



BRASIL NUCLEAR

Informativo da Associação Brasileira
de Energia Nuclear
Ano 30 • Número 56 • Maio 2024

INAC 2024

Energia Nuclear:
Garantindo Energia,
Saúde e Alimentação

BRASIL NUCLEAR

30 Anos de Comunicação
com a Sociedade



Editorial Brasil Nuclear 30 Anos!	3
Entrevista Maria de Lourdes Moreira, chair da Inac 2024	4
Capa Inac 2024 mobilizará setor nuclear brasileiro e internacional	7
Divulgação 30 anos de Brasil Nuclear	10
Meio Ambiente Descarbonização e sustentabilidade do ciclo de vida da energia nuclear	12
Saúde Explorando o cenário atual da medicina nuclear no Brasil	18
Agricultura Aplicações da energia nuclear na agricultura e irradiação de alimentos no Brasil	20

Presidente da Aben
Carlos Freire Moreira

Conselho Editorial
Carlos Henrique C. Mariz - Aben
Edson Kuramoto - Aben
Francisco Rondinelli - Cnen
Márcia Flores - Aben
Paulo Ribas - Aben
Olga Mafra - Aben
Olga Simbalista - Aben

Editora
Vera Dantas

Colaborador
Bernardo Barata

Edição de Arte
IG+ Comunicação Integrada

Brasil Nuclear é uma publicação da Associação
Brasileira de Energia Nuclear - Aben
Rua Candelária, 65 • 14º andar • Centro Rio de Janeiro •
RJ • CEP: 20091-906
Tel: (55 21) 2266 0480 • 2588 7000 • Ramal 4721
aben@aben.org.br • www.aben.org.br

Brasil Nuclear 30 Anos!

Este ano a revista **Brasil Nuclear** completa 30 anos. Instrumento de comunicação e divulgação para a sociedade dos temas atuais ligados à área nuclear, de pesquisas e desenvolvimentos científicos, buscando informar para desmistificar e quebrar preconceitos contra a energia nuclear. Um pouco dessa história de sucesso é resgatada nesta edição, em artigo pela jornalista Vera Dantas, que também participou da criação da revista. Assim, não poderia deixar de parabenizar àqueles que tiveram a visão da Aben em criar este instrumento de divulgação.

Muito se tem falado e escrito sobre o atual momento da energia nuclear, reconhecendo a importância e mesmo a sua essencialidade para o futuro do planeta. Confirmando essa visão, durante a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas no final de 2023, mais comumente conhecida como COP28, realizada em

Dubai, 22 países assinaram uma declaração objetivando triplicar a geração de energia com fonte nuclear. No documento, reconhecem o papel chave da geração nuclear para que se consiga alcançar emissões zero de gases de efeito estufa até 2050. Além disso, há percepção da sociedade do largo emprego do nuclear seja principalmente na medicina, na indústria, na preservação de alimentos, de documentos históricos, e no combate à poluição do meio ambiente. Alguns desses temas são abordados de forma muito didática nos artigos: “Descarbonização e Sustentabilidade do Ciclo de Vida da Energia Nuclear”, de autoria do especialista Leonam dos Santos Guimarães; “Explorando o Cenário da Medicina Nuclear no Brasil”, do presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear, dr. Rafael Willain Lopes e no artigo muito oportuno abordando as “Aplicações da Energia Nuclear na Agricultura e Irradiação de Alimentos no Brasil”, pelos pesquisadores Anna C. H. Villavicencio e Valter Arthur.

O tema de capa desta edição é a International Nuclear Atlantic Conference (Inac 2024), que se realiza de 6 a 10 de maio próximos. Os desafios para sua realização, a primeira presencial pós-pandemia, são relatados pela pesquisadora e professora Maria de Lourdes Moreira, *chair* do evento e colaboradora infatigável de edições anteriores da Inac. Já o jornalista Bernardo Barata aborda a importância do evento, além de fazer um retrospecto, desde a sua primeira edição em 2002.

Finalmente, é importante uma breve reflexão, do ponto de vista estratégico, da situação atual da energia nuclear em todo o mundo, com impactos diretos em todos os atores na cadeia do ciclo do combustível nuclear, o que inclui o Brasil. A guerra na Ucrânia, somada à demanda mundial crescente de urânio, em razão da construção de novas usinas nucleares, e o esgotamento de minas de muitos dos produtores mundiais, elevou o preço do urânio a valores poucas vezes vivenciados. O Brasil, que está entre os dez maiores produtores mundiais, com apenas um terço do seu território prospectado, não pode perder a oportunidade de se tornar um importante *player* nesse mercado. Some-se a isso o fato de ter o domínio tecnológico de todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, o que lhe garante uma autossuficiência que poucos países no mundo detêm. O que falta então para que isso aconteça: credibilidade, que passa necessariamente pela conclusão de Angra 3 e extensão de vida de Angra 1.

Adicionalmente, é fundamental que se tenham regras claras e segurança jurídica para as atividades do ciclo do combustível, indispensáveis para atrair parceiros com vontade de investir no Brasil. Para isso, é preciso regulamentar a Lei 14.514/2022, implantar a Agência Nacional de Segurança Nuclear – ANSN, com a designação do seu presidente, e estabelecer uma governança para o setor, de forma a estruturar, com a participação de todos os seus *stakeholders*, um Programa de Estado com objetivos, metas e recursos que permitam se avançar na área nuclear de forma contínua e harmônica gerando riqueza, emprego e bem-estar para a Sociedade.

Uma boa leitura a todos!

Pais, que está entre os dez maiores produtores mundiais, com apenas um terço do seu território prospectado, não pode perder a oportunidade de se tornar um importante *player* nesse mercado

“O grande diferencial do Inac é o seu perfil científico e acadêmico”

Maria de Lourdes Moreira, *chair* da Inac 2024

A engenheira química Maria de Lourdes Moreira tem grande experiência na organização de eventos técnicos na área nuclear. Desde 1997 está envolvida com a coordenação do Encontro Nacional de Física de Reatores e Termohidráulica (Enfir), um dos mais importantes eventos sobre o tema voltados para a comunidade acadêmica e científica. No segundo semestre de 2023, já às voltas com a organização da 23ª edição do Enfir, ela foi surpreendida com o convite da diretoria da

Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben) para assumir a coordenação geral da International Nuclear Atlantic Conference (Inac), que será realizada de 6 a 10 de maio próximos na Escola de Guerra Naval, no Rio de Janeiro. Embora um pouco intimidada diante do porte e abrangência da Inac, ela aceitou o inesperado convite, uma vez que o então *chair* precisou se afastar do evento por problemas pessoais. Graduada pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com mestrado em energia nuclear e doutorado em engenharia civil, ambos pela Coppe/UFRJ, Maria de Lourdes é chefe do setor de Tecnologia em Engenharia de Reatores do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), desde 2010, e também professora (fundadora) no mestrado do Programa de Pós-graduação em Ciências Nucleares do Instituto. Sua parti-

cipação (intensa) na Inac remonta à segunda edição do evento, realizado em 2005, em Santos (SP).

Nesta entrevista a Vera Dantas, da **Brasil Nuclear**, Malu, como é conhecida na comunidade nuclear, fala dos desafios, dificuldades e gratificações de estar à frente da Inac e antecipa algumas atrações do evento.

