instituto de Química da UFRGS, trabalhando em conjunto com o professor José Cláudio Del Pino. Nos últimos seis anos, aprofundei minha atuação na formação inicial e continuada de professores para a educação básica, pois, além de atuar como orientadora nos Estágios de Docência em Ensino de Química, passei a coordenar o Subprojeto Licenciatura em Química do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid) da UFRGS, no qual me aproximei mais diretamente da escola pública e dos discentes licenciandos em Química, o que vem contribuindo decisivamente para o aprimoramento de minhas próprias atividades didáticas em geral e, particularmente, para a disciplina que é objeto deste trabalho.

CONTEXTO DO TRABALHO

Este texto apresenta o trabalho realizado na disciplina articuladora Radioquímica, de caráter obrigatório, do curso de Licenciatura em Química-período noturno da UFRGS, ao longo dos semestres letivos 2014/1, 2014/2 e 2015/1. Nesse período, houve uma turma em cada semestre, totalizando 18 alunos. Em cada semestre, a carga de 60 horas da disciplina foi distribuída em 45 horas teóricas e 15 horas práticas. As aulas teóricas ocorreram no prédio de salas de aulas teóricas (prédio 43123) e as aulas experimentais foram realizadas no Laboratório de Química Nuclear e Radioquímica (laboratório K-114) do prédio 43131 do Instituto de Química, no *campus* do Vale da UFRGS.

Como as atividades experimentais envolvem o manuseio de radioisótopos naturais, tanto em fontes seladas como não seladas, as turmas da disciplina comportam pequeno número de alunos, já que o acompanhamento dos estudantes no laboratório requer grande atenção por parte do professor. Assim, as turmas têm, em média, seis alunos cada, sendo que para a realização dos experimentos com fontes não seladas, a turma é dividida em dois grupos de três estudantes. Enquanto um grupo realiza o experimento sob a supervisão direta do professor, o outro realiza uma atividade na modalidade a distância, também prevista no Plano de Ensino da disciplina (Anexo 1). Nessas atividades, os estudantes são estimulados a produzir, de forma colaborativa, material que possa ter aplicação no trabalho com os conteúdos da disciplina quando transpostos para o ensino básico, especialmente no que se refere à interdisciplinaridade com as áreas de Biologia e Física.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho desenvolvido na disciplina de Radioquímica do curso de Licenciatura em Química-período noturno da UFRGS é propiciar aos licenciandos a vivência de alternativas de abordagem e avaliação condizentes com as proposições da pesquisa na área da Educação em Química, mobilizando, ao mesmo tempo, conceitos de diferentes disciplinas anteriores, numa perspectiva interdisciplinar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos, pretende-se:

- que os futuros docentes sejam capazes de articular teoria e prática, mobilizando conhecimentos pedagógicos e químicos para a construção de novos conhecimentos;
- que os licenciandos compreendam a relação entre a evolução histórica do conhecimento sobre os fenômenos nucleares e a evolução histórica dos modelos atômicos;
- instrumentar o futuro professor para trabalhar modelos atômicos numa perspectiva histórica em sala de aula no ensino médio;
- que os estudantes adquiram conhecimentos básicos a respeito de radiações, de suas formas de interação com a matéria e de suas principais aplicações em diversas áreas da ciência e da tecnologia;
- propiciar a compreensão e a explicação de fatos que frequentemente são noticiados pela imprensa e até nas redes sociais com relação ao campo interdisciplinar do conhecimento que envolve as radiações;
- instrumentar o licenciando para trabalhar esses temas em uma perspectiva adequada à sala de aula do ensino básico;
- propiciar a construção de novos conhecimentos e o desenvolvimento de habilidades a partir das atividades experimentais que envolvem o manuseio de compostos contendo radioisótopos naturais.

CONTEÚDOS CURRICULARES ABORDADOS E ESTRATÉGIAS DIDÁTICAS ADOTADAS

A cada semestre letivo, o Plano de Ensino das disciplinas, na UFRGS, é definido pelo professor responsável, sendo apreciado e aprovado pela chefia do respectivo Departamento e pela Comissão de Graduação (o colegiado do curso). Os conteúdos abordados na disciplina de Radioquímica, no período de 2014/1 até 2015/1, foram definidos a partir da súmula (ementa) da disciplina, estabelecida no PPC da Licenciatura em Química-período noturno (UFRGS, 2015):

A descoberta da radioatividade. A evolução histórica do conhecimento sobre a natureza dos fenômenos nucleares e sua relação com a evolução dos modelos atômicos. Natureza das radiações e sua interação com a matéria: detecção e efeitos biológicos. Manifestações químicas dos processos nucleares. Aplicações da radioatividade às técnicas químicas.

Os temas apresentados na ementa foram desdobrados no seguinte conteúdo programático, que permaneceu o mesmo ao longo dos três semestres:

1. A descoberta da radioatividade. A caracterização inicial das radiações. O avanço no entendimento dos fenômenos nucleares e sua relação com a evolução dos modelos atômicos.
2. A natureza das radiações e sua interação com a matéria. Tabela de Nuclídeos.
3. Detecção e medida das radiações.
4. Efeitos biológicos das radiações. Noções de dosimetria, proteção radiológica e blindagem.
5. Comportamento da matéria em concentrações na escala de traços. Carregadores. Técnicas radioquímicas de análise.
6. Efeitos físico-químicos de nuclídeos isotópicos e das transformações nucleares.
7. Interação dos íons com a matéria. Utilização de espalhamentos no campo nuclear para análise de materiais: noções de Espectrometria de Retroespalhamento Rutherford (RBS) e outras técnicas de análise por feixes de íons. Princípios de traçagem isotópica.

Tais conteúdos são inicialmente abordados nas aulas teóricas, com a exposição dos pontos fundamentais acompanhada de leituras, na própria sala de aula, de artigos científicos e de divulgação científica sobre os temas abordados e discussão abrangente do assunto, a qual vai se realizando à medida que os textos vão sendo lidos em voz alta pelos próprios estudantes. Essa estratégia de intercalação de exposições pelo professor com a leitura de textos surgiu como uma forma de contornar a frustração que eu sentia quando recomendava que os alunos lessem os textos antes da aula, mas verificava que eles chegavam sem tê-los lido. Assim, passei a adotar essa estratégia, que se mostrou inclusive muito mais dinâmica e eficiente para a discussão e a compreensão dos conceitos pelos estudantes, pois minhas observações e complementações a respeito do tema são feitas ao longo da leitura, no momento em que o texto o aborda, e os alunos também aproveitam a leitura para, imediatamente, esclarecerem suas dúvidas ou perguntarem sobre assuntos correlacionados.

Por exemplo, quando se estuda a cinética do decaimento radioativo, trabalha-se com o texto da revista *Química Nova na Escola* “A química do tempo: carbono-14” (FARIAS, 2002), no qual o autor discute os princípios da datação com ^{14}C e exemplifica com a datação do Sudário de Turim e dos Manuscritos do Mar Morto. Para que os graduandos se apropriem dos conceitos necessários à adequada compreensão do tema, são deduzidas as equações que representam o decaimento exponencial do número de núcleos radioativos presentes em uma amostra e de sua atividade, trabalha-se com a representação gráfica exponencial correspondente e com a forma linearizada da equação de decaimento e sua utilidade para a determinação da meia-vida. Dessa forma, o conteúdo que poderia se constituir em uma árida sequência de equações e gráficos torna-se aplicado, contextualizado e instigante para os alunos, que inclusive costumam trazer outros exemplos de datações de que já tenham conhecimento.

Essa mediação pedagógica que se estabelece permite aprofundar e ampliar os temas, o que muitas vezes altera o andamento da aula e a própria sequência de conteúdos programáticos, que passa a ser guiada pelos interesses dos estudantes e seus questionamentos. Masetto (2003, p. 47) afirma que a mediação pedagógica ocorre quan-

do o professor se coloca numa posição de mediador e facilitador da aprendizagem, estimulando e organizando os conhecimentos, não só os construídos por ele, mas também os gerados pelo aluno e por seus colegas, possibilitando que o conhecimento surgido dessa interação faça algum sentido para o aluno. O diálogo, o debate, o desafio do novo conhecimento, o estímulo à comunicação, entre outros, são aspectos fundamentais que viabilizam a mediação pedagógica. Outra faceta dessa interação é aquilo que se pode chamar de atitude de parceria e corresponsabilidade de ambos, professor e aluno, na busca da consecução de objetivos comuns, como se fosse um trabalho em equipe (MASETTO, 2003).

A seguir descreverei a abordagem de alguns dos itens do conteúdo programático.

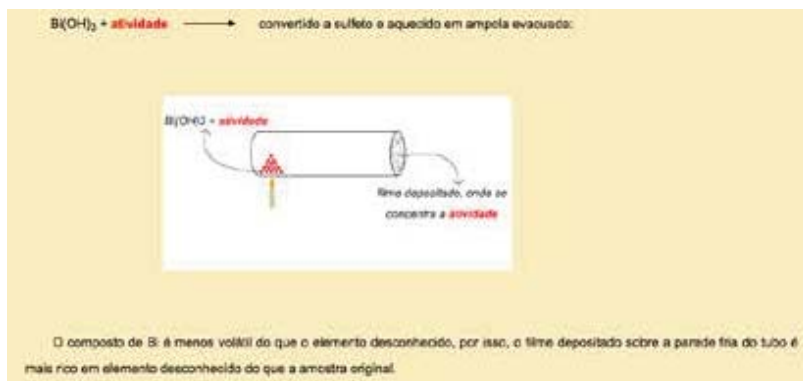
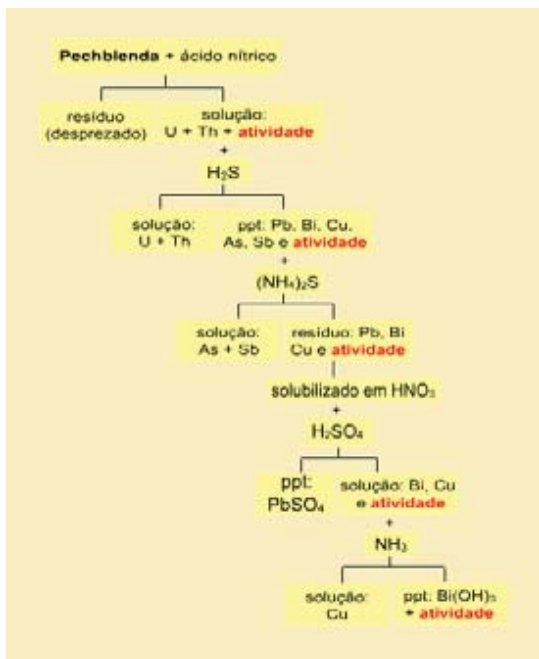
MOTIVAÇÃO INICIAL PARA OS TEMAS RELACIONADOS A RADIAÇÕES

Já no primeiro dia de aula, a apresentação da disciplina é feita a partir de reportagens de revistas semanais, jornais diários, internet, entre outras fontes, com notícias que envolvem o uso científico e tecnológico de radiações. Cada aluno recebe uma reportagem, como as mostradas no Anexo 2, são dados alguns minutos para que eles leiam os artigos e, a seguir, todos apresentam oralmente os principais tópicos abordados em suas reportagens, sendo os temas debatidos por alunos e professora. À medida que a discussão se estabelece, a professora vai anotando na lousa os temas presentes no artigo. Ao final das leituras, tem-se na lousa um panorama dos tópicos que serão abordados ao longo do semestre na disciplina e de suas inter-relações.

