

# Energia nuclear: conceitos fundamentais e aplicações na agricultura

SILVA, Fabio Sousa Guedes  
NASCIMENTO, Daniela Defávares do  
MIGOT, Beatriz Cristina

## Resumo

Diante do crescimento populacional, a segurança alimentar e hídrica, preservação da natureza e reparo de passivos ambientais se tornam fundamentais para a sobrevivência humana e bem-estar social. Com a evolução das tecnologias e aproveitamento de diferentes fontes de energia, cada vez mais se explora o potencial energético contido no interior dos átomos – energia nuclear. Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar, por meio de revisão de literatura, alguns conceitos fundamentais para compreensão deste tipo de energia - como a estrutura do núcleo dos átomos, decaimento radioativo e isótopos radioativos - bem como expor aplicações da energia nuclear na agricultura, que contribuem para maior produção e conservação de alimentos, controle de pragas, criação de novos cultivares e recuperação de áreas ambientais degradadas. As técnicas utilizadas para manipular a energia contida no interior dos átomos demonstram-se eficientes e têm contribuído para o desenvolvimento sustentável, sendo importante a continuação de estudos e pesquisas a fim de melhor aproveitá-la, de maneira segura e eficaz, e assim beneficiar a agricultura, responsável pela produção tanto de alimentos quanto de biocombustíveis a partir de óleos vegetais.

**Palavras-chave:** Radioisótopos, irradiação, decaimento radioativo, segurança alimentar.

## Abstract

In view of population growth, food and water security, preservation of nature and repair of environmental liabilities become essential for human survival and social well-being. With the evolution of technologies and the use of different energy sources, the energy potential contained within atoms is increasingly being explored – nuclear energy. Thus, the objective of this article is to present, through a literature review, some fundamental concepts for understanding this type of energy - such as the structure of the nucleus of atoms, radioactive decay and radioactive isotopes - as well as to present applications of nuclear energy in agriculture, which contribute to greater production and conservation of food, pest control, creation of new cultivars and recovery of degraded environmental areas. Since the techniques used to manipulate the energy contained within atoms have proven to be efficient and have contributed to sustainable development, it is important to continue studies and researches in order to better use nuclear energy, safely and effectively, and thus benefit the agriculture, responsible for the production of both food and biofuels from vegetable oils.

**Keywords:** Radioisotopes, irradiation, radioactive decay, food safety.

## Resumen

Frente al crecimiento demográfico, la seguridad alimentaria y hídrica, la preservación de la naturaleza y la reparación de los pasivos ambientales se vuelven fundamentales para la supervivencia humana y el bienestar social. Con la evolución de las tecnologías y el uso de diferentes fuentes de energía, se está explorando cada vez más el potencial energético contenido en los átomos: la energía nuclear. Así, el objetivo de este artículo es presentar, a través de una revisión de la literatura, algunos conceptos fundamentales para comprender este tipo de energía - como la estructura del núcleo de átomos, la desintegración radiactiva y los isótopos

radiactivos - así como presentar aplicaciones de la energía nuclear en la agricultura, que contribuyen a una mayor producción y conservación de alimentos, control de plagas, creación de nuevos cultivares y recuperación de áreas ambientales degradadas. Las técnicas utilizadas para manipular la energía contenida dentro de los átomos son eficientes y han contribuido al desarrollo sustentable, por lo tanto es importante continuar estudios e investigaciones con el fin de aprovecharla mejor, de manera segura y efectiva, y así beneficiar a la agricultura, responsable de la producción de alimentos y biocombustibles a partir de aceites vegetales.

**Palabras clave:** Radioisótopos, irradiación, desintegración radiactiva, seguridad alimentaria.

## **INTRODUÇÃO**

A energia nuclear destaca-se como a alternativa mais desenvolvida para substituir a energia produzida pelo carvão. Com exceção da energia geotermal, a única forma significativa de energia existente que não está relacionada ao sol, de maneira direta ou indireta, é a energia existente no núcleo dos átomos (SPIRO; STIGLIANI, 2009). Ela consiste na utilização controlada das reações nucleares para se obter energia, existindo várias aplicações em diversos ramos do conhecimento, como saúde, indústria, militar e agricultura (CERCONI; MELQUIADES; TOMINAGA, 2009).

Na agricultura, inúmeras são suas aplicações que contribuem para o desenvolvimento desta ciência que alimenta o mundo. Além de contribuir para a segurança alimentar, também auxilia na segurança hídrica, com disponibilização de água potável, bem como preservação do meio ambiente e reparo aos passivos ambientais ocasionados pelo ser humano. Dessa maneira, o domínio destas técnicas promove avanço de tecnologia e desenvolvimento sustentável, além de contribuir para o bem-estar da humanidade.