Antes de assumir a coordenação geral da Inac, você coordenou, diversas vezes, o Enfir. Quais as principais diferenças entre os dois cargos?

A abrangência das responsabilidades. As maiores dificuldades sempre foram enfrentadas pelo coordenador geral (*chair*) da Inac, que cuidava da organização, escolha e reserva de local, tratativas junto às autoridades, contratação de pessoal, segurança e da captação de patrocínios para o evento. Já os coordenadores específicos de cada evento, como era o meu caso, lidavam somente com a parte acadêmica: escolha e convite de palestrantes, do Brasil e do exterior – nesse caso, também cuidar das passagens aéreas, diárias, estadia em hotel e recepcioná-los.

Os convidados internacionais são receptivos aos convites?

Sim, todos sempre tiveram boa vontade em participar da Inac e demonstravam gostar muito de vir ao Brasil. Nosso País sempre atraiu muito os estrangeiros. Eles ficavam encantados, qualquer que fosse a cidade onde o evento estava sendo realizado. Um exemplo disso é o professor Francesco D’Auria, da Universidade de Pisa, na Itália, que participou de várias edições



do Enfir. Sua presença era muito constante. É um convidado que sempre nos honrou com sua participação.

Embora a captação de patrocínios seja uma atividade centralizada na diretoria da Aben e no *chair* da Inac, os coordenadores participam desse processo?

Os coordenadores sempre participaram diretamente do processo de captação de fomento junto a órgãos como o CNPq, Capes e fundações estaduais de pesquisa. Isso porque essas instituições exigem que os pedidos sejam encaminhados por pesquisadores ou professores com doutorado. Sempre conseguimos apoio da Capes, do CNPq e de agências como Fapesp (SP), Faperj (RJ), Fapemig (MG) e outras fundações estaduais, dependendo do estado que está recebendo o evento. A Fapesp e a Fapemig apoiaram a Inac, mesmo quando foi realizado no Rio. Já a Facepe, de Pernambuco, apoiou quando o evento foi realizado em Recife.

É gratificante realizar um evento do porte da Inac? Colocando na balança, as gratificações superam os desafios?

Sim, as gratificações sempre superaram os desafios, especialmente quando se constata o impacto positivo que o congresso gera na comunidade nuclear, de uma forma geral, e mais especificamente na comunidade acadêmica. Há um grande retorno nesse sentido.

Você pode citar um dos maiores desafios enfrentados?

Sim, e foi muito recente. Em 2021, devido à pandemia, a Aben enfrentou o enorme desafio de realizar a Inac no formato virtual. Era algo inédito, completamente diferente do que estávamos habituados a fazer. Mas, felizmente, tudo deu certo e o congresso foi um enorme sucesso.

A Inac ocorre a cada dois anos, o que significa que deveria ter sido realizada em 2023. O que motivou o adiamento para 2024?

Quando começamos a organizar a Inac, em 2022, ainda havia um resquício de pandemia, o que gerou dúvidas quanto ao formato do evento: deveríamos repetir a experiência virtual, voltar ao formato presencial ou, ainda, promover um evento híbrido. Isso gerou muitos debates entre os organizadores e a diretoria da Aben. Consultamos pesquisadores, professores, alunos e profissionais da comunidade nuclear, que nos deram um retorno positivo quanto à forma presencial. Sentíamos que as pessoas tinham necessidade desse contato físico, estavam cansadas de ficar na frente de uma tela. O que reforçou a opção pelo presencial foi o fato de a Escola de Guerra Naval, gentilmente, ter cedido espaço para a realização do evento, em 2024.

Quando você assumiu a coordenação-geral da Inac?

Eu estava contribuindo com a coordenação-geral em questões específicas como, por exemplo, conhecer as instalações da Escola de Guerra Naval. Mas, nesse ínterim, o então *chair* precisou se desligar da Inac, devido a problemas par-

ticulares. Convidada pela diretoria da Aben, aceitei assumir a coordenação e comecei a trabalhar em setembro de 2023.

Como foi assumir um cargo de tanta responsabilidade?

Eu não esperava enfrentar uma dificuldade financeira tão grande como a desta edição. O motivo é que nossos tradicionais parceiros passaram a ter limitações para patrocinar eventos, devido às restrições impostas pela legislação de fomento. Muitos dos nossos patrocinadores são empresas públicas, que enfrentam essas restrições.

Isso se deve, também, ao aumento do número de eventos no setor?

Sim, hoje há vários eventos na área nuclear. Mas nenhum deles tem o porte da Inac. Além disso, a Inac tem uma particularidade, que é o seu perfil científico e acadêmico. Os demais eventos têm palestras, mas só a Inac oferece aos alunos a oportunidade de uma participação ativa, através da apresentação de trabalhos de mestrado, doutorado e iniciação científica. Esse é o grande diferencial da Inac.

Quantos participantes são esperados?

Até agora, temos mais de 700 inscrições e foram submetidos cerca de 530 trabalhos técnicos. É muita coisa.

Como a organização da Inac está conseguindo contornar essa dificuldade financeira?

Como uma parte dos recursos captados destina-se às despesas com convidados internacionais, algumas instituições estão financiando a vinda de seus palestrantes. O Idaho National Laboratory, dos Estados Unidos, a Universidade do Texas e a Agência Internacional de Energia Atômica, por exemplo, estão trazendo convidados por conta própria. A empresa chinesa CNNC, por sua vez, vai trazer especialistas renomados, como o engenheiro-chefe do seu projeto de reatores modulares (SMR). Isso demonstra o grande prestígio internacional da Inac.



Além do Rio de Janeiro, a Inac já foi realizada em Santos (SP), Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e São Paulo (SP). Essa rotatividade é uma vantagem?

Sim, a rotatividade é positiva, pois favorece intercâmbio entre instituições de diversos estados e a participação de pessoas de diferentes regiões.

Qual o tema da Inac 2024?

O tema *Nuclear Energy: Assuring Energy, Health and Food* engloba a visão da energia nuclear desempenhando um papel importante na busca de soluções sustentáveis, em termos de transição energética, de mudanças climáticas.

Nosso objetivo é comunicar à população a importância da energia nuclear nesse contexto de soluções sustentáveis, que é central nas discussões atuais. Além disso, a energia nuclear desempenha um papel fundamental na segurança energética e alimentar, garantindo um suprimento confiável de energia e contribuindo para o aumento da produção de alimentos.

Das várias aplicações da energia nuclear, qual tem mais visibilidade?

Sem dúvida alguma, são as aplicações na área da saúde. As pessoas se preocupam mais com a saúde, e a medicina nuclear tem um papel muito importante no diagnóstico e tratamento de doenças. É um apelo social muito grande. Nossa programação contemplará todas as aplicações sociais da energia nuclear. Serão realizadas mesas-redondas específicas abordando a medicina nuclear, a agricultura, o tratamento de rejeitos radioativos, além das discussões sobre a área de energia.

Qual o espaço destinado à apresentação de palestras e trabalhos técnicos?

Teremos três dias para a apresentação de trabalhos técnicos. Muitos trabalhos serão apresentados na forma de poster eletrônico (e-poster). Os trabalhos ficam disponíveis o tempo todo de forma virtual.

Dos inscritos até agora, a maioria é formada pela comunidade acadêmica?