ABORDAGEM DOS ASPECTOS HISTÓRICOS

O primeiro tópico abordado, na aula seguinte, é a descoberta da radioatividade e a caracterização inicial das radiações. Inicia-se com a leitura dos capítulos I, II e III do livro *Dos raios-X aos quarks*, escrito por Emilio Segrè (1987), ganhador do Prêmio Nobel de Física em 1959. Esse fragmento do livro detalha os trabalhos de J. J. Thomson, como se deu a descoberta dos raios-X por W. C Röntgen, passando pelos trabalhos de H. Becquerel e do casal Curie, para chegar até os trabalhos de Rutherford e seus colaboradores. À medida que os fatos vão se delineando, explicações a respeito da origem extranuclear dos raios-X e como são produzidos, da origem nuclear da radioatividade e de como as radiações podem ser detectadas por um filme fotográfico vão sendo agregadas, com o uso de apresentação de *slides*. Destacam-se os trabalhos do casal Curie que levaram à descoberta do polônio e ao isolamento do rádio, exemplificando-se com a marcha analítica utilizada naquele que é hoje considerado o primeiro trabalho de radioquímica da história, por ter sido o primeiro a utilizar a radioatividade como guia determinante do processo químico a ser realizado (Figura 1).

FIGURA 1: MARCHA ANALÍTICA UTILIZADA PELO CASAL CURIE PARA A DESCOBERTA DO POLÔNIO



Fonte: <http://www.iq.ufrgs.br/ead/fisicoquimica/modelosatomicos>.

Outro tópico estudado é como o avanço no entendimento dos fenômenos em nível atômico e nuclear trouxe a necessidade da evolução dos modelos atômicos. Inicia-se a abordagem por meio dos artigos “Duzentos anos da teoria atômica de Dalton” (FILGUEIRAS, 2004) e “100 anos com o núcleo atômico” (TAVARES, 2011). Cada aluno recebe, então, como tarefa extraclasse, a elaboração de uma breve apresentação sobre um dos modelos atômicos (Dalton, Thomson, Nagaoka, Rutherford, Bohr, modelo atômico atual). Na aula seguinte, essas apresentações são feitas na ordem cronológica de sua evolução. Mas a tarefa entregue aos estudantes (exemplificada no Anexo 3) instiga-os a apontarem quais ideias de cada modelo podem, ainda hoje, ser consideradas válidas e estão incorporadas no modelo atômico atual, antes de apresentarem os aspectos do modelo que se mostraram incompatíveis com novos resultados experimentais da época.

Essa abordagem busca apresentar a evolução histórica dos modelos atômicos também como uma seqüência de acertos, em que cada modelo trouxe pelo menos uma contribuição que ficou incorporada no modelo atômico atual, como é o caso de Bohr, por exemplo. Geralmente é dada grande ênfase aos aspectos nos quais a teoria de Bohr falha, sem que lhe seja creditada a verdadeira importância de seu papel na evolução das ideias até a formulação do modelo quântico para o átomo (HAENDLER, 1982). Isso é importante para a formação dos futuros docentes, pois alguns livros didáticos de ensino médio costumam apresentar essa seqüência de fatos como uma seqüência de erros, dando ênfase às falhas de cada modelo. Mas meu entendimento é de que se deve enfatizar como cada modelo refletia o conhecimento que se tinha sobre o átomo a sua época. Nesse processo, as ideias são contextualizadas, procurando-se compreender seu significado no âmbito do pensamento característico do período estudado (PORTO, 2010).

Considero que a História e a Filosofia da Ciência têm grande importância no processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos, contribuindo para rebater a tendência de se qualificar a Química como uma ciência determinada, pronta, lógica e sem falhas. É importante mostrar como em uma época podem ter coexistido explicações diferentes para os mesmos fatos, por exemplo, levando o aluno a perceber

as explicações sendo alteradas, abandonadas ou mesmo retomadas, evidenciando-se, assim, o dinamismo do processo de elaboração da ciência (MARTORANO; MARCONDES, 2014).

EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

Esse é um tema que tem se prestado para inúmeras reportagens sensacionalistas, em diversos veículos de comunicação e também na internet. Esse tipo de reportagem contribui fortemente para a imagem negativa e para o medo que o público em geral tem de tudo o que se relaciona a radioatividade e radiações.

Para inverter essa lógica, a unidade de estudo de efeitos biológicos das radiações é introduzida por meio de uma reportagem de uma revista semanal de notícias cujo sugestivo título é “Fruteira radiante” (Anexo 4), que trata da conservação de alimentos por irradiação. Como em geral os alunos desconhecem essa técnica de conservação de alimentos, surpreendem-se com a inusitada possibilidade e imediatamente começam a expressar dúvidas. A mais frequente relaciona-se com a noção (equivocada) de que o alimento ficaria radioativo. Assim, o próximo passo é trabalhar a diferença entre contaminação e exposição à radiação, por meio da discussão do artigo “Irradiação e contaminação radioativa. Qual a diferença?” (RODRIGUES JR., 2006). A seguir, a leitura de um artigo científico a respeito de irradiação de alimentos (HERNANDES; VITAL; SABAA-SRUR, 2003) introduz vários conceitos básicos sobre efeitos biológicos das radiações, detalhando a formação de espécies reativas, como íons, radicais livres, espécies excitadas, oxidantes e redutoras, e seus efeitos sobre as moléculas que constituem os tecidos vivos. A partir daí, são tratados os demais assuntos pertinentes ao tema, como os efeitos causados para cada faixa de dose de radiação recebida por seres humanos. Mas busca-se também apresentar aplicações pacíficas e que podem trazer melhorias advindas da pesquisa tecnológica na área, desmistificando o tema.

EFEITOS FÍSICO-QUÍMICOS DE NUCLÍDEOS ISOTÓPICOS

Esse conteúdo é trabalhado na perspectiva da produção de água deuterada e do enriquecimento de urânio e seu uso em reatores nucleares, usando-se também o recurso de jornais/revistas, como é o caso da notícia sobre o processo de levitação magnética das ultracentrífugas, desenvolvido no Brasil (Anexo 5).

Esses dois temas – efeitos biológicos das radiações e reatores nucleares – são bons exemplos de questões nas quais os alunos devem mobilizar conhecimentos de Biologia e de Física, entre outros, para compreender os tópicos abordados.

ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Certos tópicos do programa são desenvolvidos em laboratório de aulas práticas, visando ao aprofundamento dos conhecimentos, à complementação da abordagem por meio da observação experimental das propriedades das substâncias radioativas e ao desenvolvimento de habilidades relacionadas com o manuseio de radioisótopos em fontes não seladas, dedicando-se especial atenção aos procedimentos de segurança, de disposição de rejeitos e de descontaminação adequados a cada caso. Os experimentos iniciam pela familiarização do aluno com os equipamentos de detecção de radiações: tubo contador Geiger-Müller e espectrômetro de radiação gama com detector de cintilação.

O funcionamento dos detectores de radiações é abordado por meio do texto “Do elétron ao quark Top: como *ver* uma partícula elementar” (ALVES; SANTORO; SOUZA, 1995),

sendo um exemplo de como, à medida que os temas vão aparecendo no texto, vão sendo aprofundados por meio de explicações complementares: aceleradores de partículas, detectores do tipo câmara de neblina, câmara de bolhas, câmara de ionização, emulsões nucleares e outros. Aproveita-se para comentar as pesquisas do físico brasileiro Cesar Lattes, que usou emulsões nucleares para detectar partículas subatômicas, tendo descoberto o pión. É curioso observar como alguns alunos chegam às disciplinas finais do curso sem terem elaborado seu currículo Lattes. E é interessante verificar também a surpresa deles ao saberem que o nome da Plataforma Lattes do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) é uma homenagem a Cesar Lattes, e que ele esteve muito próximo de receber um Prêmio Nobel pela descoberta, aos 23 anos de idade, do pión. Mas quem recebeu o prêmio por essa descoberta foi C. F. Powell, pois até 1960 a política do comitê do Nobel era premiar apenas o chefe da equipe responsável pela pesquisa.

Os equipamentos de detecção estudados mais detalhadamente – Geiger-Müller e Cintilador – são calibrados nas duas primeiras atividades experimentais, para serem usados nos experimentos seguintes:

- separação radioquímica de urânio-238 e seu produto de decaimento tório-234;
- separação radioquímica de urânio-238 e seu produto de decaimento protactínio-234m (o roteiro desse experimento encontra-se no Anexo 6, para exemplificar o tipo de trabalho realizado);
- efeitos químicos de uma reação nuclear de captura de nêutrons térmicos.

Na realização desses experimentos, são enfatizados os aspectos relacionados com a necessidade de delimitação da área em que se manuseiam os compostos de urânio, tório e manganês; a importância de utilizar técnicas químicas rápidas e eficientes para a separação do ^{234m}Pa a partir de um composto de urânio natural, em vista de sua meia-vida bastante curta (1,17 minuto); a importância do correto uso dos equipamentos de proteção individual adequados; a obrigatoriedade de monitoramento pessoal e do laboratório após a realização dos experimentos, entre outros.

TRABALHOS INDIVIDUAIS

Os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas e práticas são aplicados pelos alunos a novas situações na elaboração de seminários ou na resolução de estudos de casos ou na resolução de problemas, que são apresentados tanto na forma oral quanto escrita. Particularmente interessante tem sido a proposta dos estudos de caso e da resolução de problemas. Essas metodologias baseiam-se na *Problem Based Learning* (PBL) desenvolvida na Escola de Medicina da Universidade de McMaster, Ontário, há aproximadamente 30 anos.

Segundo Sá e Queiroz (2009), o recurso aos casos é a instrução pelo uso de narrativas sobre indivíduos enfrentando decisões ou dilemas. Para a resolução desses casos, os estudantes devem analisar a situação, procurar informações sobre ela, mobilizar os conteúdos já trabalhados e ao final expor sua solução de forma escrita e oral para a turma e o professor. Na maioria das vezes, os casos envolvem aspectos de outras disciplinas também, sendo então uma ferramenta de trabalho interdisciplinar. Já a resolução de problemas (GOI; SANTOS, 2009) pode basear-se na apresentação de situações semiabertas e sugestivas que exijam dos estudantes uma atitude ativa e um esforço para buscar respostas próprias. Esse tipo de problema semiaberto tem grande potencial para a construção de conhecimento, pois a aprendizagem é centrada no aluno.

Alguns exemplos desses tipos de atividade são os seguintes:

- Consultor *Ciência Hoje*: o aluno recebe uma pergunta enviada por um leitor hipotético da revista e deve elaborar uma resposta, como se fosse um dos consultores da seção “O leitor pergunta” do periódico *Ciência Hoje*. A apresentação é feita oralmente e por escrito, sendo distribuída uma cópia para cada aluno da turma. Exemplos de perguntas encontram-se no Anexo 7, assim como exemplares de respostas elaboradas pelos alunos-consultores.
- Estudos de caso: nessa atividade, o estudante recebe uma situação hipotética de incidente envolvendo radiações/radioisótopos e deve propor a solução para a situação, ou os procedimentos adequados ao caso, respondendo às perguntas que acompanham a descrição da situação. No Anexo 8, são apresentados alguns dos casos elaborados ao longo dos três semestres, bem como fragmentos da resolução proposta por um dos alunos.

Outra estratégia utilizada para diversificar as atividades didáticas consiste em 10 horas de atividades autônomas, que incluem o trabalho na modalidade a distância, empregando o ambiente virtual de aprendizagem oferecido pela UFRGS, a Sala de Aula Virtual, para a produção colaborativa de material que possa ter aplicação ao trabalho com os conteúdos da disciplina quando transpostos para o ensino básico, especialmente no que se refere à interdisciplinaridade com as áreas de Biologia e Física. Entre as atividades que já foram realizadas por meio desse recurso está a elaboração colaborativa de aula e de materiais didáticos sobre os seguintes temas: evolução dos modelos atômicos de acordo com a proposta já descrita anteriormente; aplicações das radiações em diversos campos da ciência e da tecnologia; ciclo do combustível nuclear – da mineração ao reprocessamento.