Por outro lado, ainda existe receio por parte da população quando se trata de radioatividade e elementos radioativos, devido ao seu notório poder carcinogênico, acontecimento de acidentes nucleares com danos severos e a utilização desta tecnologia para a construção de bombas e destruição. Estes aspectos realçam a importância de se desenvolver juntamente com a energia nuclear, técnicas e tecnologias de segurança, que permitem o uso passivo da energia contida no interior dos átomos em prol dos humanos e da natureza.

Ao compreender o potencial existente neste tipo de energia e suas diversas aplicações nas variadas áreas do conhecimento, mais estudos surgirão e novas descobertas serão realizadas, facilitando o suprimento das necessidades básicas humanas, como a providência de alimentos e a promoção da saúde. Com isso, espera-se que a energia nuclear continue contribuindo para o desenvolvimento da ciência, de maneira segura, eficaz e sustentável.

Dessa forma, o presente artigo tem o objetivo de apresentar, por meio de revisão de literatura, alguns conceitos essenciais de energia nuclear, desde átomos até decaimento nuclear ou radioativo, bem como expor aplicações desta tecnologia na evolução da agricultura, incluindo conservação de alimentos, controle de pragas, aumento de produtividade e desenvolvimento sustentável.

### **1. CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ENERGIA NUCLEAR**

Para o bom entendimento das técnicas nucleares utilizadas a favor do desenvolvimento da agricultura, é importante a compreensão prévia de conceitos fundamentais que envolvem energia

nuclear, como átomo e núcleo; íons; radiação; raios alfa, beta e gama; raios X; poder de penetração da radiação; decaimento nuclear ou radioativo; meia vida; isótopos e radioisótopos; e dose absorvida, que serão explanados a seguir. A partir da compreensão de conceitos essenciais nesta área, é possível melhor compreender aplicações das técnicas de energia nuclear que contribuem tanto para a segurança alimentar, quanto segurança hídrica e preservação do meio ambiente.

## 1.1 Átomo e núcleo

O núcleo dos átomos é constituído por prótons (p) e nêutrons (n), exceto o isótopo de hidrogênio-1, que possui um único próton. O termo que designa qualquer uma das partículas nucleares – p e n – é nucleon. O número atômico ( $Z$ ) representa quantos prótons existem em qualquer núcleo atômico, enquanto o número de massa ( $A$ ) corresponde à somatória do número de prótons (ou  $Z$ ) com o número de nêutrons e não deve ser confundido com a massa atômica, uma vez que o  $A$  é número inteiro e a massa atômica raramente é inteiro (MAIA; BIANCHI, 2007).

## 1.2 Íons

Os átomos podem perder ou ganhar elétrons ( $e^-$ ), formando íons. Quando o átomo perde um ou mais  $e^-$ , sua configuração possui menos cargas negativas (elétrons) do que cargas positivas (prótons), resultando em um íon carregado positivamente, denominado cátion. Entretanto, quando um átomo ganha um ou mais  $e^-$ , o número de cargas negativas será maior do que o número de cargas positivas, formando um íon negativamente carregado, chamado de ânion (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2013).

## 1.3 Radiação

Certos átomos são naturalmente estáveis, por outro lado outros são instáveis. Estes com núcleo instável são conhecidos como radionuclídeos e se transformam espontaneamente, liberando energia na forma de radiação. Essa energia é capaz de ionizar outros átomos (radiação ionizante), transferindo energia suficiente para arrancar elétrons de sua órbita e transformá-los em íons. Por outro lado, a radiação não ionizante, como ondas de rádio, luz visível ou radiação ultravioleta, não é capaz de arrancar elétrons (UNEP, 2016).

## 1.4 Raios alfa, beta e gama

A radiação alfa, também conhecida como raios alfa ou partículas alfa, possuem carga positiva e equivalem ao núcleo do átomo de hélio, ou seja, 2 p e 2 n, portanto carga +2 e massa 4. A radiação beta ou raios beta ou ainda partículas beta apresentam carga negativa equivalente aos elétrons, portanto, cada partícula beta é um elétron, apresentando carga -1 e massa 0. Por fim, a radiação gama ou raios gama são ondas eletromagnéticas que possuem comprimento de onda entre 0,5 Å e 0,005 Å, geralmente acompanham as radiações alfa e beta e apresentam carga e massa nulas, não podendo ser chamadas de partículas gama (ULIANO, 2018).