Sim, grande parte dos inscritos são alunos de mestrado, doutorado e pós-doutorado, além de professores universitários. Mas também se inscreveram muitos pesquisadores da Marinha e dos institutos de pesquisa da Cnen e profissionais de empresas da área nuclear.

Você se recorda de algum momento especial na Inac em que o encontro de pessoas resultou em algum projeto importante?

Os encontros propiciados por eventos como a Inac sempre dão frutos. É muito comum os participantes fazerem contato com os palestrantes para troca de ideias ou um contato posterior. Muitas das pessoas que conheço hoje foram contatos que fiz na Inac. Por exemplo, havia profissionais da área de reatores cujos trabalhos eu já havia lido, mas com os quais ainda não tinha tido contato pessoal. O contato presencial é fundamental para uma interação mais profunda e troca de ideias, muitas vezes resultando em colaborações e até acordos concretos.

Qual a receptividade e apoio do governo para a Inac?

Estamos enfrentando desafios significativos, porém já conseguimos o apoio do CNPq e da Finep. Agora, aguardamos por respostas de outros projetos submetidos a diferentes organizações e empresas, visando garantir apoio financeiro adicional.

Qual a importância da Inac para a área nuclear?

A energia nuclear desempenha papel fundamental na busca de soluções sustentáveis, e a Inac continua sendo uma plataforma fundamental para isso. As pesquisas hoje em desenvolvimento no Brasil estão sendo apresentadas na Inac. A Inac é um momento essencial para impulsionar inovações, promover integração entre pesquisadores em prol do nosso futuro energético, de saúde e alimentar. Não por acaso escolhemos o tema *Nuclear Energy: Assuring Energy, Health and Food*.


ABACC
EM NÚMEROS
2023


76
Instalações sob salvaguardas


42
Amostras coletadas


4.515
Quantidade significativa de material nuclear


108
Inspeções realizadas


100
Inspetores


39
Câmeras instaladas

INAC 2024 mobilizará setor nuclear brasileiro e internacional

Bernardo Barata

Maior e mais importante evento do setor nuclear do Hemisfério Sul, a *International Nuclear Atlantic Conference - Inac 2024* (Conferência Internacional Nuclear do Atlântico) será realizada na cidade do Rio de Janeiro, de 6 a 10 de maio, com o tema “*Nuclear Energy: Assuring Energy, Health and Food*” (“*Energia Nuclear: Garantindo Energia, Saúde e Alimentação*”). A abertura e o evento ocorrerão, durante a semana, na Escola de Guerra Naval (EGN), no bairro da Urca, com o encerramento e algumas palestras no auditório da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), em Botafogo, também na Zona Sul do Rio.

Promovida pela Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben), a Conferência, que está em sua 11ª edição (a primeira ocorreu em 2002), congregará o XXIII Encontro de Física de Reatores e Termohidráulica (Enfir), o XVI Encontro de Aplicações Nucleares (Enan), o VIII Encontro da Indústria Nuclear (Enin), a *X Junior Poster Technical Sessions* (sessão de pôsteres para estudantes de graduação), a XI Expolnac (mostra de serviços e produtos das empresas do setor nuclear brasileiro e internacional) e o III Prêmio dos Embaixadores Nucleares da Aben.

Após a última edição, ocorrida em 2021 na modalidade virtual em decorrência da pandemia de Covid-19, o evento voltou a ser organizado presencialmente e já apresenta marcas expressivas, como os 530 trabalhos acadêmicos (resumos expandidos) submetidos, segundo a *chair* da Inac 2024, professora doutora Maria de Lourdes Moreira.

A Inac 2024 também reúne entre os coordenadores, apoiadores, patrocinadores e palestrantes, entidades como: Laboratório Nacional de Idaho (EUA); Universidade do Texas (EUA); Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA); Eletronuclear; Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen); China National Nuclear Corporation (CNNC); Financiadora de Estudos e Projetos (Finep); Rosatom - corporação estatal de energia nuclear da Rússia; Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (Amazul); EBSE - Engenharia de Soluções; Westinghouse; Sciofix - Instrumentação científica; Diamante Energia; Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (Abacc); Holtec International; Helgeson Scientific Services; Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A (ENBPar); GLP Laboratórios; Eckert & Ziegler; Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP); Grupo O Dia Comunicação; Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/Cnen); Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen/Cnen); Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj); Indústrias Nuclea-

res do Brasil (INB); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp); Marinha do Brasil; Universidade de São Paulo (USP); Petrobras; Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES); e Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN).

Entre os tópicos que serão debatidos na Inac 2024, estão o panorama atual de reatores nucleares na América Latina; materiais radioativos de ocorrência natural na exploração de petróleo; o futuro destino dos rejeitos radioativos; fundamentos e aplicações no campo da dosimetria; como as aplicações nucleares melhoram a vida; projetos em andamento e oportunidades e desafios futuros dos pequenos reatores modulares (SMRs); atividades da AIEA em apoio à pesquisa e aplicações com fontes de nêutrons; desafios para impulsionar o desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil; novas tendências de radiofármacos teranósticos aplicados em medicina nuclear; o mercado de urânio; radioterapia; adversidades e oportunidades na transição para energia sustentável - explorando tecnologias nucleares; o desafio da construção de Programa estatal para as atividades nucleares brasileiras; recursos humanos; fomentos para pesquisa & desenvolvimento para o País; o futuro de combustíveis nucleares; e a irradiação de alimentos.

Como ocorre tradicionalmente na Inac, os visitantes da Expolnac poderão conhecer os inúmeros benefícios decorrentes das aplicações pacíficas da energia nuclear, em campos como a geração de energia elétrica, a medicina, a agricultura, o meio ambiente, a indústria, a preservação de bens e acervos culturais e a propulsão naval e espacial. O local congregará especialistas, que explicarão os usos da tecnologia nuclear com o auxílio de vídeos, materiais, folhetos e maquetes.

A Inac deste ano será a primeira sem a importante participação da nossa querida amiga, pesquisadora e professora do Ipen/Cnen Margarida Mizue Hamada, que faleceu no dia 24 de junho de 2023, aos 68 anos. Grande entusiasta da área nuclear e com relevante trajetória na área docente, notadamente no Programa de Tecnologia Nuclear da Pós-Graduação do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, a doutora e química industrial exerceu, por diversas vezes, o cargo de *chair* do Enan, que sempre fez parte do escopo da Conferência, bem como ajudou a organizar edições da Inac e compôs diretorias da Aben.

Acesse o site da Inac 2024, efetue seu cadastro e conheça a programação do maior evento do setor nuclear do Hemisfério Sul: www.inac2024.com.br.

A Inac, vista por personalidades do setor nuclear

A Inac 2024 é uma conferência onde vai se debater a utilização e o emprego dos reatores nucleares, da energia nuclear e das atividades das indústrias nucleares. Acho que esse é um momento muito importante para o nosso País principalmente quando estamos tentando desenvolver a indústria nacional e fomentar a geração de emprego e o mundo discute as fontes de energia limpa. Eu diria que debatermos a utilização e o emprego dos reatores nucleares e, principalmente, os pequenos reatores (SMR), será de suma importância para que a sociedade possa conhecer o emprego da energia nuclear.

Carlos Seixas, presidente da Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (Nuclep)

Como diretor-presidente da Amazul, é com grande satisfação que reforço nosso compromisso e engajamento com o avanço e desenvolvimento da indústria nuclear no Brasil. A participação da Amazul na Inac 2024 é um reflexo claro desse comprometimento.