Esses são alguns exemplos de atividades didáticas desenvolvidas que contribuem para a configuração da Radioquímica como disciplina articuladora no currículo da Licenciatura em Química. Outras atividades e metodologias poderão ser adotadas à medida que o trabalho e o interesse dos alunos apontem novos rumos. De acordo com Carvalho e Gil-Pérez (1998, p. 82), os futuros professores possuem “uma formação docente anterior, adquirida ‘ambientalmente’ ao longo de muitos anos em que, como alunos, estiveram em contato com seus professores”. Essa *formação docente ambiental* é um exemplo vivo, reiterado e, por isso, muito mais eficaz do que qualquer explicação teórica. Assim, na ausência de alternativas claras, os professores acabam lançando mão dela, ainda que a rejeitassem quando alunos. “Isso obriga a que as propostas de renovação sejam também vividas, vistas em ação. Somente assim é possível que essas propostas tenham efetividade e que os futuros professores possam romper com a visão unilateral da docência recebida até o momento” (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 1998, p. 84).

Nesse mesmo sentido, minhas experiências ao longo do tempo em que venho atuando como coordenadora do Subprojeto Licenciatura em Química do Pibid da UFRGS têm mostrado que a vivência e a observação de diferentes metodologias e recursos didáticos têm servido como fonte de exemplares para futuras práticas docentes (PASSOS; SALGADO, 2015), sendo essa uma das metas a serem atingidas com as atividades aqui descritas, visto que muitos licenciandos não chegam a participar do Pibid.

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE APRENDIZAGEM DOS ESTUDANTES

A avaliação é realizada continuamente, mediante análise do grau de qualidade do envolvimento com as atividades da disciplina e das produções realizadas ao longo do semestre, aderindo-se aos pressupostos da avaliação emancipatória. De acordo com Meneghel e Kreisch (2009), esse tipo de avaliação tem por objetivo possibilitar a construção ou o aperfeiçoamento do saber, ou seja, tem o objetivo legítimo de contribuir para o êxito do ensino, para a construção de saberes e competências pelos alunos. A avaliação emancipatória insere-se no processo educacional como o eixo fundamental do processo de aprendizagem, não somente porque parte da realidade, ou porque sinaliza os avanços do aluno em suas aprendizagens, como também porque aponta, em seu processo, os meios para a superação das dificuldades e se traduz na melhor oportunidade de refletir sobre as práticas docentes e revê-las.

Assim, atribuem-se os conceitos considerando-se os seguintes critérios: os objetivos da disciplina; o comprometimento nas atividades propostas para os alunos; a assiduidade e a pontualidade nos encontros; a participação nas discussões propostas pelo professor; os conceitos obtidos nos trabalhos produzidos (apresentação de seminários e resolução dos estudos de casos; listas de exercícios; relatórios das atividades experimentais). Esse tipo de avaliação é pouco usual em disciplinas dos departamentos do Instituto de Química. É muito conveniente realizar essa avaliação do processo de cada estudante em turmas pequenas, pois o acompanhamento é efetivamente individualizado.

Por outro lado, justamente por ser um processo pouco conhecido dos próprios estudantes, alguns deles se mostram pouco dedicados, parecendo não dar o devido valor a uma disciplina “que não tem prova”. Então, é preciso esclarecer muito bem para os alunos qual a importância de se realizar um processo avaliativo diferenciado e com acompanhamento individual, conscientizando-os da necessidade de se engajarem nas atividades propostas.

Os resultados obtidos ao longo dos três semestres em que a proposta foi implementada mostram que, ao final, são poucos os alunos que não aderem à estratégia, pois 50% dos estudantes alcançaram conceito final A, atingindo de forma excelente todos os objetivos da disciplina. Não ocorreram reprovações nesse período.

AUTOAVALIAÇÃO DO PROFESSOR FORMADOR

Trabalhar com a disciplina de Radioquímica tem sido uma oportunidade ímpar de colocar em prática as ideias em que mais acredito em relação ao ensino de Química. Costumo estimular que meus alunos, futuros docentes, apliquem estratégias didáticas e de avaliação diferenciadas. Por isso, a vivência adquirida como docente dessa disciplina tem sido decisiva para estimulá-los, também pelo exemplo, a superarem seus receios em relação à adoção de tais práticas em sala de aula.

Como considero que a avaliação é um caminho de duas mãos, sempre valorizei muito a opinião dos estudantes, manifestada por meio dos instrumentos de coleta de dados que a própria UFRGS oferece. Semestralmente os alunos podem avaliar as disciplinas e seus respectivos docentes, por meio de um questionário *on-line*, respondido anonimamente, que é elaborado e tabulado pela Secretaria de Avaliação Institucional da universidade. Nesse questionário, os estudantes atribuem conceitos de 1 (mínimo) a 5 (máximo) para vários aspectos da disciplina e da atuação do docente, além de terem à disposição um espaço aberto para livre manifestação.

Um dos quesitos avaliados pelos estudantes é se os objetivos de aprendizagem da disciplina foram alcançados. Todos os estudantes que responderam ao questionário no

período a que se refere este trabalho (2014/1, 2014/2 e 2015/1) atribuíram nota máxima (conceito 5) a esse item. Outros dois itens que tiveram avaliação máxima pelos estudantes foram: “Sempre que possível foram estabelecidas relações entre conteúdos da disciplina e os campos de trabalho da profissão” e “Sempre que possível os conhecimentos desenvolvidos na disciplina foram contextualizados na realidade social, econômica, política e/ou ambiental brasileira”. O conceito médio atribuído pelos estudantes à disciplina de Radioquímica, considerando-se todos os itens avaliados no questionário no período, foi 4,25/5 pontos.

No “Espaço Aberto”, alguns alunos expressaram suas opiniões. Destaco aqui algumas delas:

Esta disciplina não deveria ser dada no último semestre, mas sim, no meio do curso porque esta é uma área completamente diferente das áreas das disciplinas cursadas até então. Eu poderia considerar que esta é uma disciplina motivadora.

Disciplina bem dinâmica, atendendo a todas as expectativas, e inovando na maneira de ser conduzida.

Achei que não tinha mais nada para aprender sobre modelos atômicos, mas da forma como foi feita a apresentação dos trabalhos, na sequência cronológica e cada um apontando os acertos e falhas de um modelo, deu outra visão da evolução dos modelos atômicos.

Esses resultados e os depoimentos dos alunos me deixaram muito satisfeita, pois percebi que o trabalho que me propus a realizar tem atingido seus objetivos. Algumas sugestões dos estudantes já foram incorporadas aos procedimentos da disciplina, como disponibilizar as apresentações de *slides* na Sala de Aula Virtual antes das aulas para que os alunos possam imprimir-los, trazê-los para a sala de aula e fazerem anotações complementares.

Além da disciplina em si, os estudantes também avaliam o professor. A média atribuída pelos alunos à docente no período foi de 4,94/5 pontos. Alguns dos itens em que recebi conceito máximo (5 pontos) foram: “O professor incentivou a participação dos alunos, considerando o seu questionamento crítico e suas contribuições”; “O professor utilizou instrumentos (provas, trabalhos, etc.) de avaliação compatíveis com os conhecimentos, habilidades e atitudes desenvolvidas na disciplina”; “O professor possibilitou dinâmicas que favorecem relações entre o conteúdo da disciplina com os demais conteúdos do curso”.

Um item em que a pontuação atribuída foi um pouco mais baixa (4,9 pontos), por exemplo, foi: “O professor utilizou recursos e procedimentos didáticos adequados ao desenvolvimento da disciplina”. Isso mostra que alguns estudantes ainda não se sentem completamente satisfeitos com as estratégias que venho adotando, o que me leva a continuar em busca de aperfeiçoamento para os próximos semestres. Por outro lado, um depoimento de estudante no “Espaço Aberto” me deixou bastante satisfeita, mostrando que estou, ao que parece, no caminho certo: “A disciplina foi maravilhosa. A professora é atenciosa e conseguiu fazer da cadeira um momento de muitos aprendizados”.

REFERÊNCIAS

- ALVES, G. A.; SANTORO, A.; SOUZA, M. H. G. Do elétron ao Quark Top: como ver uma partícula subatômica. *Ciência Hoje*, v. 19, n. 113, p. 34-42, 1995.
- CARVALHO, A. M. P.; GIL-PÉREZ, D. *Formação de professores de Ciências*. 3. ed. São Paulo: Cortez, 1998. 120 p.
- FARIAS, R. F. A química do tempo: carbono-14. *Química Nova na Escola*, n. 16, p. 6-8, 2002.
- FILGUEIRAS, C. A. Duzentos anos da teoria atômica de Dalton. *Química Nova na Escola*, n. 20, p. 38-44, nov. 2004.
- GOI, M. E. J.; SANTOS, F. M. T. Reações de combustão e impacto ambiental por meio de resolução de problemas e atividades experimentais. *Química Nova na Escola*, v. 31, n. 3, p. 203-209, ago. 2009.
- HAENDLER, B. L. Presenting the Bohr atom. *Journal of Chemical Education*, v. 59, n. 5, p. 372-376, 1982.
- HERNANDES, N. K.; VITAL, H. C.; SABAA-SRUR, A. U. O. Irradiação de alimentos: vantagens e limitações. *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 32, n. 2, p. 154-159, 2003.
- MARTORANO, S. A. A.; MARCONDES, M. E. R. A história e filosofia da ciência no ensino de química: uma proposta para o ensino de cinética química. In: SANTANA, E. M.; SILVA, E. L. *Tópicos em ensino de Química*. São Carlos: Pedro & João, 2014. p. 89-114.
- MASETTO, M. T. *Competência pedagógica do professor universitário*. São Paulo: Summus, 2003.
- MENEGHEL, S. M.; KREISCH, C. Concepções de avaliação e práticas avaliativas na escola: entre possibilidades e dificuldades. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 9.; E ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE PSICOPEDAGOGIA. 3., 2009, Curitiba, PUCPR, 2009. *Anais...* Disponível em: <www.pucpr.br/eventos/educere/educere2009/anais/pdf/3393_1920.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2014.
- PASSOS, C. G.; SALGADO, T. D. M. Interação universidade-escola: conquistas e perspectivas do Subprojeto Pibid/Química da UFRGS. In: COSTELLA, R. Z. et al. (Org.). *Iniciação à docência: reflexões interdisciplinares*. São Leopoldo: Oikos, 2015. p. 111-124.
- PORTO, P. A. História e filosofia da ciência no ensino de química? Em busca dos objetivos educacionais da atualidade. In: MALDANER, O. A.; SANTOS, W. L. P. *Ensino de química em foco*. Ijuí: Editora Unijuí, 2010. p. 160-180.
- RODRIGUES JR., A. Irradiação e contaminação radioativa. Qual a diferença? *Ciência Hoje*, v. 38, n. 228, p. 60-91, 2006.
- SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. *Estudos de caso no ensino de Química*. Campinas: Átomo, 2009.
- SEGRÈ, E. *Dos raios-X aos quarks: físicos modernos e suas descobertas*. Brasília, DF: Editora UnB, 1987.
- TAVARES, O. A. P. 100 anos com o núcleo atômico. *Ciência Hoje*, v. 47, n. 278, p. 40-45, 2011.
- UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Química.

Comissão de Graduação de Química. *Projeto Pedagógico do Curso de Licenciatura em Química-Noturna*. 2004. Disponível em: <www.iq.ufrgs.br/graduacao/graduacao/PPC_LICENCIATURA.pdf>. Acesso em: 2 set. 2015.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. *Currículos: licenciatura em química-noturna*. 2015. Disponível em: <www.ufrgs.br/ufrgs/ensino/graduacao/cursos/exibeCurso?cod_curso=343>. Acesso em: 2 set. 2015.