### **1.5 Raios X**

Descoberto em novembro de 1895 pelo físico alemão Wilhelm Röntgen, o raio X é assim denominado devido à teoria inicial e errônea, de que os raios capazes de atravessar objetos sólidos e revelar impressões em chapas fotográficas não estariam atrelados à luz, tratando-se assim, de um tipo 'x' desconhecido de raio (NOSSA CAPA, 2009). De acordo com Teixeira, Massoni e Vargas (2017), atualmente sabe-se que os raios X são ondas eletromagnéticas (tal qual a luz) de alta energia oriundas de transições eletrônicas de níveis e subníveis mais internos no átomo, sendo mais penetrante e energético que a luz, característica que permite sua aplicação em exames de radiografia e tomografia.

### **1.6 Poder de penetração da radiação**

A radiação pode ter a forma de partículas, como partículas alfa e beta, ou de ondas eletromagnéticas, como raios gama e raios X. De acordo com o tipo de partícula e energia de emissão é o poder de penetração. As partículas alfa, devido sua carga acentuada, interage com os átomos ao redor, diminuindo a energia e conseqüentemente o poder de penetração, podendo ser bloqueadas, por exemplo, por uma folha de papel. As partículas beta carregam menor energia e portanto são mais penetrantes, podendo atravessar um ou dois centímetros de tecido vivo. Por outro lado, os raios gama e os raios X são demasiadamente penetrantes, sendo capazes de atravessar qualquer material que seja menos denso que uma chapa de aço (UNEP, 2016).

### **1.7 Decaimento nuclear ou radioativo**

Os núcleos atômicos comportam todos os prótons do átomo, comprimidos em um volume pequeno, mesmo com suas cargas positivas. Entretanto, apesar das imensas forças repulsivas que

existem entre essas partículas atômicas, a maioria dos núcleos são capazes de sobreviver indefinidamente. Por outro lado, em alguns núcleos, a força de repulsão existente entre os prótons é superior à força que mantém os núcleos unidos. Dessa maneira, ocorre a ejeção de fragmentos dos núcleos – decaimento (ATKINS; JONES, 2012).

Dentre as diversas sequências de transformação – decaimento radioativo - existentes, pode-se citar o caso das partículas do núcleo do átomo de Urânio-238 (92 p e 146 n), que são capazes de se agrupar. Eventualmente, um grupo de dois prótons e dois nêutrons escapam sob a forma de uma partícula alfa, transformando-o em Tório-234 (90 p e 144 n). Entretanto, como o Tório-234 também é um radionuclídeo, ele se transforma pela emissão de elétrons de alta energia – partículas beta – convertendo um nêutron em um próton, transformando-o em Protactínio-234 (91 p e 143 n). Este é extremamente instável e rapidamente se transforma em Urânio-234. Como consequência, o átomo continua liberando partículas até se transformar finalmente em Chumbo-206, com 82 p e 124 n, que é estável (UNEP, 2016).

## 1.8 Meia-vida

O período necessário para que a quantidade de um elemento decaia pela metade é conhecido como meia-vida. Considerando um total de um milhão de átomos, após meia-vida, cerca de 500 mil terão decaído em outro elemento. Durante a próxima-meia vida, em média 250 mil átomos decairão, e assim por diante, até que todos os átomos tenham decaído. Exemplificando, a meia-vida dos átomos de Protactínio-234 é um pouco mais de um minuto, para que metade da quantidade inicial de seus átomos decaiam em Urânio-234. Por outro lado, é necessário quatro bilhões de anos para que metade dos átomos de Urânio-238 decaiam em Tório-234. Dessa forma, justifica-se a existência de poucos radionuclídeos ocorrendo naturalmente na natureza (UNEP, 2016).

## 1.9 Isótopos e radioisótopos

De acordo com Brown, Lemay e Bursten (2005), os átomos de um dado elemento químico que apresentam número de nêutrons diferentes, e, portanto, número de massa distintos, são chamados de isótopos. Dessa maneira, isótopos são átomos de um mesmo elemento químico, isto é, mesmo número atômico, porém com números de massa diferentes. Para o carbono (6 p), por exemplo, existem átomos com 5, 6, 7 ou 8 n, e respectivamente, número de massa 11, 12, 13 ou 14.

Isótopos estáveis são aqueles que se apresentam de forma comum na natureza, enquanto os isótopos radioativos, ou radioisótopos são instáveis, transformando-se, por decaimento radioativo, em elementos mais estáveis – isótopos radio gênicos. O  $^{14}\text{C}$ , por exemplo, é um radioisótopo de carbono, com meia-vida para transformação no isótopo estável  $^{14}\text{N}$  de 5730 anos (CAXITO; SILVA, 2015).