A Inac, promovida pela Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben), é um evento de extrema importância para o setor, reunindo especialistas, pesquisadores, autoridades governamentais e empresários para discutir temas fundamentais para o futuro da energia nuclear no país. Este ano, sob o tema “Energia Nuclear: garantindo energia, saúde e alimentação”, a conferência abordará questões cruciais para o desenvolvimento sustentável e a segurança energética.

É uma honra para a Amazul ter 18 trabalhos técnicos aprovados para apresentação nesta edição da Inac, demonstrando nosso compromisso com a excelência e a inovação em todas as áreas de atuação. Além disso, a presença da nossa empresa na Expolnac 2024 destaca nossa contribuição para impulsionar negócios e empreendimentos no setor nuclear, tanto a nível nacional quanto internacional.

Newton de Almeida Costa Neto, diretor-presidente da Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (Amazul)

Eu posso afirmar que a Inac é o evento mais significativo da área nuclear, no lado nosso do continente americano, porque não existe nenhum outro desse porte acontecendo, nem na América do Sul, nem na Central, nem na América do Norte. É um fórum que reúne participantes do mundo inteiro, de todas as instituições brasileiras que atuam na área nuclear ou em setores de aplicações nucleares. Tem uma organização que envolve cinco áreas de interesses distintos, áreas de aplicações nucleares, áreas de física de reatores, a própria área industrial também, a questão de formação de recursos humanos, tem ainda a exposição. Então, é um evento importantíssimo, muito significativo para a troca de informações sobre a situação da área nuclear, o que os países estão fazendo, o que o Brasil está fazendo, e também

para discutir ideias e propostas visando aperfeiçoar, cada vez mais, as nossas atividades do setor.

A Aben está de parabéns por organizar a Inac, que é muito importante para o setor nuclear brasileiro.

Francisco Rondinelli Jr., presidente da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen)

A Inac 2024 é a maior Conferência Internacional voltada à Energia Nuclear no Atlântico, a qual congrega os temas das aplicações da tecnologia nuclear, dos reatores nucleares de potência e de pesquisa e das indústrias especializadas na área nuclear. Trata-se do ecossistema propício à integração da pesquisa, do desenvolvimento, do ensino e da inovação, de forma colaborativa com as Universidades, os Institutos de Ciência e Tecnologia, a iniciativa privada, o setor público e a sociedade. As imprescindíveis sessões técnico-científicas somadas às excelentes participações dos alunos de graduação e a exposição das empresas tornam essa edição da Inac 2024 - Energia Nuclear: Garantindo Energia, Saúde e Alimentação, extraordinária.

Wilson Aparecido Parejo Calvo, diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Cnen

A Inac é extremamente relevante para o setor nuclear, principalmente nesse momento em que discutimos a expansão da atividade no Brasil. Trata-se de uma oportunidade para reunir empresas e entidades internacionais, promovendo a troca de experiências entre os participantes. A Eletronuclear está contente em patrocinar mais uma edição do evento. Essa é uma parceria de longa data e estamos animados para os cinco dias de conferência.

Raul Lycurgo Leite, diretor-presidente da Eletronuclear

Parabenizo os organizadores da International Nuclear Atlantic Conference, importante encontro onde serão discutidos diversos temas atuais sobre recursos nucleares visando benefícios à sociedade. Isto é particularmente importante agora, quando a necessidade de produzir energia livre de carbono é uma das principais agendas internacionais. Portanto, desejo um grande sucesso à conferência.

Sylvio Canuto, membro da Coordenação Geral de Ciências, Humanidades e Artes da Fapesp

A Inac é parceira da Capes em sua missão de promover e valorizar a formação e a ciência, motores para o desenvolvimento do País. O Brasil tem uma produção científica de grande relevância e deve transformar esse conhecimento em geração de alta tecnologia, emprego e renda.

Esse movimento precisa ser protagonizado, especialmente, pelos doutores formados nos nossos programas de pós-graduação. Neste aspecto, a Inac tem muito a oferecer uma vez que associa a academia ao setor produtivo não acadêmico, binômio essencial para melhorar o panorama socioeconômico do Brasil.

O avanço da ciência nacional é imprescindível em áreas estratégicas como, por exemplo, saúde, emergências climáti-

cas, produção de alimentos ou geração de energia limpa, agindo na redução das desigualdades, atendendo às necessidades da sociedade e projetando internacionalmente a pesquisa brasileira.

A realização da Inac e o papel da Aben são de suma importância para integrar especialistas, estreitar relações profissionais, estimular o intercâmbio e a cooperação científica, além de difundir a aplicação da energia nuclear como um instrumento de paz e avanço para a humanidade.

Denise Pires de Carvalho, presidente da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes)

A Inac 2024 é uma importante conferência do setor nuclear em nosso País, que reafirma o compromisso do Brasil com o desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias nucleares, bem como com a promoção da cooperação internacional nessa área.

A conferência oferece uma oportunidade para militares, especialistas, pesquisadores, acadêmicos e representantes da indústria nuclear se reunirem e compartilharem conhecimentos e experiências teóricas e práticas. A Inac 2024 contribui para a disseminação de informações atualizadas sobre os mais recentes avanços tecnológicos, inovações e pesquisas científicas no setor nuclear. Essa troca de conhe-

cimentos é fundamental para o desenvolvimento de soluções seguras, eficientes e sustentáveis que atendam às necessidades da sociedade.

A Conferência fortalece ainda mais o diálogo e a cooperação da Marinha do Brasil com atores do setor nuclear.

Almirante de esquadra Alexandre Rabello de Faria, diretor-geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha

Será uma grande honra participar da Inac 2024. Pretendo mostrar as enormes possibilidades que temos em relação às grandes reservas brasileiras de urânio, a sua securitização, a grande possibilidade do financiamento de um enorme Programa Nuclear baseado nessas reservas e com esses recursos. Quero entrar também no tema da irradiação de alimentos e sua importância para o agronegócio brasileiro, de sua maturidade e de seu avanço. Vou discutir também a questão da medicina nuclear no Brasil, que é tão importante e que está tão defasada ainda em relação à Argentina ou mesmo o Chile e de todos os avanços que precisamos fazer. Acho que será uma enorme oportunidade de discutirmos com maior relevância as várias áreas e possibilidades do sistema nuclear e das atividades nucleares no Brasil.

Julio Lopes, deputado federal (PP/RJ) e presidente da Frente Parlamentar Mista de Tecnologia e Atividades Nucleares (FPN)

Finep Mais Inovação

Apoio à inovação com
as melhores condições para a
nova indústria só na Finep.

Crédito: a partir de TR + 2% a.a.

Subvenção Econômica

Recursos não reembolsáveis para ICTs

Acompanhe
nossas novidades
pelo whatsapp:



finep.gov.br



30 anos de Brasil Nuclear

Vera Dantas

No início de 1994, um grupo de profissionais vinculados à Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben), tendo à frente Guilherme Camargo, Márcia Flores e Everton Carvalho decidiu criar um canal de comunicação da área nuclear com a sociedade, principalmente os “formadores de opinião” - técnicos, políticos, pesquisadores, estudantes, jornalistas, militares. O objetivo era esclarecer, para o público em geral, as grandes questões do tema e buscar desmistificar e desfazer os muitos preconceitos sobre a energia nuclear. Foi criado, então, o Programa de Aceitação Pública da Energia Nuclear (**Apub**), que traçou como estratégia de comunicação a contratação de uma assessoria de imprensa, para iniciar um diálogo com os meios de comunicação, a participação em debates e seminários, a realização de palestras em escolas e empresas, e a criação de um veículo que levasse aos leitores informações verdadeiras e objetivas sobre a energia nuclear. Surgiu a revista **Brasil Nuclear**.