ANEXO 1

PLANO DE ENSINO DA DISCIPLINA DE RADIOQUÍMICA, DO SEMESTRE 2015/1, UM DOS SEMESTRES ABRANGIDOS PELO PERÍODO DE QUE TRATA O PRESENTE TRABALHO

Instituto de Química Departamento de Físico-Química

Dados de identificação

Disciplina: **RADIOQUÍMICA**

Período Letivo: **2015/1**

Período de Início de Validade : **2015/1**

Professor Responsável: **TANIA DENISE MISKINIS SALGADO**

Sigla: **QUI03009**

Créditos: 4

Carga Horária: 60h

CH Autônoma: 5h CH Coletiva: 55h CH Individual: 0h

Súmula

A descoberta da radioatividade. A evolução histórica do conhecimento sobre a natureza dos fenômenos nucleares e sua relação com a evolução dos modelos atômicos. Natureza das radiações e sua interação com a matéria: detecção e efeitos biológicos. Manifestações químicas dos processos nucleares. Aplicações da radioatividade às técnicas químicas.

Currículos

Currículos	Etapa Aconselhada	Pré-Requisitos	Natureza
LICENCIATURA EM QUÍMICA	7	- B (QUI03320) FÍSICO-QUÍMICA III	Obrigatória
LICENCIATURA EM QUÍMICA - NOTURNO	10	- B (QUI03320) FÍSICO-QUÍMICA III	Obrigatória

Objetivos

Nesta disciplina teórico-prática, pretende-se que o aluno compreenda a relação entre a evolução histórica do conhecimento sobre a natureza dos fenômenos nucleares e a evolução histórica dos modelos atômicos, instrumentando-o para trabalhar modelos atômicos em sala de aula no ensino médio. Por meio dos conhecimentos básicos a respeito de radiações, de suas formas de interação com a matéria e de suas principais aplicações em diversas áreas da ciência e da tecnologia, pretende-se que o aluno seja capaz de compreender e explicar muitos fatos que frequentemente são noticiados com relação a esse campo do conhecimento e possa trabalhar esses temas em uma perspectiva adequada à sala de aula do ensino básico. Atividades em laboratório acompanharão o desenvolvimento dos aspectos teóricos, tendo como principal objetivo a construção de novos conhecimentos a partir das atividades experimentais que envolvem o manuseio de radioisótopos, tanto em fontes seladas como não seladas, com especial atenção aos procedimentos de segurança, de disposição de rejeitos e de descontaminação adequados a cada caso.

Conteúdo Programático

Semana	Título	Conteúdo
1	Tópico 1	A descoberta da radioatividade. A caracterização inicial das radiações. O avanço no entendimento dos fenômenos nucleares e sua relação com a evolução dos modelos atômicos.
2 a 4	Tópico 2	A natureza das radiações e sua interação com a matéria. Tabela de Nuclídeos.
5 a 8	Tópico 3	Detecção e medida das radiações.
9 a 10	Tópico 4	Efeitos biológicos das radiações. Noções de dosimetria, proteção radiológica e blindagem.
11 a 12	Tópico 5	Comportamento da matéria em concentrações na escala de traços. Carregadores. Técnicas radioquímicas de análise.
13 a 14	Tópico 6	Efeitos físico-químicos de nuclídeos isotópicos e das transformações nucleares.
15 a 18	Tópico 7	Interação dos íons com a matéria. Utilização de espalhamentos no campo nuclear para análise de materiais: noções de Espectrometria de Retroespalhamento Rutherford (RBS) e outras técnicas de análise por feixes de íons. Princípios de traçagem isotópica.
19	Atividades de recuperação	As atividades de recuperação de eventuais dificuldades de aprendizagem dos conteúdos serão realizadas sistematicamente, ao longo do semestre letivo, inclusive por meio de ambientes virtuais de aprendizagem, de modo a repor aulas perdidas ou atividades não realizadas pelos alunos nos períodos determinados. Não há possibilidade de recuperação de aulas práticas em dias e horários diferentes daqueles nos quais a respectiva prática esteja sendo realizada no laboratório de Radioquímica. Caso persista algum problema de aproveitamento em relação aos conteúdos e atividades, nesta 19ª semana letiva será realizada uma avaliação de recuperação, abrangendo todo o conteúdo da disciplina, tanto aquele trabalhado nas aulas teóricas quanto aqueles desenvolvidos ou consolidados nos experimentos realizados. O conceito obtido na avaliação de recuperação substituirá o conceito das atividades nas quais o aluno não tenha atingido os objetivos, para fins de atribuição do conceito final.

Metodologia

A disciplina tem caráter teórico-prático.

Os conteúdos são inicialmente abordados em aulas teóricas, com exposição dos pontos fundamentais, leituras de artigos científicos e de divulgação científica sobre os temas abordados e discussão abrangente do assunto em sala de aula. São resolvidas pelos alunos, com a orientação do professor, listas de exercícios relacionadas com os temas abordados nas aulas teóricas.

Diversos tópicos do programa são desenvolvidos também em laboratório de aulas práticas, visando o aprofundamento dos conhecimentos, a complementação da abordagem por meio da observação experimental das propriedades das substâncias radioativas e o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao manuseio de radioisótopos em fontes não seladas.

Os conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas e práticas são aplicados pelos alunos a novas situações na elaboração de seminários para serem apresentados oralmente ou na resolução de Estudos de Casos a serem apresentados tanto na forma oral quanto escrita.

Carga Horária

Teórica: 45 horas
Prática: 15 horas

Experiências de Aprendizagem

Nesta disciplina, os discentes realizarão as seguintes atividades, perfazendo 50 horas de atividades coletivas:

- leitura e discussão de textos oriundos da bibliografia recomendada;
- discussão mediada pelo professor dos tópicos abordados em aulas teóricas;
- resolução de exercícios sob a orientação do professor;
- apresentação de seminários e resolução de Estudos de Casos sobre assuntos que integrem os diversos tópicos do programa;
- experiências em laboratório envolvendo radioisótopos na forma de fontes seladas ou de soluções.

Haverá também 10 horas de atividades autônomas, que incluem o trabalho na modalidade a distância, empregando um dos ambientes virtuais de aprendizagem oferecidos pela UFRGS (MOODLE ou SALA DE AULA VIRTUAL) para a produção colaborativa de material que possa ter aplicação ao trabalho com os conteúdos da disciplina quando transpostos para o ensino básico, especialmente no que se refere à interdisciplinaridade com as áreas de biologia e física.

Critérios de Avaliação

A avaliação será realizada continuamente, mediante análise do grau de qualidade do envolvimento com as atividades da disciplina e das produções realizadas ao longo do semestre, através dos seguintes instrumentos:

- participação do aluno em sala de aula;
- resolução de listas de exercícios;
- apresentação de seminários ou da resolução dos Estudos de Casos;
- relatórios das experiências.

Em cada um destes instrumentos, o estudante receberá um conceito, A, B, C ou D. Cada instrumento de avaliação terá a mesma importância relativa para a composição do conceito final.

O conceito final do estudante na disciplina será obtido considerando-se:

- os objetivos da disciplina;
- o comprometimento nas atividades propostas para os alunos;
- a assiduidade e a pontualidade nos encontros;
- a participação nas discussões propostas pelo professor;
- os conceitos obtidos nos trabalhos produzidos.

O conceito final será atribuído de acordo com o seguinte critério:

Conceito A – para o estudante que obtiver a maioria de conceitos A e nenhum conceito D nas atividades avaliadas

Conceito B – para o estudante que obtiver a maioria de conceitos B nas atividades avaliadas

Conceito C – para o estudante que obtiver a maioria de conceitos C nas atividades avaliadas

Conceito D – para o estudante que obtiver a maioria de conceitos D nas atividades avaliadas

Conceito FF – para o estudante que não tiver o mínimo de 75 % de frequência às aulas da disciplina

Atividades de Recuperação Previstas

As atividades de recuperação de eventuais dificuldades de aprendizagem dos conteúdos serão realizadas sistematicamente, ao longo do semestre letivo, inclusive por meio de ambientes virtuais de aprendizagem, de modo a repor aulas perdidas ou atividades não realizadas pelos alunos nos períodos determinados. Não há possibilidade de recuperação de aulas práticas em dias e horários diferentes daqueles nos quais a respectiva prática esteja sendo realizada no laboratório de Radioquímica. O conceito obtido na atividade de recuperação substituirá o conceito da respectiva atividade para fins de atribuição do conceito final, conforme os critérios acima estabelecidos.

Caso persista algum problema de aproveitamento em relação aos conteúdos e atividades, nesta 19ª semana letiva será realizada uma avaliação de recuperação, abrangendo todo o conteúdo da disciplina, tanto aquele trabalhado nas aulas teóricas quanto aqueles desenvolvidos ou consolidados nos experimentos realizados.

O conceito obtido na avaliação de recuperação substituirá o conceito das atividades nas quais o aluno não tenha atingido os objetivos, para fins de atribuição do conceito final.

Prazo para Divulgação dos Resultados das Avaliações

O Conceito Final do aluno será divulgado em até cinco dias úteis após a entrega de todos os trabalhos e relatórios de atividades realizados no semestre.

Bibliografia

Básica Essencial

Choppin, Gregory; Rydberg, Jan ; Liljenzin, Jan-Olov - Radiochemistry and Nuclear Chemistry - Editora Butterworth-Heinemann (ISBN: 0750674636)

Okuno, Emico - Radiação :efeitos, riscos e benefícios - Editora Harbra (ISBN: 9788529403397)

Passos, Marcos Henrique da Silva; Souza, Alexandre Araújo de - Química Nuclear e Radioatividade - Editora Átomo (ISBN: 9788576701545)

Básica

Choppin, Gregory R.; Rydberg, Jan - Nuclear chemistry :theory and applications - Editora Pergamon Press (ISBN: 0080238238)

Faires, Ronald Arthur; Boswell, G.G.J. - Radioisotope laboratory techniques - Editora Butterworths (ISBN: 0408709405)

Knoll, Glenn F. - Radiation detection and measurement - Editora Wiley (ISBN: 9780471073383)

Profio, A. Edward - Radiation shielding and dosimetry - Editora Wiley-Interscience (ISBN: 0 47104329X)

Spinks, J.W.T.; Woods, R.J. - An introduction to radiation chemistry - Editora John Wiley (ISBN: 0471816701)

Tesmer, Joseph R.; Nastasi, Michael; Barbour, J. Charles; Maggiore, Carl J.; Mayer, James W. - Handbook of Modern Ion Beam Materials Analysis - Editora MRS (ISBN: 1558992455)

Complementar

Chu, Wei-Kan; Mayer, James W.; Nicolet, Marc-A. - Backscattering spectrometry - Editora Academic Press

Eisberg, Robert Martin; Resnick, Robert - Física Quântica :átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas - Editora Campus (ISBN: 8570013094; 8570010257; 9788570013095)

Friedlander, Gerhart; Kennedy, Joseph W.; Macias, Edwar S.; Miller, Julian Malcolm - Nuclear and radiochemistry - Editora John Wiley

Keller, Cornelius - Radioquímica - Editora Editora Universitária Universidade Federal de Pernambuco

Mayer, James W.; Rimini, Emanuele - Ion Beam Handbook for Material Analysis - Editora Academic (ISBN: 0124808603)

Taylor, John R. - Introdução à análise de erros: o estudo de incertezas em medições físicas - Traduzido por Waldir Leite Roque - Editora Bookman (ISBN: 978-85-407-0136-6)

Vassos, Basil h - Analog and digital electronics for scientists - Editora John Wiley (ISBN: 0471811386)

Outras Referências

Título	Texto
Revistas Científicas	Química Nova. Química Nova na Escola.
Revistas de Divulgação Científica	Ciência Hoje. Superinteressante. Scientific American.