### 1.10 Dose absorvida

**Dose absorvida**,  $D_T$ , é definida como a energia média depositada pela radiação ionizante ( $d\epsilon$ ) em um órgão ou tecido previamente definido, T, dividida pela massa daquele órgão (dm), sendo representada pela expressão:  $D_T = d\epsilon/dm$ . A dose absorvida é expressa em J/kg no SI (Sistema Internacional de Unidades), denominada gray (Gy) (CASTRO, 2005).

## 2. APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

A energia nuclear tem sido bastante aplicada na agricultura, especialmente por promover aumento na variabilidade genética nas plantas, tornando-as mais produtivas, com melhor qualidade e mais adaptadas ao meio ambiente (SANT'ANA, 2001). Dentre as diversas aplicações de isótopos radioativos, pode-se citar: radioautografia; disponibilidade e adsorção de nutrientes no solo; recuperação pelas culturas de nutrientes aplicados como fertilizantes; localização de adubo; absorção de nutrientes pelas raízes; translocação de nutrientes na planta; estudos de adubação foliar; estudos do sistema radicular; estudos de adubação verde e restos de cultivo com fonte de nutrientes; avaliação quanto à eficiência das plantas em absorver nutrientes menos disponíveis do solo e estudos de contaminação por metais pesados (BOARETTO; TRIVELIN, 2004).

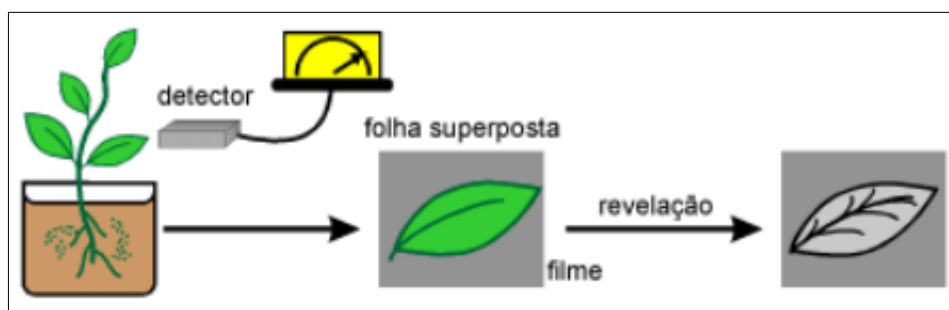
Segundo Malavolta (2008), a utilização de radioisótopos permite o mapeamento do caminho percorridos pelos elementos químicos dentro das plantas, desde a membrana até o citosol ou vacúolo e até os vasos do xilema e do floema responsáveis pelo transporte a distâncias longas, alcançando gemas, folhas e frutos. Face ao exposto, serão apresentadas aplicações da energia nuclear que contribuem para o desenvolvimento da agricultura.

### 2.1 Radioautografia

Os traçadores radioativos são capazes de rastrear o metabolismo das plantas, indicando suas necessidades nutricionais, o que é absorvido e onde um determinado elemento químico fica

retido. Uma planta que absorveu um traçador radioativo pode ser “radiografada”, pela localização do radioisótopo, conforme a Figura 1, pela utilização de um filme, semelhante ao usado em radiografias, sobre a região da planta por alguns dias e revelá-lo, obtendo-se a autorradiografia da planta (CARDOSO, [200-]).

**Figura 1 - Autorradiografia de planta**



**Fonte:** Cardoso ([200-]).

Silva et al. (2003), com o intuito de estudar a translocação e redistribuição de enxofre (S) em plantas de milho e de soja, utilizou o radioisótopo  $^{35}\text{S}$  e autorradiografia das plantas. Os autores observaram que o milho apresentou maior absorção radicular, apesar de reter grande parte do S na raiz, enquanto a soja absorveu o elemento consideravelmente em menor quantidade, porém foi mais eficiente na translocação.

## 2.2 Estudos de contaminação por metais pesados

Devido à alta preocupação ambiental, pesquisas têm sido realizadas sobre contaminação do ambiente por metais pesados presentes em adubos e outros materiais reciclados para utilização em solos agricultáveis. A técnica isotópica exige a aplicação de pequenas quantidades do metal pesado, não modificando significativamente sua concentração no ambiente, tornando-a vantajosa. Existem estudos com os radionuclídeos  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  e  $^{63}\text{Ni}$  (BOARETTO; TRIVELIN, 2004).