Integravam o **Apub** representantes da Aben e profissionais de outras empresas e entidades como Nuclep, Cnen, Abdan, Nuclen e Furnas (as duas últimas deram origem à Eletronuclear).

Tendo como meta conquistar a opinião pública, que vinha sendo alvo de campanhas antinucleares, o **Apub** tinha como objetivo imediato a retomada das obras da usina nuclear Angra 2, que estavam paralisadas. O objetivo foi alcançado, pois no ano seguinte o governo federal liberou recursos para a conclusão de Angra 2, que entrou em operação em março de 2000. Outra frente de batalha do Programa foi barrar a campanha antinuclear movida pela Organização Não Governamental (ONG) Greenpeace visando impedir a construção da usina Angra 2 e desligar Angra 1.

As quatro primeiras edições da **Brasil Nuclear** tinham o formato *newsletter*, que foi substituído, a partir da quinta edição, em 1995, pela revista a cores. A nova versão recebeu elogios de fontes tão diversas quanto a Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro e a Escola Superior de Guerra. Aos poucos, a revista foi ganhando espaço e repercussão, destacando-se entre os veículos de divulgação científica e tecnológica. Hoje, a revista tem formato digital, com versões em português e inglês.

Pioneirismo

Ao longo de 30 anos, a **Brasil Nuclear** antecipou muitos temas que só mais tarde ganhariam destaque nos veículos de comunicação, como é o caso do aquecimento global e suas consequências para o meio ambiente e a população. Outro exemplo foram os alertas em várias edições da revista sobre a necessidade de investimento para atender à demanda de energia elétrica e evitar um colapso do sistema energético, o que acabou ocorrendo com o racionamento (“apagão”) de 2001.

O risco da escassez de água no mundo foi antecipado pela **Brasil Nuclear**. A edição 24, de 2002, dedicada ao tema, mostrava a contribuição da energia nuclear para a preservação dos recursos hídricos, através de soluções como reatores para dessalinização da água do mar e emprego da irradiação para despoluir rios e lagoas, a degradação de efluentes industriais e desinfecção de esgotos domésticos.

Outro exemplo do pioneirismo da **Brasil Nuclear** foi a divulgação dos benefícios da medicina nuclear para a saúde. Com matérias em várias edições, a revista acompanhou o crescimento da aplicação de radiofármacos no diagnóstico e tratamento



de diversas doenças, assim como a evolução de sua produção no país, através dos institutos de pesquisa da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen). Em 1988, a revista registrou o início da produção nacional do Fluor-18FDG, substância radioativa empregada no tomógrafo PET-CT, equipamento de imagem de altíssima precisão, empregado para pesquisar e diagnosticar doenças neurológicas, cardíacas e detectar metástases de cânceres.

Brasil Nuclear também acompanhou a evolução do mercado de irradiação de alimentos, um dos processos mais avançados para a preservação e aumento da durabilidade dos produtos agrícolas, contribuindo para o aumento da exportação. Outra aplicação da energia nuclear na agricultura divulgada pela revista é a radioentomologia, método que utiliza insetos modificados radioativamente para controle de praga com alta eficácia e sem danos ao meio ambiente. Ainda na área de agricultura, **Brasil Nuclear**

apresentou soluções nucleares para a melhoria do solo destinado ao cultivo da soja, como a técnica de esterilização de turfa por radiação. A turfa é um tipo de solo orgânico, muito fértil e usado intensivamente na produção de soja no Brasil. Sua esterilização é necessária para permitir a adaptação das bactérias captadoras de nitrogênio, gás que acelera o metabolismo da planta.

Uma das edições de maior repercussão da **Brasil Nuclear** foi a dedicada à participação das mulheres na energia nuclear (edição 17, de abril-setembro/1998). A revista, por sinal, teve importância histórica ao resgatar e comprovar o episódio da visita da cientista Marie Curie, descobridora da radioatividade, ao Brasil.

Mais que informar, **Brasil Nuclear** incentiva o desenvolvimento tecnológico nacional no setor, como no caso dos projetos do submarino nuclear, em desenvolvimento pela Marinha do Brasil, e o do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). No caso do RMB, além de publicar várias matérias, a revista participou de campanha para conscientizar as autoridades e a população sobre a importância do projeto, que visa acabar com a dependência externa de radioisótopos para tratamento médico, cujo fornecimento foi várias vezes interrompido por problemas nos reatores de pesquisa de outros países. Em 2010, o presidente da Aben, Edson Kuramoto, entrou em contato com o então vice-presidente da República, José Alencar, e apresentou o projeto do RMB. Alencar, que lutava contra um câncer e era usuário de procedimentos de medicina nuclear, “demonstrou sensibilidade ao entender a importância do reator para o país, possibilitando torná-lo autossuficiente na produção de radioisótopos, e foi muito ágil nos contatos com os ministros envolvidos”, lembra Kuramoto. “Posteriormente, enviou carta especificando as ações que tinha tomado para ajudar na liberação”.



Segundo Kuramoto, durante esses 30 anos, a **Brasil Nuclear** teve um papel fundamental na ampliação do conhecimento sobre a energia nuclear e foi muito importante para a retomada das obras das usinas Angra 2 e Angra 3. Já o presidente da Cnen, Francisco Rondinelli Jr., parabeniza a revista e seus profissionais pelo trabalho conduzido ao longo de todos esses anos. “A **Brasil Nuclear** presta um serviço inestimável, que é levar informação de qualidade e esclarecimentos à sociedade brasileira sobre os benefícios das atividades e dos projetos do setor nuclear”, afirma.



China National Nuclear Corporation (CNNC) is a leading nuclear industry enterprise and has established a complete industrial system of nuclear science and technology, serving as one of the major driving forces of nuclear power and construction in China. CNNC engages in the entire nuclear energy supply chain, encompassing various activities from uranium extraction and enrichment to plant construction, operation, decommissioning and waste management. CNNC's international footprint touches all corners of the globe.

It embraces in-depth cooperation with global partners in all areas of the nuclear industry, with a long commitment to working with partners worldwide to promote sustainable development.



Descarbonização e Sustentabilidade do Ciclo de Vida da Energia Nuclear

Leonam dos Santos Guimarães

A energia nuclear tem sido amplamente reconhecida como uma fonte de baixo carbono, principalmente quando comparada às fontes tradicionais de energia baseadas em combustíveis fósseis. Uma de suas principais vantagens é que, durante a operação, ela não emite dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa (GEE) e gases poluentes para o meio ambiente. Além disso, tem a vantagem de, diferentemente de fontes renováveis intermitentes como solar e eólica, poder fornecer uma grande quantidade de energia de base (energia constante) de forma contínua, o que é crucial para atender a demanda energética de grandes áreas urbanas e industriais. Por isso, a energia nuclear é uma componente crucial na transição para um sistema energético global de baixo carbono.