Observações

Outras referências bibliográficas poderão ser indicadas, na medida em que as discussões conduzirem ao tratamento de assuntos correlacionados aos temas indicados neste plano de ensino.

ANEXO 2

EXEMPLOS DE REPORTAGENS DISCUTIDAS NA PRIMEIRA AULA DE RADIOQUÍMICA DO SEMESTRE

REPORTAGEM 1

Tecnologia

RETOMADA NUCLEAR

Mesmo ainda abalado com o acidente de Fukushima, o mundo retoma a construção de usinas atômicas de olho na redução dos gases estufa

Cesar Goto



Quatro anos depois do tsunami devastador que destruiu os reatores da Usina de Fukushima, no Japão, o mundo parece estar se reconciliando com a energia nuclear. Mesmo ainda sob o impacto do pior acidente atômico desde Chernobyl, 16 países estão investindo na construção de 72 novas usinas nucleares, a maior parte delas exatamente na Ásia. O movimento, apesar de ainda contar com a resistência dos ambientalistas, é um sinal claro de que a energia atômica está longe de ser aposentada, como previram os assustados japoneses logo após o tsunami de 2011.

Na verdade, a expectativa é de que usinas nucleares, em número cada vez maior, passem a ser construídas em ritmo acelerado. De acordo com um relatório conjunto divulgado em janeiro pela Agência Internacional de Energia e pela Agência Internacional de Energia Nuclear, seria necessário no mínimo dobrar a capacidade de geração das usinas atômicas até 2050 para reduzir de forma sensível o nível de emissão dos gases estufa na atmosfera. Apesar de seus resíduos serem altamente contaminantes, as usinas nucleares praticamente não emitem CO₂ – a tec-

LÍDER 56 na China, 28 novas usinas nucleares estão em construção

nologia produz 70 vezes menos gases de efeito estufa que o carvão, responsável por 40% da eletricidade do mundo. “São muito mais baratas e eficientes”, diz Sérgio Malta, presidente do Sindicato Interstadual das Indústrias de Energia Elétrica (Sinergia).

Hoje, cerca de 400 gigawatts/hora de energia elétrica são produzidos em usinas nucleares – o Brasil consome em média 88 gigawatts/hora. As 72 usinas que estão sendo construídas ampliarão essa capacidade em pouco mais de 10%. Ou seja, apesar de extremamente perigosa, a energia atômica parece estar longe de ser aposentada. ■

CRESCIMENTO DO ÁTOMO

Entenda como a eletricidade gerada pela energia nuclear afeta o mundo atualmente e como deve ser no futuro próximo



Atualmente existem **437** usinas em atividade em **34** países ao redor do mundo

Em 2012, os reatores eram a quarta fonte mais utilizada no planeta, responsável por mais de **11%** da eletricidade mundial, atrás de carvão, gás natural e hidrelétricas

A energia nuclear é a que menos gera gases de efeito estufa durante a produção de eletricidade, em média, empatada com a eólica

Com quase **98** unidades ativas, os EUA são o país com o maior número de usinas

O país mais dependente é a França, que gera mais de **73%** de sua eletricidade com reatores nucleares

72 USINAS ESTÃO SENDO CONSTRUÍDAS ATUALMENTE

A China é a maior investidora, com **28** reatores em desenvolvimento, que devem gerar mais de **22** gigawatts nos próximos anos

Rússia, Índia, Coreia do Sul e EUA fecham o top 5, com outros **26** em construção juntos, produzindo mais **24** gigawatts

Revista ISTOÉ, 13/02/2015

Fonte: Revista Istoé, edição de 18/02/2015.

POLÍTICA | OPERAÇÃO LAVA-JATO

O cientista militar que sabe demais

AÇÃO DA POLÍCIA FEDERAL colocou na prisão o pesquisador Othon Luiz Pinheiro da Silva, vice-almirante reformado da Marinha e um dos pais do programa nuclear brasileiro. Conhecido pela inteligência, ele teria ajudado a Odebrecht a ganhar contratos

HUMBERTO TREZZI

humbertd.trezi@zerohora.com.br

O choque na caserna é grande. Em sua primeira incursão fora da Petrobras, a Operação Lava-Jato colocou na cadeia o vice-almirante reformado Othon Luiz Pinheiro da Silva, um dos idealizadores do complexo industrial-militar montado para dotar o país de energia nuclear. A prisão foi decretada por suspeita de que, ao mesmo tempo em que trabalhava em estatais, ele tenha lavado dinheiro de empreiteiras por meio de uma consultoria privada própria. As construtoras são as mesmas investigadas no escândalo de corrupção da petrolífera.

Para ter uma ideia de por que Othon, 76 anos, tornou-se ícone entre os cientistas nucleares brasileiros, basta conferir seu currículo. O vice-almirante foi diretor de pesquisas de reatores

do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) entre 1982 e 1984. É também fundador e foi responsável pelo Programa de Desenvolvimento do Ciclo do Combustível Nuclear e da Propulsão Nuclear para Submarinos (entre 1979 e 1994). Ele se credenciou em engenharia nuclear nos EUA.

Othon é o autor do projeto de concepção de ultracentrifugas para enriquecimento de urânio e da instalação de propulsão nuclear para submarinos no país. Conquistou, ainda na carreira militar, o mais alto posto para os engenheiros navais: o de vice-almirante.

Após ir para a reserva, em 1994, virou empresário, mas não abandonou os contatos no governo. Tanto que em outubro de 2005 foi ganhado à presidência da Eletro nuclear - Eletrobrás Termonuclear, que fica no Rio de Janeiro e responde pela construção e gerenciamento das usinas nucleares.

Em paralelo, supervisiona o programa de submarinos nucleares. Esse é um dos pontos nevrálgicos na investigação da Lava-Jato. Othon teria viabilizado que a Odebrecht fosse contratada para construir o estaleiro e a base naval em Itaguaí (RJ), onde serão montados quatro submarinos convencionais e um nuclear. O acordo de 2009, uma parceria Brasil-França, envolve 6,7 bilhões de euros (cerca de R\$ 25 bilhões).

Só seis países têm submarinos nucleares, aparelhos que podem ficar mais de 40 dias sem subir à superfície, enquanto os convencionais necessitam ir à tona depois de algumas horas de mergulho (o que os torna alvos fáceis).

O contrato com a Odebrecht foi sem licitação, o que desagradou a outras empreiteiras e chamou atenção dos investigadores da Polícia Federal. Um dos maiores especialistas no cenário militar e editor do site Defesanet.com, Nelson Döring é só elogios para Othon, a quem

conhece. E sugere cautela. Ele diz que a performance do vice-almirante à frente do programa nuclear é irretocável, como "um homem que faz as coisas andarem, além das burocracias".

ESPECIALISTA RESSALTA QUE SETOR É ALVO DE INTERESSES

Em relação aos R\$ 4 milhões repassados por empreiteiras à empresa de Othon -, Döring pondera:

— É uma área que poucos dominam, R\$ 1 milhão por ano não é demais para um expert como ele. Tem de cuidar para que a investigação de uma situação particular, como a de Othon, não detone uma meta estratégica do país, a autonomia em energia nuclear. E que contraria muitos interesses.

Othon disse que os valores se referem a traduções efetuadas por sua filha e serviços de engenharia prestados por seu genro às empreiteiras.

Fonte: Jornal Zero Hora, edição de 02/08/2015.

EM DIA

FÍSICA Nova técnica combate microrganismos e insetos em documentos históricos.

Patrimônio cultural preservado

Abaixo, aparelho que emite radiação ionizante montado no IEN. Ao lado, um livro já esterilizado com a nova técnica

Parte do acervo histórico da Fundação Casa de Rui Barbosa, no Rio de Janeiro, está sendo recuperada graças a uma nova técnica desenvolvida por pesquisadores do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN). Usando radiação ionizante, o método permite combater fungos, insetos, cupins e bactérias sem danificar os documentos.

A metodologia adotada é fruto de um trabalho conjunto realizado pelo físico Luis Eduardo Brandão, o engenheiro Marcus Alexandre Vallim de Alencar, pesquisadores do IEN, e pelas biólogas Manuela da Silva e Marília Nishikawa, do Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), ambos no Rio de Janeiro.

Depois de identificar os microrganismos mais encontrados em bibliotecas e museus – trabalho realizado pelas biólogas –, Brandão e Alencar estudaram o tipo e as doses de radiação ade-

quados para eliminá-los, sem que ela afetasse a estrutura dos livros e cartas a serem preservados.

Para testar o novo método, ele foi aplicado inicialmente em livros infectados da biblioteca da Fiocruz e do IEN. Foram levantados parâmetros técnicos, como tempo de exposição e dose efetiva para esterilizar cada uma das espécies de fungos identificadas. Em seguida, foram feitos experimentos para demonstrar que, nessa faixa, a radiação gama não provocaria danos, como a aceleração do envelhecimento natural do material ou uma possível descoloração de pigmentos impressos nos documentos irradiados.

Como o resultado foi satisfatório, os pesquisadores entraram em contato com o setor de restauração da Fundação Casa de Rui Barbosa. As três instituições envolvidas desenvolveram então um projeto visando à implantação da



radioesterilização de modo a permitir sua aplicação em documentos históricos. As primeiras irradiações foram feitas em uma série de documentos pessoais do pintor modernista Vicente do Rego Monteiro (1899-1970).

"Essa nova técnica poderá ser aplicada em vários tipos de documentos – peças arqueológicas, películas, desenhos, quadros, roupas etc. –, com a segurança de que não afetará elementos como cor, rigidez e textura das obras, nem acelerar seu processo de envelhecimento", afirma Brandão.

Os métodos habitualmente adotados usam produtos químicos que nem sempre podem ser aplicados com segurança nesses materiais, porque alteram sua estrutura, como a textura do papel ou as cores de uma pintura. Além de ser caro, o procedimento tradicional pode deixar resíduos químicos tóxicos para quem depois vai manipular as peças tratadas, sem contar que exige um tempo muito maior de tratamento: enquanto o processo químico requer um período de quarentena (de quatro a seis semanas), a radiação esteriliza o objeto em apenas quatro horas, permitindo sua manipulação logo após a aplicação, uma vez que não deixa qualquer resíduo.



32 • CIÊNCIA HOJE • vol. 36 • nº 235

Fonte: Revista *Ciência Hoje*, v. 36, n. 215, p. 52, 2005.

ANEXO 3

EXEMPLO DE ROTEIRO DE TRABALHO SOBRE UM DOS MODELOS ATÔMICOS ABORDADOS EM AULA

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Química
Departamento de Físico-Química
Disciplina: QUI03009 - Radioquímica

Modelos atômicos

4 - Nagaoka

O objetivo desta atividade é compreender a evolução dos modelos atômicos e sua relação com as descobertas no campo da radioatividade e da mecânica quântica.

A partir das informações encontradas no seguinte endereço eletrônico <http://www.iq.ufrgs.br/ead/fisicoquimica/modelosatomicos>

e de outras informações obtidas em referências adicionais que você deve procurar sobre o assunto, responda as seguintes perguntas:

- 1- Descreva as principais características do modelo atômico de Nagaoka.
- 2- Explique como as ideias de Nagaoka influenciaram Rutherford.
- 3- Explique quais ideias do modelo de Nagaoka podem ser consideradas ainda hoje válidas e estão incorporadas ao modelo atômico atual.
- 4- Qual a principal característica do modelo atômico de Nagaoka que se mostrou incompatível com os resultados experimentais?

Fonte: Elaboração da autora.