Ribeiro (2002), ao determinar teores de metais pesados em uma lagoa artificial da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Barueri/SP, pela técnica de análise por ativação com nêutrons instrumental (AANI), a fim de verificar uma possível contaminação por ocasião dos resíduos produzidos, observou distribuição homogênea dos elementos nos pontos de coleta da lagoa, indicando que apenas As, Cr e Zn podem ter sua origem correlacionada aos resíduos dispostos ao redor da lagoa.

## 2.3 Controle de pragas



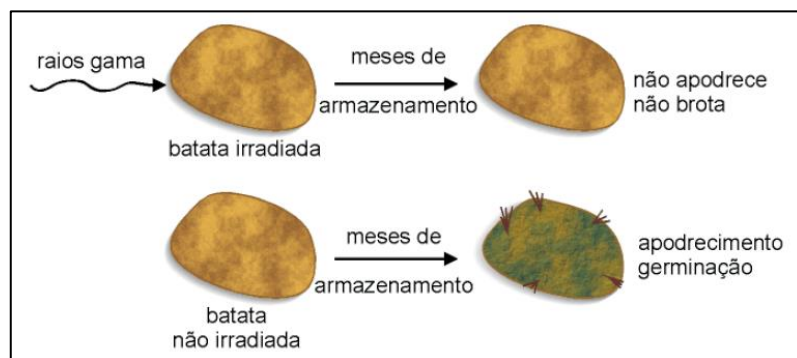
A técnica de traçadores radioativos também pode ser utilizada para estudar o comportamento de insetos, que ao ingerirem radioisótopos, passam a “emitir radiação”, podendo ser acompanhados. Com a irradiação nuclear em laboratórios, é possível realizar o controle de pragas, pela criação de machos estéreis. De acordo com Vanderlei Both, professor do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, estes, ao serem liberados no campo, competem com os nativos e copulam com as fêmeas, depositando ovos inférteis e impedindo o desenvolvimento de larvas indesejáveis nos frutos (MOTTER, 2018).

Fontes e Arthur (1994) avaliaram os efeitos da radiação gama do Cobalto-60 em ovos de *Tribolium castaneum* (Herbst, 1797) (Coleoptera: Tenebrionidae), inseto que pode infestar todo o tipo de farinha, especialmente a farinha de trigo integral. Os autores observaram que a dose letal para impedir a total eclosão das larvas foi de 30 Gy, enquanto 20 Gy promoveu a esterilização dos adultos provenientes de ovos irradiados.

## 2.4 Conservação de alimentos

Por volta de 1950, também utilizando o isótopo radioativo cobalto 60, os Estados Unidos e Canadá desenvolveram técnicas de irradiação em batatas e cebolas, promovendo aumento no tempo de vida útil dos produtos, em bom estado de conservação. Frutas frescas, grãos e vegetais podem durar três vezes mais com irradiação, uma vez que esta técnica de energia nuclear aumenta o tempo de conservação dos alimentos, evitando o brotamento e retardando a maturação (MOTTER, 2018). Batatas irradiadas, por exemplo, podem ser armazenadas em bom estado por mais de um ano, conforme demonstra a Figura 2 (CARDOSO, [200-]).

Figura 2 - Irradiação de batata e consequente prolongamento do tempo de vida útil



Fonte: Cardoso ([200-]).

A utilização desta técnica de conservação de alimentos não deixa resíduos, descartando a possibilidade de contato humano com o material radioativo. O alimento irradiado também não entra em contato com o material radioativo e a energia da radiação não é suficiente para alterar átomos e transformá-los em radioativos, garantindo a segurança do alimento irradiado (PIMENTEL; SPOTO; WALDER, 2007).

Quintão (2018), estudou o período de conservação com qualidade de morangos cv. Albion irradiados com diferentes doses de raio gama – 0; 0,8; 1,6 e 2,4 kGy – e armazenados por até 9 dias a  $10 \pm 1^\circ \text{C}$  e umidade relativa  $90 \pm 5 \%$ . A autora observou que a irradiação em baixas doses e sob refrigeração foi responsável por acrescentar 3 dias no período de comercialização dos morangos, enquanto a dose 2,4 kGy mostrou-se mais eficiente no controle dos microrganismos no decorrer do período avaliado, sendo esta dose a mais ideal a ser empregada com o intuito de estender a vida útil dos morangos.