Embora as emissões diretas sejam muito baixas, no ciclo de vida completo da energia nuclear há emissões indiretas nas etapas de produção de combustível, construção de usinas, operação, descomissionamento e gestão de resíduos. Embora estudos mostrem que, mesmo considerando essas etapas, as emissões totais são ainda consideravelmente menores do que as das fontes de energia fóssil, se faz necessária a implementação de estratégias para reduzir ainda mais as emissões indiretas em todo o seu ciclo de vida.

Comparação com outras formas de energia

As emissões de GEE associadas à energia nuclear são predominantemente indiretas, originadas na construção e descomissionamento da usina, na mineração e processamento de urânio e no transporte de combustível. Estudos indicam que elas são geralmente entre 10 e 30 gramas de CO_2 -equivalente por quilowatt-hora ($\text{g CO}_2\text{e/kWh}$). Comparando-as às fontes de energia que utilizam combustíveis fósseis e às renováveis, teremos:

Carvão: é uma das gerações das mais intensivas em carbono, com emissões variando tipicamente de 800 a 1.000 $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$;

Gás natural: é menos intensivo em carbono do que o carvão, mas ainda emite cerca de 400 a 500 $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$;

Energia hidrelétrica: geralmente apresenta baixas emissões, na faixa de 1 a 20 $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$. No entanto, pode haver

emissões significativas de metano em alguns casos, especialmente em regiões tropicais;

Energia Eólica: As emissões associadas à energia eólica são também baixas, em torno de 4 a 12 $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$;

Energia Solar Fotovoltaica: As emissões do ciclo de vida da energia solar variam entre 20 e 50 $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$, dependendo da tecnologia e da localização;

Biomassa: As emissões podem variar amplamente dependendo da fonte do material e da tecnologia de conversão, mas geralmente estão na faixa de 100 a 400 $\text{g CO}_2\text{e/kWh}$.

Em termos de emissões de GEE ao longo do ciclo de vida, a emissão produzida pela energia nuclear é significativamente menor do que as das fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis, sendo muitas vezes similar ou ligeiramente superior à eólica, mas geralmente inferior à solar e significativamente inferior à biomassa.

Ciclo de vida de uma usina nuclear

O ciclo de vida da energia nuclear abrange várias etapas, desde a extração de matérias-primas até a gestão de resíduos e descomissionamento das usinas. Cada uma dessas etapas tem implicações ambientais e de segurança, e é acompanhada por diferentes graus de emissões de carbono e desafios de gestão. A análise do ciclo de vida da energia nuclear considera todos esses aspectos para avaliar seu impacto ambiental total.

O urânio é minerado através de mineração a céu aberto ou subterrânea, dependendo da profundidade do depósito de urânio. O minério de urânio é triturado e processado para extrair urânio na forma de um concentrado em pó, conhecido como yellow cake. Ele é então refinado e convertido em hexafluoreto de urânio (UF_6), um sal que se gaseifica a baixa temperatura, e que é necessário para o processo de enriquecimento.

O urânio natural contém cerca de 0,7% de urânio-235 (U-235). O enriquecimento aumenta essa concentração para cerca de 3-5% para uso em reatores nucleares de grande porte atuais ou para até 20% para uso em reatores avançados de pequeno porte.

Posteriormente o UF_6 é reconvertido em dióxido de urânio (UO_2), que é então prensado, sinterizado e retificado em

pastilhas cerâmicas. As pastilhas são montadas em varetas de combustível, que são agrupadas para formar conjuntos mecânicos chamados de elemento combustível nuclear.

Na etapa de operação, os elementos combustíveis são carregados no núcleo de reatores nucleares para gerar energia através da fissão nuclear, sem emissões diretas. Durante a operação, o calor gerado pela fissão nuclear é usado para produzir vapor, que, por sua vez, gera eletricidade. A geração de energia pelos reatores gera resíduos de baixo e médio nível de radioatividade, que incluem itens contaminados utilizados na operação e manutenção da usina. Eles são tratados e armazenados em instalações seguras.

O combustível nuclear usado descarregado do núcleo do reator contém cerca de 5 a 10% de resíduos de alto nível de radioatividade. Os demais 90-95% são compostos por urânio, plutônio e materiais metálicos que podem ser reprocessados e reciclados após período de armazenamento a longo prazo, constituindo o que se chama “ciclo do combustível fechado”. Entretanto, pode-se optar pelo ciclo de combustível aberto, que requer disposição final dos elementos usados em formações geológicas seguras.

Após o fim de sua vida útil, que pode chegar a 80 anos, a usina é retirada de serviço e descomissionada. Isso inclui a remoção de combustível nuclear usado remanescente, a descontaminação de equipamentos e estruturas e a desmontagem e demolição da usina. Após o descomissionamento, o local é limpo e restaurado, na medida do possível retornando ao seu estado ambiental natural ou preparado para um novo uso.

Mineração e beneficiamento de urânio

Essas etapas são intensivas em energia e têm uma pegada de carbono considerável, principalmente devido ao uso de maquinário pesado e processos intensivos em energia. Teríamos, nesse caso, as seguintes possibilidades de melhoria:

- Implementação de tecnologias de eficiência energética no maquinário de mineração;
- Uso de fontes de energia renovável, como hidrelétrica, solar ou eólica, ou mesmo a própria nuclear, para operações de mineração;

- Adoção de programas de recuperação ambiental e reflorestamento nas áreas de mineração.

O minério extraído é beneficiado para remover impurezas e aumentar a concentração de urânio. Isso geralmente envolve uma série de etapas químicas e físicas, que podem ser intensivas em energia. Possibilidades de melhoria:

- Implementação de tecnologias que otimizam o uso de energia nos processos de moagem, lixiviação e purificação;
- Desenvolvimento de métodos para reciclar e reutilizar resíduos e subprodutos do processamento do urânio;
- Explorar inovações tecnológicas no beneficiamento do urânio que possam reduzir a pegada de carbono;
- Métodos de separação mais eficientes que requerem menos energia;
- Exploração do uso de processos biológicos para a extração e purificação do urânio, que podem oferecer alternativas mais sustentáveis.

Conversão de urânio

A conversão do concentrado de urânio (*yellow cake*), em hexafluoreto de urânio (UF_6) é um processo intensivo em energia e utiliza produtos químicos perigosos. Propostas de melhoria:

- Implementação de controles de processo mais sofisticados para maximizar a eficiência e minimizar o consumo de químicos;
- Integração de fontes de energia renovável, como solar e eólica, ou mesmo nuclear nas instalações de conversão para suprir parte ou toda a energia necessária ao processo;
- Pesquisa e desenvolvimento de métodos alternativos de conversão mais limpos que reduzam o uso de produtos químicos perigosos e emissões e desenvolvimento de catalisadores que possam efetuar a conversão em temperaturas mais baixas, reduzindo assim o consumo de energia;
- Aprimoramento dos métodos de tratamento de efluentes para minimizar o impacto ambiental e implementação de processos para reciclar subprodutos,

A implementação dessas estratégias de descarbonização tem o potencial de reforçar a posição da energia nuclear como uma fonte de baixo carbono, opção incontornável na luta contra as mudanças climáticas

como ácido fluorídrico, reduzindo a necessidade de novos insumos e minimizando resíduos;

- Instalação de sistemas avançados de monitoramento de emissões;
- Investimento contínuo em pesquisa para melhorar constantemente os processos de conversão em termos de eficiência e impacto ambiental.