ANEXO 4

REPORTAGEM USADA COMO INTRODUÇÃO AO TEMA DE EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES

CIÊNCIA & TECNOLOGIA

COMIDA

Fruteira radiante

Alimentos recebem banho de radiação para eliminar doenças e durar mais na prateleira

CELINA CÔRTEZ

Quando se fala em irradiação de alimentos há quem pense em mais uma fonte de contaminação, como se não bastassem os agrotóxicos. O processo, no entanto, foi adotado na alimentação dos astronautas e nos hospitais americanos que tratam de soropositivos. Tudo pela garantia de ter verduras, frutas, carnes e grãos livres de bactérias, fungos ou vírus. Esse aparente paradoxo é uma realidade em Manaus, onde começou a funcionar, no ano passado, o primeiro centro de irradiação do País. Em dezembro será a vez de a Central de Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (Ceasa) disponibilizar três irradiadores para tratar 300 mil toneladas de alimentos ao ano, um investimento de US\$ 35 milhões. Há ainda projetos para instalar o sistema em São Paulo, Belo Horizonte e Belém.

O produtor contrata os serviços pagando R\$ 0,10 por quilo. O banho de radiação elimina doenças e prolonga a vida útil da comida. Uma banana irradiada resiste por até três semanas e as batatas chegam a durar um ano sem apodrecer. "O tomate pode ser conservado por dois meses e ser vendido fora da safra", diz o diretor da Ceasa, Luiz Fernando Anchite. Para o produtor, o ganho é líquido e certo. Para o consumidor, os técnicos afirmam que não há riscos.

No ser humano, a radiação pode ter efeito cancerígeno. Os raios atingem o material genético (DNA) das células, provocando mutações. "Aplicada aos alimentos, a radiação tem dez milhões de

chances de acertar apenas os vírus e as bactérias contra uma única de danificar a estrutura do alimento. Tudo depende do tempo de exposição", explica Fernando Nuno de Souza, da Tec Ion, fornecedora da tecnologia. A irradiação é usada em países desenvolvidos desde 1980. O método mais comum, adotado em Manaus, é o da radiação gama, emitida pelo mineral radioativo cobalto 60. Na Ceasa carioca será adotada a pasteurização eletrônica com o uso de raios X. "É como se os alimentos ficassem mumificados. O processo não alte-



LONGA VIDA A irradiação retarda o apodrecimento

ra o gosto nem as propriedades nutricionais", salienta o engenheiro agrônomo gaúcho Airtton Castagna.

A irradiação tem o aval da Organização Mundial de Saúde e da Agência Internacional de Energia Atômica. No Brasil, qualquer instalação é aprovada antes pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen). O atual cenário de perdas agrícolas é assustador: segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), um terço dos 17,7 milhões de toneladas de frutas produzidas ao ano no País apodrece antes de chegar à boca do consumidor. ■

ISTOÉ/1665-29/8/2001

Fonte: Revista Istoé, edição de 29/08/2001.

Energia

O núcleo da questão

A tecnologia atômica brasileira pode ser fruto de pirataria ou ser original. O mundo quer vê-la

Na semana passada, representantes da Agência Internacional de Energia Atômica (Aiea) visitaram a fábrica de urânio em Resende, no Rio de Janeiro, para estabelecer os procedimentos da inspeção, que deverá ocorrer nos próximos meses. Ainda não há um acordo formal sobre o que será mostrado. Existem suspeitas de que o sigilo todo se deva ao fato de o desenho das centrífugas nacionais ser fruto de pirataria — e uma simples inspeção visual bastaria para desmascarar a cópia. As autoridades brasileiras rejeitam essa tese. Sustentam que, para checar a quantidade de urânio que entra e sai da fábrica, não é preciso ver as centrífugas. O argumento é que a

tecnologia brasileira não apenas é original como desperta cobiça. Caso os equipamentos sejam exibidos, eles podem vir a ser copiados. O segredo industrial a ser preservado combinaria fatores como dimensão das máquinas, tipo de material utilizado e detalhes da tecnologia de levitação, desenvolvidos pela Marinha.

“Não vamos jogar fora uma vantagem competitiva enorme”, afirma o almirante Alan Arthou, diretor do Centro Tecnológico da Marinha. O Brasil se beneficiou por ter demorado a entrar nas pesquisas do ciclo do urânio, o que fez somente no início dos anos 80. Incorporando tecnologias emergentes, o país chegou à levitação, que reduz o

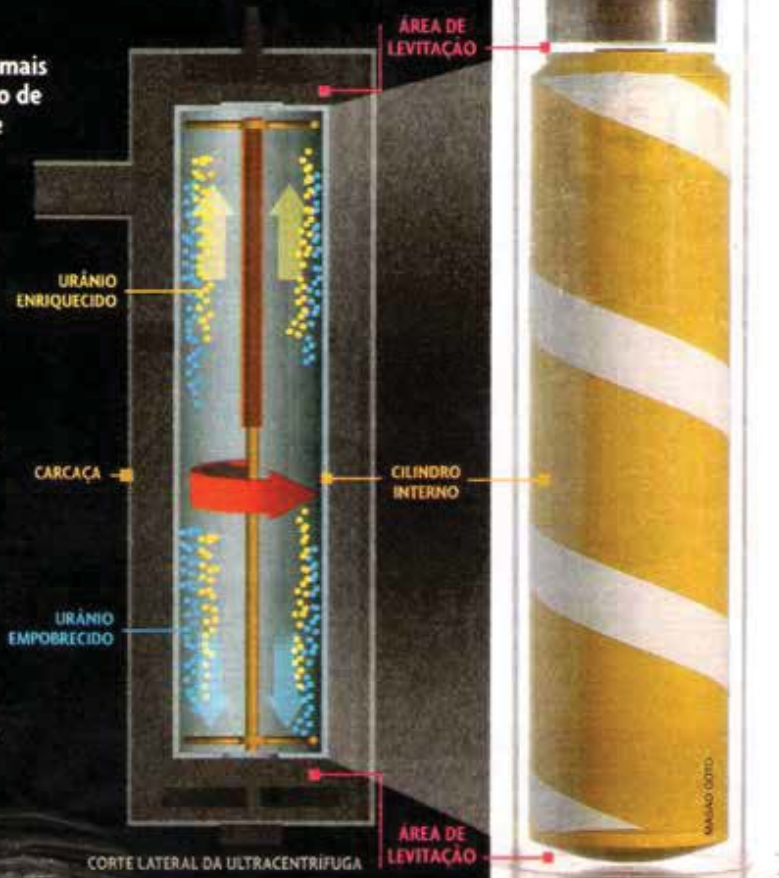
desgaste do equipamento e é trinta vezes mais econômica que outros métodos (veja quadro abaixo). Essa tecnologia é um dos trunfos do país para planos ambiciosos na geração de energia nuclear. Um artigo publicado na semana passada na revista *Science*, a mais prestigiada do mundo, afirma que a usina de Resende pode produzir urânio suficiente para seis ogivas nucleares. O artigo é apenas mais um round da inevitável e legítima pressão internacional para que o Brasil seja mais transparente nessa questão. A proliferação nuclear é um pesadelo atual equiparado ao terrorismo. É ingênuo imaginar que a comunidade internacional, por mais respeito que o pacifismo brasileiro suscite, vá dormir em paz sem saber em detalhes as reais intenções atômicas representadas pelas centrífugas de Resende. ■

Ronaldo França

A polêmica flutuante

A ultracentrífuga brasileira se diferencia das demais existentes no mundo porque utiliza um processo de levitação. O cilindro em seu interior permanece inteiramente suspenso e gira movido por um dispositivo eletrônico

- 1 Toda ultracentrífuga é composta, basicamente, de dois cilindros. A centrifugação ocorre dentro do cilindro interno
- 2 No equipamento brasileiro, o cilindro interno é mantido suspenso, em posição vertical, por ímãs poderosos, na base e no topo. Um programa de computador regula essa altura aumentando ou diminuindo a potência dos ímãs
- 3 O cilindro gira impulsionado por um motor eletromagnético. É como se ímãs rodassem fazendo com que o cilindro os acompanhe. Só que tudo ocorre eletronicamente
- 4 Um composto de urânio, em forma gasosa, é introduzido no cilindro por um tubo. Começa a centrifugação
- 5 Os átomos de urânio são separados. O urânio 235, mais leve, permanece no centro e é retirado por um coletor localizado na parte superior, enquanto o urânio 238, mais pesado (urânio empobrecido), se desloca para a borda do cilindro e é sugado por outro coletor



CORTE LATERAL DA ULTRACENTRÍFUGA

VEJA, OUTUBRO/2004.

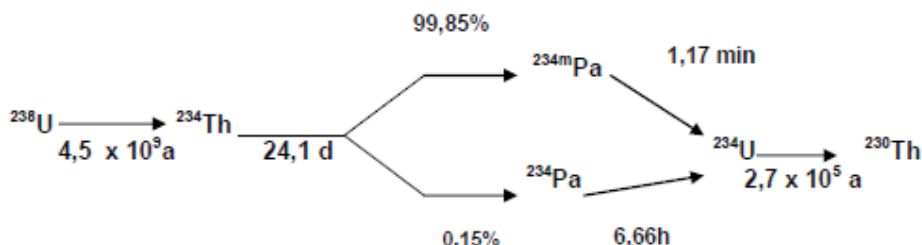
Fonte: Revista Veja, outubro/2004.

ANEXO 6

ROTEIRO DE UM DOS EXPERIMENTOS

PRÁTICA 2 - SEPARAÇÃO RADIOQUÍMICA DO ^{234m}Pa A PARTIR DO URÂNIO E DETERMINAÇÃO DE SUA MEIA VIDA

Família do Urânio:

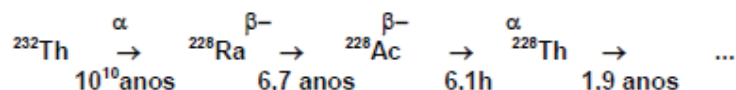


No urânio purificado de laboratório, não se restabeleceu o equilíbrio secular, podendo-se considerar somente os quatro primeiros membros da série.

OBJETIVO: Separar o Pa do restante da família.

CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO MÉTODO:

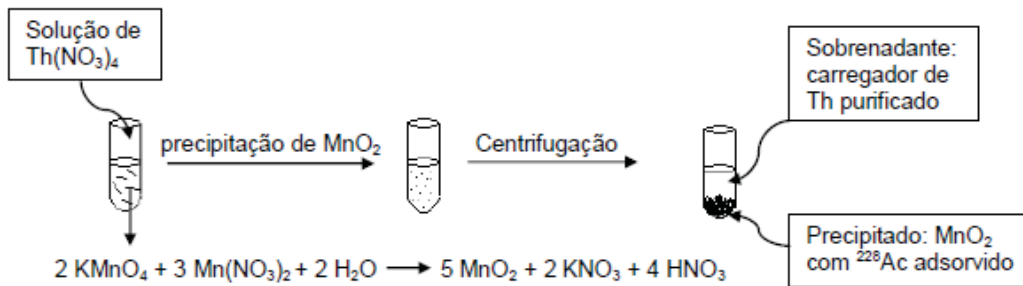
1. Meia vida do ^{234m}Pa : 1,17 min. Por isso, o método de separação deve ser muito rápido;
2. Não existe Pa inativo na natureza. Logo, não se pode usar um carregador isotópico. Então, vamos usar MnO_2 recém precipitado, que é um poderoso adsorvente não específico. Particularmente, adsorve muito bem os actínideos. Como a adsorção é um processo rápido, é bastante adequado para esse caso;
3. Mas o MnO_2 adsorve também o ^{234}Th ($t_{1/2} = 24,1$ dias), cuja atividade é razoavelmente elevada e interfere na determinação da meia vida do Pa. Usa-se, então, um carregador de retenção para o ^{234}Th , para que permaneça em solução, enquanto Pa é adsorvido;
4. Todo o Th que existe na natureza é radioativo. Entretanto, usando-se um isótopo de meia vida bastante longa (ou seja, de atividade muito baixa), ele não chegará a interferir nas contagens. Assim, usa-se o ^{232}Th como carregador:



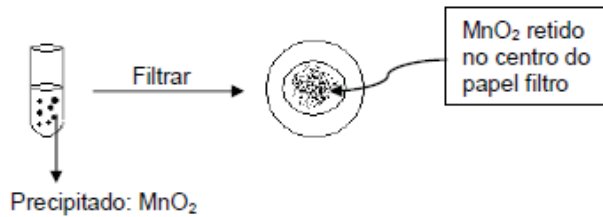
5. Surge agora outro problema: o ^{228}Ac é muito ativo e deve ser eliminado do carregador de Th. Como o MnO_2 é bom adsorvente para actínideos, faz-se inicialmente uma purificação do carregador de tório, removendo-se o Ac.