## **2.5 Criação de novos cultivares**

Devido à capacidade da energia nuclear em modificar a estrutura genética de plantas, é possível a criação de novos cultivares. Segundo Vanderlei Both, professor do Departamento de Fitotecnia do Centro de Ciências Rurais da UFSM, existem pesquisas que buscam mutações em frutas cítricas por meio de irradiações, com o intuito de criar cultivares sem sementes (MOTTER, 2018).

A utilização de técnicas da energia nuclear também contribui para o enfrentamento do problema de escassez de água na agricultura, pela criação de plantas mais tolerantes à deficiência hídrica, que possuem sistema radicular mais eficiente para extrair água do solo. Existem pesquisas no Brasil que pesquisam o arroz de terras altas no país, empregando na cultura mutação induzida com raios gama, a fim de se obter plantas de arroz com raízes mais extensas e mais grossas, capazes de infiltrar nas camadas mais profundas do solo, facilitando sua exploração e retirada da água necessária para crescimento e produção (SANT'ANA, 2001).

## **2.6 Dessalinização de água**

Diante do cenário de escassez de água, uma das alternativas para que se obtenha água potável é através dos processos de dessalinização, que pode ocorrer pela utilização de reatores nucleares. No Brasil, este seria um caminho viável e econômico para enfrentar a escassez deste recurso natural em nível nacional, uma vez que o país possui a sexta maior reserva de urânio –

combustível para reatores nucleares. Esta tecnologia é capaz de ajudar o Brasil a atingir segurança hídrica, energética e alimentar. Um reator nuclear conjugado a um sistema de dessalinização permitiria a criação de um parque agroindustrial abastecido com a eletricidade gerada, sendo a população e outros processos abastecidos com a água obtida por dessalinização e atividades agrárias irrigadas com excedentes (BRASIL, 2016).

## **2.7 Estudos de adubação verde**

Com a utilização de técnica de diluição isotópica por meio de marcação de plantas que serão utilizadas como adubos verdes com isótopos dos nutrientes de interesse, é possível estudar detalhadamente a dinâmica desses nutrientes no sistema adubo verde (ou restos culturais) – solo-cultura subsequente, obtendo-se dados sobre capacidade de fornecimento de nutrientes, taxa de mineralização, dinâmica dos nutrientes dos adubos verdes no solo e assim por diante (BOARETTO; TRIVELIN, 2004).

Mendes (2010) avaliou 25 espécies de adubos verdes a fim de selecionar aquelas mais eficientes em absorver fósforo (P) na forma menos disponível, pela marcação isotópica destas plantas com o radioisótopo  $^{32}\text{P}$ , quantificando o aproveitamento deste nutriente advindo dos adubos verdes pela cana-de-açúcar e arroz, de maneira a averiguar suas contribuições como fonte de P. Para a cana-de-açúcar, os melhores resultados foram encontrados pela utilização da braquiária *ruziziensis*, crotalária *juncea*, guandu anão e estilosante cv. Campo grande, enquanto para o arroz, os resultados mais interessantes foram provenientes da crotalária *juncea* e o guandu anão. Entretanto, a autora observou que o P advindo do adubo verde não foi suficiente para suprir toda a necessidade da cultura principal, mas sim favorecer a absorção do P quando associado à fonte mineral fosfatada superfosfato triplo.

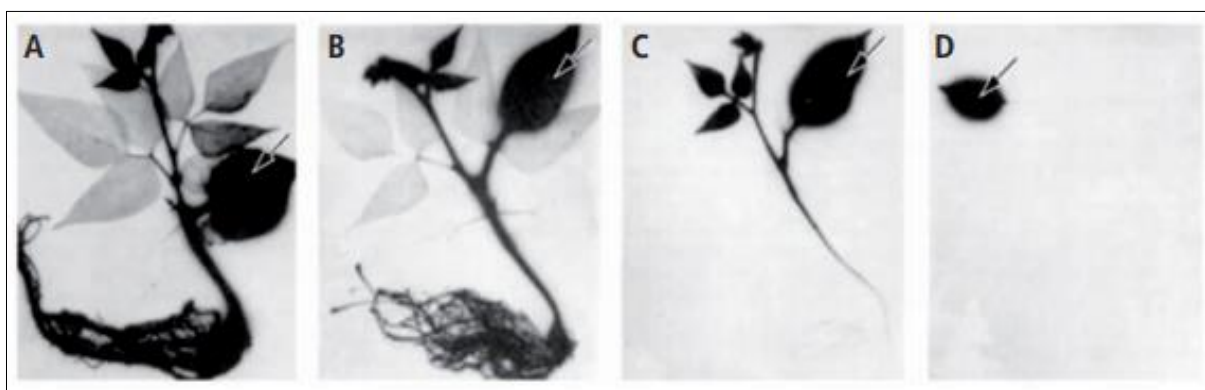
## **2.8 Estudos de adubação foliar**

De acordo com Nachtigall e Nava (2010), emprega-se a adubação foliar para complementar a nutrição das plantas, pela assimilação dos nutrientes através das folhas, sendo que ela não substitui a adubação convencional pelo solo, por meio das raízes, já que as quantidades de nutrientes geralmente utilizadas na produção de um cultivo são muito superiores às quantidades que podem ser absorvidas pelas folhas.