Enriquecimento de urânio

Os métodos convencionais de enriquecimento são intensivos em energia, contribuindo significativamente para a pegada de carbono da energia nuclear. O método mais usado atualmente é a ultracentrifugação, que se baseia em centrífugas de alta velocidade de rotação para separar os isótopos de urânio. Possibilidades de melhoria:

- Otimização de centrífugas, desenvolvendo máquinas mais eficientes, capazes de alcançar o mesmo nível de trabalho separativo com menor consumo de energia. Implementação de sistemas de controle de processo automatizados e otimizados para reduzir o desperdício de energia;
- Integração de fontes de energia renováveis ou nucleares para fornecer energia elétrica às instalações de enriquecimento;
- Exploração do enriquecimento de urânio assistido por laser, que tem potencial para ser mais eficiente e menos intensivo em energia, e pesquisa em materiais novos e mais eficientes para uso em centrífugas e em processos de separação;
- Implementação de técnicas para reciclar o urânio empobrecido, subproduto do enriquecimento, reduzindo a necessidade de enriquecimento adicional. Melhoria nos processos de manipulação do UF₆ para minimizar perdas e vazamentos;
- Implementação de sistemas avançados de monitoramento de emissões para garantir operações com baixo impacto ambiental.

Reconversão de urânio

A reconversão do urânio é o processo que transforma o hexafluoreto de urânio (UF₆) de volta em óxido de urânio (UO₂) para produzir o pó que será utilizado na fabricação de pastilhas de combustível nuclear. Este processo envolve altas temperaturas e a manipulação de gases reativos. Propostas de melhoria:

- Melhoria na eficiência dos fornos utilizados na calcinação e na reação química, reduzindo o consumo de energia e implementação de sistemas de recuperação de calor para aproveitar o calor residual em outras etapas do processo;
- Pesquisa e desenvolvimento de catalisadores avançados que possam realizar a conversão em temperaturas

mais baixas, reduzindo o consumo de energia. Investigação de métodos alternativos de reconversão mais eficientes e que gerem menos resíduos;

- Uso de Fontes de Energia Limpas;
- Aprimoramento dos sistemas de tratamento de efluentes para reduzir a liberação de produtos químicos nocivos no ambiente, e implementação de processos para recuperar e reciclar materiais e produtos químicos usados no processo;
- Instalação de sistemas avançados de monitoramento para garantir operações com baixo impacto ambiental.

Produção de pastilhas de óxido de urânio

Nessa etapa, o pó de dióxido de urânio (UO₂) é transformado em pastilhas que vão compor os elementos combustíveis utilizados nos reatores nucleares. Possibilidades de melhoria:

- Utilização de fornos de sinterização de última geração, mais eficientes energeticamente, para reduzir o consumo de energia e implementação de sistemas de recuperação de calor para utilizar o calor residual em outras operações, diminuindo a demanda por energia adicional;
- Desenvolvimento e uso de máquinas de prensagem mais eficientes, que requerem menos energia para operar, e otimização da granulometria do pó de UO₂ para melhorar a eficiência do processo e reduzir o desperdício;
- Uso de Fontes de Energia Limpa;
- Pesquisa em projeto de pastilhas que otimizem a eficiência do combustível e reduzam a necessidade de material e energia durante a produção;
- Implementação de processos para recuperar e reutilizar pó de UO₂ desperdiçado durante a produção e otimização dos processos para minimizar a geração de resíduos sólidos e líquidos;
- Instalação de sistemas avançados de monitoramento para garantir operações com baixo impacto ambiental e realização de avaliações periódicas para identificar e mitigar impactos ambientais em todas as etapas do processo.

Fabricação e montagem de elementos combustíveis

No processo convencional de fabricação e montagem de elementos combustíveis, as pastilhas de UO₂ são carregadas em tubos em liga de zircônio, conhecidos como varetas de combustível. Após o carregamento, as varetas são seladas e montadas em conjuntos chamados elementos combustíveis, de acordo com as especificações do reator. Possibilidades de melhoria:

- Implementação de sistemas de automação mais eficientes, que reduzam o consumo de energia durante

a fabricação e montagem. Melhoria nos processos de selagem para reduzir o tempo e a energia necessária;

- Implementação de processos para recuperar e reutilizar materiais, como zircônio e UO_2 , que sobram durante a fabricação. Redução do desperdício de material através de técnicas de fabricação de precisão;
- Uso de Fontes de Energia Limpa;
- Pesquisa e desenvolvimento de projetos de varetas e elementos combustíveis que maximizem a eficiência do combustível;
- Instalação de sistemas de monitoramento de emissões para garantir operações com baixo impacto ambiental.

Transporte e carregamento de combustíveis no reator

Os elementos combustíveis são transportados da fábrica até a usina nuclear, geralmente por caminhão e trem e, em alguns casos, por via marítima. Possibilidades de melhoria:

- Uso de veículos de transporte com emissões reduzidas, como caminhões elétricos ou híbridos, para reduzir a pegada de carbono do transporte terrestre e planejamento logístico eficiente para minimizar a distância percorrida e maximizar a carga por viagem, reduzindo o número total de viagens necessárias;
- Implementação de sistemas de manuseio e carregamento de combustível mais eficientes em termos de energia nas usinas nucleares e uso de sistemas automatizados para o carregamento do combustível, aumentando a eficiência e reduzindo o consumo de energia;
- Uso de Fontes de Energia Limpa;
- Implementação de sistemas de monitoramento para rastrear e otimizar as emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte de combustível;
- Investimento em projetos de compensação de carbono para neutralizar as emissões inevitáveis;
- Desenvolvimento de embalagens para transporte de combustível que sejam mais leves, recicláveis e/ou

feitas de materiais sustentáveis e continuidade na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para garantir a segurança máxima durante o transporte, evitando acidentes que possam causar danos ambientais.

Operação do reator

A geração de energia no núcleo de um reator nuclear é o coração do processo de produção de energia nuclear, onde ocorre a fissão nuclear do urânio, liberando uma grande quantidade de calor. O calor gerado é transferido para um circuito de água ou outro fluido refrigerante, que então gera vapor que é usado para acionar turbinas, que, por sua vez, acionam geradores para produzir eletricidade. Possibilidades de melhoria:

- Investimento em reatores de nova geração como reatores modulares de pequeno porte SMR ou reatores de quarta geração que são mais eficientes, mais seguros e têm menor impacto ambiental. Desenvolvimento de combustíveis nucleares avançados que possam operar em temperaturas mais altas e com maior eficiência termodinâmica;
- Utilização de sistemas de monitoramento e controle de última geração para otimizar a operação do reator, aumentando a eficiência e reduzindo o desperdício de energia;
- Implementação de técnicas de manutenção preditiva para garantir a operação eficiente e prolongar a vida útil do reator;
- Investimento em pesquisas sobre fusão nuclear, que tem o potencial de ser uma fonte de energia ainda mais limpa e abundante.
- Desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de combustível nuclear, reduzindo a necessidade de mineração e processamento de urânio novo;
- Exploração de sistemas híbridos que combinam energia nuclear com fontes de energia renováveis, como solar e eólica, para otimizar a produção de energia e reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

 **ROSATOM**

AKADEMIK LOMONOSOV
FNPP
#1 FLOATING NUCLEAR POWER PLANT

THROUGHOUT THE WHOLE
FNPP LIFECYCLE, THE SAFETY
OF FNPP IS PROVIDED BY:

- Design of the vessel and the reactor
- Special materials & components
- Reliable technologies
- Quality control



Construção da usina nuclear

A construção de uma usina nuclear é um processo complexo e extenso, que envolve a implementação de diversas infraestruturas e sistemas tecnológicos avançados.