Em resumo a experiência consiste em:

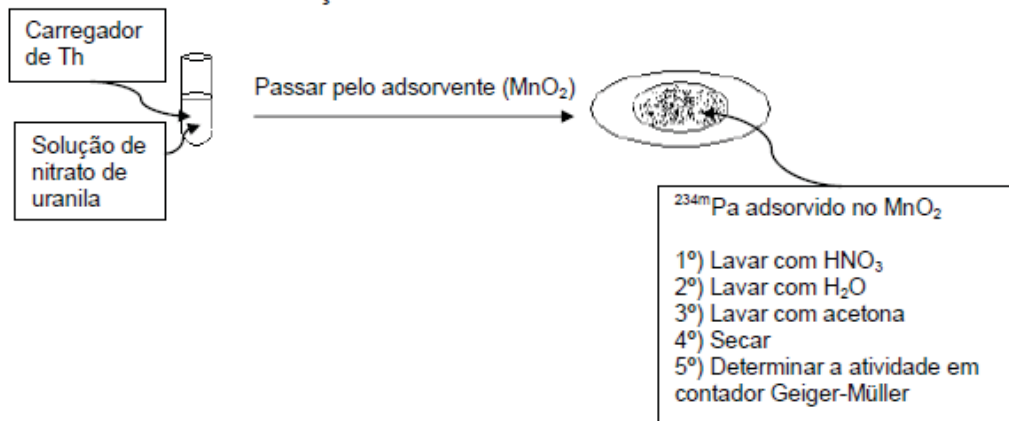
1ª PARTE: PURIFICAÇÃO DO CARREGADOR DE TÓRIO:



2ª PARTE: PREPARAÇÃO DO ADSORVENTE PARA O $^{234\text{m}}\text{Pa}$:



4ª PARTE: SEPARAÇÃO DO $^{234\text{m}}\text{Pa}$:



3ª PARTE: ENSAIO DA SEPARAÇÃO

Para ter certeza de que todo o procedimento será realizado em cerca de 1 minuto, deve-se fazer um ensaio dos procedimentos, empregando água em lugar da solução de nitrato de uranila.

REFERÊNCIAS

- BROWN, C. A.; ROCHOW, E. G. *J. Chem. Ed.*, n. 10, p. 521-523, 1951.
- MÖBIUS, S. *Experiments for training in nuclear and radiochemistry*. Karlsruhe: Kernforschungszentrum Karlsruhe Universität, 1987.
- OVERMAN, R. T.; CLARK, H. M. *Radioisotope Techniques*. New York: McGraw-Hill, 1960.
- PASCAL, P. *Nouveau traité de chimie minérale*. Tome XII. Paris: Masson, 1956.

ANEXO 7

EXEMPLOS DA ATIVIDADE “CONSULTOR CIÊNCIA HOJE”

SEMESTRE LETIVO 2014/2

QUI03009 – RADIOQUÍMICA TRABALHO INDIVIDUAL FINAL – 2014/2

Você recebeu uma correspondência da Revista *Ciência Hoje* convidando para atuar como consultor da revista na seção “O leitor pergunta”.

A pergunta que você deve responder é a seguinte:

*“É verdade que em OKLO existiu um reator nuclear natural? Qual a chance de ele entrar em operação novamente?”
João da Silva, por e-mail.*

Sua resposta deve ser consistente e completa, porém concisa. Considerando que a Revista *Ciência Hoje* é uma revista de divulgação científica, a resposta deve ser passível de compreensão por parte de leitores que não tenham profundos conhecimentos científicos.

Por restrições de espaço na diagramação da revista, as respostas enviadas à seção “O leitor pergunta” devem ter extensão máxima de 1 página tamanho A4, com todas as margens uniformes de 2 cm, sendo digitadas em letra tipo Arial tamanho 12 e com espaçamento simples entre linhas. Respostas fora dessas especificações não serão aceitas pelo Editor.

QUI03009 – RADIOQUÍMICA TRABALHO INDIVIDUAL FINAL – 2014/2

Você recebeu uma correspondência da Revista *Ciência Hoje* convidando para atuar como consultor da revista na seção “O leitor pergunta”.

A pergunta que você deve responder é a seguinte:

*“Por que a radioterapia com feixe de prótons é considerada mais precisa para o tratamento de tumores cancerígenos (no cérebro, por exemplo) do que a feita com radiação gama?”
João da Silva, por e-mail.*

Sua resposta deve ser consistente e completa, porém concisa. Considerando que a Revista *Ciência Hoje* é uma revista de divulgação científica, a resposta deve ser passível de compreensão por parte de leitores que não tenham profundos conhecimentos científicos.

Por restrições de espaço na diagramação da revista, as respostas enviadas à seção “O leitor pergunta” devem ter extensão máxima de 1 página tamanho A4, com todas as margens uniformes de 2 cm, sendo digitadas em letra tipo Arial tamanho 12 e com espaçamento simples entre linhas. Respostas fora dessas especificações não serão aceitas pelo Editor.

Fonte: Elaboração da autora.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
DEPARTAMENTO DE ENSINO DE QUÍMICA
QUI03009 – RADIOQUÍMICA

Professora: Tânia Denise Miskinis Salgado

Aluna: [REDACTED]

João da Silva, por e-mail:

“Porque a radioterapia com feixe de prótons é considerada mais precisa para o tratamento de tumores cancerígenos (no cérebro, por exemplo) do que a feita com radiação gama?”

Radiações são ondas eletromagnéticas ou partículas que se propagam com uma determinada velocidade. Contêm energia, carga elétrica e magnética. Podem ser geradas por fontes naturais ou por dispositivos construídos pelo homem. Possuem energia variável desde valores pequenos até muito elevados. A radioterapia utiliza radiação ionizante de alta energia como, por exemplo, raios-x, raios gama, e partículas radioativas (partículas alfa e beta, nêutrons e prótons). Como o objetivo da radioterapia é destruir células malignas que se dividem rapidamente sem lesar permanentemente os tecidos saudáveis circunvizinhos, alguns métodos radioterápicos foram desenvolvidos.

O método da radiação gama ocorre a partir de fontes de isótopos radioativos, como por exemplo, de pastilhas de cobalto, cério, irídio ou sais de rádio que geram raios gama com energia variável. Esses aparelhos são usados como fontes externas, mantendo distância da pele que variam de 1 cm a 1 m, servindo para o tratamento de lesões superficiais, semiprofundas ou profundas, dependendo da quantidade da radiação gerada pelo equipamento.

A radioterapia com feixe de prótons é um desses métodos desenvolvidos para o tratamento de câncer no cérebro, pescoço, próstata e medula espinhal, onde os feixes de prótons atravessam tecidos sem causar muitos danos, mas são eficazes na destruição de células malignas. A terapia de prótons é baseada na utilização de partículas de carga positiva elementares de núcleos de átomos de hidrogênio - ou seja, os prótons, que têm uma massa muito maior do que os elétrons. Os prótons são acelerados a uma velocidade cerca de metade da velocidade da luz, determinando sua energia de radiação, que atinge até 230 MeV, permitindo alcançar e danificar tumores até uma profundidade de aproximadamente 30 cm.

A radioterapia com feixe de prótons é considerada mais eficiente porque os prótons causam poucos danos aos tecidos que atravessam, liberando sua energia após uma determinada profundidade no tecido, ou seja, no tumor que é o alvo. É uma radiação mais precisa (permite melhor confinamento da dose de radiação), sendo mais intensa no tumor e mais fraca antes de chegar nele. Após atingir o tumor, a radiação é cessada. Acredita-se que esta terapia pode liberar doses mais altas de radiação e, ao mesmo tempo diminuir os efeitos colaterais nos pacientes. Na radioterapia convencional (feita com radiação gama), a radiação já é muito grande na superfície do corpo do paciente e segue diminuindo sua intensidade, que passa pelo tumor com força média e se mantém ativa na área seguinte, até se dissipar ao tocar a outra extremidade da pessoa, causando sérios danos aos tecidos saudáveis atingidos.

[REDACTED]
Departamento de Química,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Fonte: Trabalho elaborado por um aluno da disciplina.

QUI03009 – RADIOQUÍMICA
TRABALHO INDIVIDUAL FINAL – 2015/1

Você recebeu uma correspondência da *Revista Ciência Hoje* convidando para atuar como consultor da revista na seção “O leitor pergunta”.

A pergunta que você deve responder é a seguinte:

“É verdade que se usa radiação para verificar o preenchimento das latinhas nas fábricas de refrigerantes? Quer dizer que estamos consumindo bebidas radioativas?”

João da Silva, por e-mail.

Sua resposta deve ser consistente e completa, porém concisa. Considerando que a *Revista Ciência Hoje* é uma revista de divulgação científica, a resposta deve ser passível de compreensão por parte de leitores que não tenham profundos conhecimentos científicos.

Por restrições de espaço na diagramação da revista, as respostas enviadas à seção “O leitor pergunta” devem ter extensão máxima de 1 página tamanho A4, com todas as margens uniformes de 2 cm, sendo digitadas em letra tipo Arial tamanho 12 e com espaçamento simples entre linhas. Respostas fora dessas especificações não serão aceitas pelo Editor.

QUI03009 – RADIOQUÍMICA
TRABALHO INDIVIDUAL FINAL – 2015/1

Você recebeu uma correspondência da *Revista Ciência Hoje* convidando para atuar como consultor da revista na seção “O leitor pergunta”.

A pergunta que você deve responder é a seguinte:

“Como é possível alterar a cor de pedras preciosas ou semipreciosas por irradiação? Com que finalidade se faz isso?”

João da Silva, por e-mail.

Sua resposta deve ser consistente e completa, porém concisa. Considerando que a *Revista Ciência Hoje* é uma revista de divulgação científica, a resposta deve ser passível de compreensão por parte de leitores que não tenham profundos conhecimentos científicos.

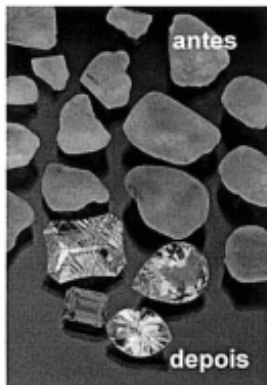
Por restrições de espaço na diagramação da revista, as respostas enviadas à seção “O leitor pergunta” devem ter extensão máxima de 1 página tamanho A4, com todas as margens uniformes de 2 cm, sendo digitadas em letra tipo Arial tamanho 12 e com espaçamento simples entre linhas. Respostas fora dessas especificações não serão aceitas pelo Editor.

Fonte: Elaboração da autora.

EXEMPLAR DE RESPOSTA ELABORADA POR UM ALUNO DA DISCIPLINA
PARA UMA DAS PERGUNTAS DO SEMESTRE 2015/1

João Silva, por e-mail.