Segundo Fernández, Sotiropoulos e Brown (2015), quando as folhas não estão maduras, são incapazes de exportar nutrientes, e quando estão velhas, incapazes de importá-los. Os autores

mencionam que consta na literatura mais antiga, que o fósforo radioativo ( $^{32}\text{P}$ ) foi empregado sequencialmente em folhas de feijoeiro mais jovens, sendo realizado o monitoramento do transporte desse nutriente por 48 horas após aplicação, utilizando películas de raios X (Figura 3). As folhas maduras (A e B) transportaram rapidamente o P marcado para folhas jovens e raízes. Em folhas mais jovens (C), houve redução no transporte de P para fora da folha tratada, não chegando às raízes. Por fim, a aplicação de P em folhas imaturas (D) ocasionou na retenção de 100% do elemento na folha tratada (Figura 3).

**Figura 3 - Plantas em filme de raios X relatando a distribuição de fósforo marcado, após 24 horas da aplicação\***



\*A seta indica a folha em que se aplicou o radioisótopo de fósforo (por imersão) em cada caso (A, B, C e D).

Fonte: Fernández, Sotiropoulos e Brown (2015).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inúmeros são os benefícios que a energia nuclear trouxe para a evolução tecnológica e desenvolvimento sustentável. A energia contida no interior dos átomos demonstra-se eficiente, sendo importante a continuação de estudos e pesquisas a fim de melhor aproveitá-la, de maneira segura e eficaz, por meio da criação de novos métodos e aprimoramento dos métodos existentes.

Apesar do potencial carcinogênico e de destruição (bombas nucleares) que a energia nuclear possui, é preciso quebrar barreiras e paradigmas para entender que existem técnicas seguras de sua manipulação, que beneficiam o ser humano e demais aspectos do meio ambiente. Além de suas contribuições para o desenvolvimento da agricultura, que é responsável pela produção tanto de alimentos quanto de biocombustíveis a partir de óleos vegetais, também tem contribuído para a saúde das pessoas, e ainda existe muito potencial a ser descoberto e explorado.

## REFERÊNCIAS

ATKINS, P.; JONES, L. *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. Tradução: Ricardo B. de Alencastro. 5. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BOARETTO, A. E.; TRIVELIN, P. C. O. Uso de isótopos como traçadores em fertilidade do solo e nutrição de plantas. *FERTBIO*, 2004.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Comissão Nacional de Energia Nuclear. *CNEN inicia projeto conceitual em dessalinização nuclear em colaboração com a marinha e universidades*. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/assunto/ultimas-noticias/cnen-inicia-projeto-conceitual-em-dessalinizacao-nuclear-em-colaboracao-com-a-marinha-e-universidades>. Acesso em: 25 set. 2020.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E. JR.; BURSTEN, B. E. *Química: a ciência central*. Tradução: Robson Matos. 9. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CARDOSO, E. DE M. *Aplicações da energia nuclear*. Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN. Apostilas Educativas. Rio de Janeiro, [200-].

CASTRO, R. C. DE. *Cálculo de dose equivalente em órgãos de pacientes devido à fotonêutrons gerados em aceleradores lineares clínicos*. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Nuclear) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CAXITO, F. A.; SILVA, A. V. Isótopos estáveis: fundamentos e técnicas aplicadas à caracterização e proveniência geográfica de produtos alimentícios. *GEONOMOS*, V. 23, N. 1, P. 10-17, 2015.

CERCONI, C.; MELQUIADES, F. L.; TOMINAGA, T. T. Energia nuclear, o que é necessário saber? *Revista Ciências Exatas e Naturais*, V. 11, N. 1. 2009.

FERNÁNDEZ, V.; SOTIROPOULOS, T.; BROWN, P. *Adubação foliar: fundamentos científicos e técnicas de campo*. São Paulo: ABISOLO, 2015.

FONTES, L. S.; ARTHUR, V. Efeitos da radiação gama do cobalto-60 em ovos de *tribolium castaneum* (Herbs., 1797) (coleoptera: tenebrionidae). *SCIENTIA AGRICOLA*, Piracicaba, V. 51, N. 3, P. 403-406, 1994.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. *Química geral e reações químicas*, Vol. 1. Tradução: Flávio M. Vichi; Solange A. Visconte. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

MAIA, D. J.; BIANCHI, J. C. DE A. *Química Geral: fundamentos*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

MALAVOLTA, E. O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. *Informações Agronômicas*, N. 121, 2008.

MENDES, F. L. *Eficiência de absorção de fósforo por diversas espécies de adubos verdes e aproveitamento desse nutriente pelas culturas de cana-de-açúcar e de arroz*. 2010. TESE (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOTTER, A. 11 Utilidades da energia nuclear. *Revista Arco*, UFMS – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL, 2018. Disponível em: <https://www.ufsm.br/midias/arco/11-utilidades-da-energia-nuclear/>. Acesso em: 18 set. 2020.

NACHTIGALL, G. R.; NAVA, G. Adubação foliar: fatos e mitos. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, V. 23, N. 2, P. 87-97, 2010. SUPLEMENTO.

NOSSA CAPA: WILHELM RÖNTGEN e a criação dos raios X. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, V. 45, N. 1, 2009.

PIMENTEL, R. M. DE A.; SPOTO, M. H. F.; WALDER, J. M. M. Irradiação gama permite aplicações em produtos embalados. *Visão Agrícola*, N. 7, 2007.

QUINTÃO, A. L. DA C. *Efeitos da radiação gama na qualidade de morangos cv. albion*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RIBEIRO, A. P. *Determinação de metais pesados e outros elementos de interesse em sedimentos lacustres da estação de tratamento de esgoto de Barueri, São Paulo, por ativação neutrônica*. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANT’ANA E. P. Energia nuclear na agricultura. *Cultivar Grandes*, N. 25, 2001. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/artigos/energia-nuclear-na-agricultura>. Acesso em: 15 set. 2020.

SILVA, D. J. ET AL. Translocação e redistribuição de enxofre em plantas de milho e de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, V. 38, N. 6, P. 715-721, 2003.

SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. *Química Ambiental*. Tradução: Sonia M. Yamamoto. 2. Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

TEIXEIRA, C. V.; MASSONI, N. T.; VARGAS, G. S. Raios X: um tema instigante para a introdução da física moderna e contemporânea na sala de aula do ensino básico. *Experiências em Ensino de Ciências*, V. 12, N. 2. 2017.

ULIANO, V. *Uma proposta para o ensino da física das radiações ionizantes com ênfase em radiologia*. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Radiação: efeitos e fontes.  
*Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente*, 2016.

1 SILVA, Fabio Sousa Guedes. Concluiu o Ensino Médio e a Educação Profissional Técnica de Nível Médio em Química na ETEC Coronel Fernando Febeliano da Costa, em Piracicaba/SP. cursou graduação em Tecnologia em Biocombustíveis na Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Piracicaba - Deputado “Roque Trevisan”, e Formação Pedagógica em Química na Universidade de Franca (UNIFRAN). Atualmente, atua como Analista de Laboratório Jr na empresa Lallemand Biofuels & Distilled Spirits, em Piracicaba/SP.

2 NASCIMENTO, Daniela Defávári do. Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade de São Paulo (1997), graduação em Licenciatura Em Ciências Agrárias pela ESALQ/USP (1998), mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela ESALQ/USP (2000) e doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela ESALQ/USP (2005). Especialista (MBA) em Agronegócios pelo PECEGE/ESALQ/USP (2012). Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Bioquímica e Biologia Molecular, atuando principalmente nos seguintes temas: cultura de tecidos, micropropagação de plantas, clonagem gênica, transformação genética de plantas (Tabaco, Arabidopsis, Eucalipto e cana-de-açúcar), análises moleculares. Desde 2010 é professora concursada por prazo indeterminado para as disciplinas: Biotecnologia e Bioetanol do curso de Graduação em Biocombustíveis; e Biotecnologia e Bioquímica de Alimentos do curso de Graduação em Alimentos, todos da FATEC Piracicaba "Deputado Roque Trevisan".

3 MIGOT, Beatriz Cristina. Possui graduação em Tecnologia em Biocombustíveis - Fatec Piracicaba Deputado “Roque Trevisan” (2019). Tem experiência na área de Química, com ênfase em Química, atuando principalmente nos seguintes temas: resíduos urbanos e agropecuários.