"Como é possível alterar a cor de pedras preciosas ou semipreciosas por irradiação? Com que finalidade se faz isso?"



Pedras preciosas ou semipreciosas são irradiadas para alterar sua cor melhorando sua condição inicial e consequentemente agregar valor comercial.

Elementos radioativos na crosta terrestre levam milhões de anos para alterar a cor das pedras enquanto que a irradiação artificial pode levar algumas horas.

Existem diferentes fontes de radiação para alterar a cor de gemas (pedras preciosas ou semipreciosas). As fontes mais utilizadas são: os raios X, os raios gama, irradiação por nêutrons e aceleradores de partícula.

Para os **raios X** utiliza-se equipamentos de fácil obtenção, entretanto proporciona baixa uniformidade da cor, pouca penetração na gema e por isso não é um processo comercialmente viável.

A radiação mais usada são os **raios gama** (fonte Cobalto-60). Eles têm boa penetração na gema, dão cor com boa uniformidade e não deixam resíduo radioativo. A estabilidade da cor final depende da gema tratada.

A irradiação por **nêutrons** penetra mais que as anteriores, dá colorido mais intenso, mas deixa a gema radioativa. Desse modo, é preciso esperar que essa radioatividade se dissipe para poder comercializar o produto. Diamantes assim tratados ficam verdes e, se a irradiação for seguida de tratamento, adquirem cor amarelo-canário. Tanto esta cor quanto o verde não podem ser distinguidos a olho nu das mesmas cores de origem natural.

Por fim, há os **aceleradores de partículas**, mas estes penetram menos que a radiação gama e são pouco usados.

No processo de irradiação com raios gama promove-se um desequilíbrio eletrônico, ou seja, os elétrons são extraídos de sua localização normal. A mudança na cor depende da nova localização do elétron e da carga do átomo próximo a ele. Esses fatores controlam como a pedra absorve a luz e portanto eles ditam sua cor. Processos térmicos também são utilizados conjuntamente com a irradiação.

No Brasil, um quilo da pedra bruta e sem cor vale muito pouco, cerca de R\$ 20,00, mas uma pedra que já está bruta e colorida pode chegar a valer R\$ 2 mil por quilo.



Instituto de Química

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Fonte: Trabalho elaborado por um aluno da disciplina.

ANEXO 8

EXEMPLO DE ESTUDO DE CASO USADO NO SEMESTRE LETIVO 2014/1

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA - DEPARTAMENTO DE FÍSICO-QUÍMICA
QUI 03 009 - RADIOQUÍMICA**

CASO Nº 2

Considere a seguinte situação.

O Escritório da CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear sediado no Campus do Vale da UFRGS foi requisitado para atender à seguinte ocorrência:

Em junho de 2011, um rapaz que residia em Caçapava do Sul-RS sentiu-se mal, apresentando náuseas, vômito, diarreia e dor de estômago. Procurou um posto de saúde e informou ao médico que tinha certeza de que seus sintomas teriam sido causados por contaminação radioativa devida à ingestão de água da torneira, pois essa água estaria contaminada em consequência do acidente ocorrido no Reator Nuclear de Fukushima, no Japão.

Em relação à situação descrita, responda:

1. Quais providências iniciais devem ser tomadas pelo médico que está atendendo o rapaz?
2. O técnico designado pelo Escritório da CNEN, ao chegar a Caçapava do Sul, deve tomar quais providências em relação a:
 - monitoramento do rapaz quanto à contaminação externa e interna;
 - coleta de amostras de água;
 - determinação de atividade das amostras.
3. As atividades que forem determinadas nas amostras coletadas devem ser comparadas com o que, para que os valores obtidos possam ser adequadamente interpretados?
4. Quais foram, aproximadamente, os índices de radiação observados no Japão, após o acidente de Fukushima?
5. Como se comporta o alastramento da contaminação no ambiente, após um acidente desse tipo?
6. Qual a extensão atingida, aproximadamente, pela contaminação decorrente do acidente?
7. Qual a dose de radiação mínima que o rapaz deveria ter recebido para chegar a apresentar os sintomas descritos?
8. Dê o seu parecer: é provável que os sintomas apresentados pelo rapaz sejam devidos à contaminação radioativa, como ele alega?

Fonte: Elaboração da autora.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA – DEPARTAMENTO DE FÍSICO-QUÍMICA
QUI 03 009 – RADIOQUÍMICA**

Caso nº 5

Considere que a seguinte situação tenha ocorrido em um Laboratório de Radioquímica.

O material para a realização de uma prática de Radioquímica foi preparado e deixado pronto, sobre uma bandeja de aço inox revestida com papel absorvente, até o dia seguinte, quando a prática seria realizada. Entre os materiais, encontrava-se uma solução de nitrato de uranila [$UO_2(NO_3)_2$], fechada em um recipiente hermético, além de vidrarias e um filtrador a vácuo que já haviam sido utilizadas para a realização da mesma prática no dia anterior, por um outro grupo de alunos. Durante a noite, um vazamento de água no laboratório situado acima deste provocou a inundação de parte do Laboratório de Radioquímica. A água encheu a bandeja, que transbordou, espalhou-se por cima das bancadas e a seguir espalhou-se pelo chão do laboratório.

No dia seguinte, de manhã, a primeira pessoa a chegar ao laboratório foi um aluno de doutorado. Ele fez algumas medidas com um detector e verificou que o nível de radiação estava apenas um pouco superior à radiação de fundo do local. Assim, decidiu chamar a equipe de limpeza, a qual providenciou a remoção da água e limpeza do chão.

A meia-vida do ^{238}U é de $4,5 \times 10^9$ anos e é um emissor alfa, mas seus produtos de decaimento emitem também radiação beta e gama.

1. O aluno de doutorado procedeu corretamente ao ingressar no laboratório inundado e depois fazer as medidas do nível de radiação?
2. O aluno de doutorado procedeu corretamente ao chamar a equipe de limpeza e permitir a remoção da água e a limpeza do chão?
3. Caso a equipe de limpeza estivesse adequadamente preparada para realizar tal procedimento, quais seriam os EPIs que eles deveriam estar usando para isso?
4. Uma vez que se verificou que houve o incidente, quem deve ser avisado, imediatamente?
5. Como as pessoas referidas no item 4 devem proceder neste caso?

Fonte: Elaboração da autora.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA - DEPARTAMENTO DE FÍSICO-QUÍMICA
QUI 03 009 - RADIOQUÍMICA**

Caso nº 4

Leia a crônica “Ensinaamentos de um PET Scan”, de David Coimbra, publicada no Caderno Vida de *Zero Hora*, em 08/06/2013. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/vida-e-estilo/vida/noticia/2013/06/david-coimbra-ensinaamentos-de-um-pet-scan-capitulo-4-4163127.html>

Em relação ao “PET Scan”, ou Tomografia por Emissão de Pósitrons, responda:

1. Quais são as características do pósitron?
2. O que acontece quando um pósitron encontra um elétron, no meio material?
3. Por que esse evento pode ser usado para fazer um exame como a Tomografia PET?
4. O cronista diz que: “Note que evento único: eles estão injetando uma substância radioativa em você. Quando fizeram isso em mim, fiquei pensando: e se adquirir superpoderes? Não foi uma aranha radioativa que mordeu Peter Parker e o transformou em Homem-Aranha?” É possível alguém adquirir “superpoderes” por meio de radiação?
5. O cronista diz que “eles injetam nas suas veias uma substância que imita a glicose”. Isso é verdade? Que substância é injetada no paciente? Qual o isótopo radioativo empregado para esse exame? Qual a sua meia-vida e quais as características do seu decaimento radioativo? (Consulte uma tabela de núclídeos)
6. Explique o que o cronista quis dizer com “Quando aparece um ponto do seu corpo com altos índices de consumo dessa falsa glicose, soam os alarmes: é ali que está acantonado o inimigo”.
7. Apresente exemplos de resultados de exames que mostrem imagens dos tumores.
8. Que outras aplicações tem a Tomografia PET, além da identificação de tumores cancerígenos? Mostre alguns exemplos.

Fonte: Elaboração da autora.

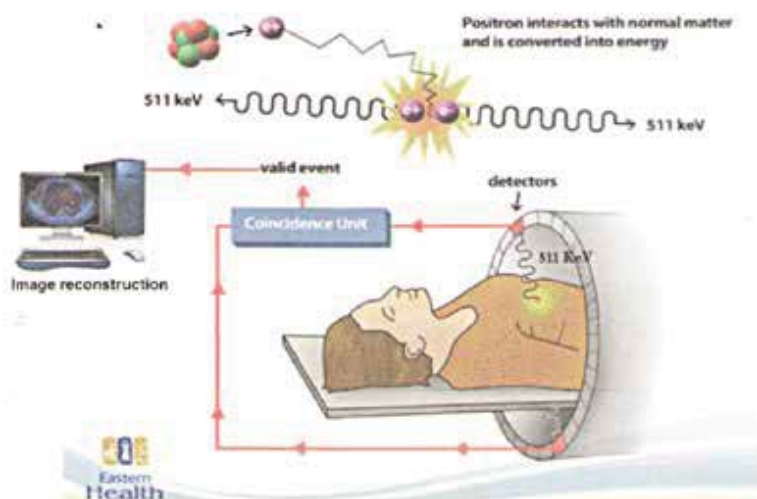


Figura 3. Esquemas de funcionamento de um equipamento PET Scan.

4. O cronista diz que: **“Note que evento único: eles estão injetando uma substância radioativa em você. Quando fizeram isso em mim, fiquei pensando: e se adquirir superpoderes? Não foi uma aranha radioativa que mordeu Peter Parker e o transformou em Homem-Aranha?” É possível alguém adquirir “superpoderes” por meio de radiação?**

Não. No caso específico da emissão de pósitrons, onde ocorre rápida aniquilação do pósitron emitido, a radiação de 2γ é liberada, com energia total de $2 \times 0,511 = 1,02$ MeV. Os raios γ são ondas eletromagnéticas, de mesma natureza, porém maior energia, do que a luz visível; não têm massa nem carga; são muito mais penetrantes que as partículas alfa e beta, causando, entretanto, menos ionização; são absorvidas por alguns centímetros de chumbo ou outros materiais densos e podem penetrar vários metros no ar.

A irradiação de material biológico pode resultar em transformação de moléculas específicas (água, proteína, açúcar, DNA, etc.), levando a conseqüências que devem ser analisadas em função do papel biológico desempenhado pelas moléculas atingidas. Os efeitos das citadas transformações moleculares devem ser acompanhados nas células, visto serem estas as unidades morfológicas e fisiológicas dos seres vivos. O DNA, por ser responsável pela codificação da estrutura molecular de todas as enzimas das células, passa a ser a molécula chave no processo de estabelecimento de danos biológicos. Ao sofrer a ação das radiações, a molécula de DNA pode sofrer mutações gênicas ou quebras.

As mutações gênicas correspondem a alterações induzidas na molécula de DNA que resultam na perda ou na transformação de informações codificadas na forma de genes. A introdução de mutações no genoma de uma célula é considerada indispensável para a indução de um câncer por ação das radiações. No entanto, mutações radioinduzidas não evoluem obrigatoriamente para câncer.

Apesar do PET Scan expor o paciente a radiação ionizante, são realizados diversos cuidados para limitar a dose. O isótopo de flúor radioativo no traçador FDG produz uma dose de cerca de 5-7 mSv. Um adicional de 23-26 mSv, no entanto, pode ser adquirido a partir da tomografia computadorizada que normalmente acompanha o PET scan. Portanto, o componente de PET do PET/CT é responsável por cerca de 20% da dose de radiação, com a porção da tomografia computadorizada contabilizando cerca de 80% da dose de radiação.

Fonte: Trabalho elaborado por um aluno da disciplina.