As emissões indiretas durante a construção de usinas nucleares são uma parte importante do perfil de emissões do ciclo de vida da energia nuclear. Essas emissões não vêm diretamente da produção de energia nuclear, mas sim das atividades relacionadas à construção da usina. Principais fatores contribuintes:

- **Produção de Aço e Concreto:** Aço e concreto são usados extensivamente na construção de usinas nucleares. A produção desses materiais é intensiva em energia e muitas vezes depende de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis, resultando em emissões significativas de CO₂. O transporte desses materiais pesados geralmente é feito por caminhões, trens ou navios, que emitem gases de efeito estufa.
- **Construção e Infraestrutura do Local:** Equipamentos de construção, como escavadeiras, guindastes e caminhões, normalmente funcionam com diesel, contribuindo para as emissões de carbono. A energia usada no canteiro de obras, seja para maquinário, iluminação ou instalações temporárias, pode ser proveniente de fontes de energia não renováveis.
- **Fabricação e Transporte de Componentes Nucleares:** A fabricação de componentes especializados para reatores nucleares, como vasos de pressão, geradores de vapor e sistemas de controle, também é intensiva em energia. Muitos desses componentes são produzidos em locais especializados e precisam ser transportados longas distâncias até o local da usina.
- **Atividades Indiretas Associadas:** Construção de estradas, pontes e outras infraestruturas de apoio ao redor da usina. As atividades de fornecedores e prestadores de serviços envolvidos na construção também contribuem para as emissões indiretas.

Ao considerar esses fatores, fica claro que, embora as usinas nucleares não emitam CO₂ durante a operação, as emissões indiretas associadas à sua construção são significativas e devem ser consideradas na avaliação da pegada de carbono total da energia nuclear. Implementar estratégias de mitigação pode ajudar a reduzir essas emissões. Possibilidades de melhoria:

- Utilização de materiais de construção com menor pegada de carbono, como aço reciclado e concreto com aditivos sustentáveis. Otimização do uso de materiais para minimizar o desperdício;
- Uso de equipamentos de construção que operam com combustíveis alternativos ou tecnologia elétrica para reduzir as emissões durante a construção. Implementa-

ção de fontes de energia renováveis, como painéis solares temporários, para fornecer energia às operações de construção;

- Utilização de técnicas de planejamento integrado para otimizar a logística e reduzir o tempo de construção. Adoção de componentes modulares e pré-fabricados que podem ser construídos off-site e montados no local, reduzindo o tempo e os recursos necessários para a construção;
- Emprego de tecnologias avançadas, como robótica e automação, para aumentar a eficiência e reduzir o consumo de energia na construção. Implementação de práticas de construção sustentável, incluindo gestão eficiente de água e redução de poluição;
- Monitoramento contínuo do impacto ambiental durante a construção e implementação de medidas para mitigar os impactos negativos. Investimento em projetos de compensação de carbono para neutralizar as emissões geradas durante a construção.

Descomissionamento e desmantelamento

O processo de descomissionamento e desmantelamento, que ocorre ao final da vida útil da instalação, inclui a avaliação de riscos, planejamento de segurança e preparação logística. Segue-se então a desativação e limpeza, com a remoção de combustível nuclear usado e descontaminação de sistemas e estruturas. A seguir, vem o desmantelamento com a demolição física das estruturas da usina, incluindo o edifício do reator e instalações auxiliares. Ao longo dessas etapas é necessária a gestão de resíduos radioativos e não radioativos, com sua classificação, tratamento e disposição segura. Teríamos nesse caso as seguintes propostas de melhoria:

- Utilização de tecnologias avançadas para a descontaminação de estruturas e equipamentos, reduzindo o volume de resíduos radioativos. Emprego de robôs e sistemas automatizados para realizar tarefas perigosas ou intensivas em energia, melhorando a eficiência e segurança;
- Recuperação e reciclagem de materiais não contaminados, como metais e concretos, para reduzir a quantidade de resíduos gerados. Adoção de estratégias para minimizar a geração de resíduos durante o descomissionamento e desmantelamento;
- Seleção de equipamentos e maquinários de alta eficiência energética para operações de desmantelamento. Implementação de fontes de energia limpa temporárias para suprir as necessidades energéticas das operações no local;
- Monitoramento contínuo do impacto ambiental durante o descomissionamento e desmantelamento. Realização de avaliações de impacto ambiental para identificar e mitigar efeitos negativos no meio ambiente;

- Desenvolvimento de métodos avançados para o armazenamento e disposição segura de resíduos radioativos. Investimento em pesquisas sobre transmutação de resíduos nucleares para reduzir a radioatividade e o volume de resíduos.

Gestão de rejeitos radioativos de baixa e média atividade

A gestão de rejeitos radioativos de baixa e média atividades inclui tratamento e condicionamento com a redução de volume, imobilização e encapsulamento de rejeitos para garantir a segurança no manuseio, transporte e armazenamento. Segue-se o armazenamento inicial dos rejeitos em instalações seguras até que a radioatividade diminua significativamente e a disposição final que geralmente envolve colocação dos rejeitos em instalações subterrâneas ou na superfície especialmente projetadas para esse fim. Possibilidades de melhoria:

- Implementação de técnicas para reduzir a quantidade de resíduos gerados durante a operação da usina, minimizando-os na fonte. Desenvolvimento de métodos para reciclar materiais dos rejeitos, reduzindo o volume de resíduos que precisam ser tratados e armazenados;
- Utilização de tecnologias de tratamento de resíduos que sejam energeticamente eficientes e projetar sistemas de armazenamento inicial e intermediário que minimizem o uso de energia;
- Implementação de fontes de energia renováveis, como solar e eólica, e mesmo nuclear, para fornecer energia elétrica para as instalações de tratamento e armazenamento de resíduos;
- Melhorias nas instalações de disposição pelo desenvolvimento de novas tecnologias e materiais para aperfeiçoar a segurança e eficiência das instalações de disposição final;
- Investimento em pesquisa sobre técnicas avançadas de disposição em instalações subterrâneas que ofereçam maior segurança e estabilidade a longo prazo;
- Implementação de sistemas de monitoramento de longo prazo para garantir a segurança ambiental e a eficácia da disposição de resíduos e realização regular de avaliações de impacto ambiental para identificar e mitigar efeitos negativos no meio ambiente.

Gestão a longo prazo e a disposição final de combustível usado

A gestão a longo prazo e a disposição final de elementos combustíveis usados (ECUs) de uma usina nuclear representam um desafio significativo, dada a alta radioatividade e longa vida dos resíduos. O objetivo é armazenar e dispor desses materiais de maneira segura, evitando impactos ambientais e riscos à saúde humana.

A gestão de elementos combustíveis usados envolve armazenamento inicial e intermediário, seguidos da disposição final. Após serem retirados do reator, os ECUs são geralmente armazenados inicialmente em piscinas de resfriamento na própria usina. Passado um tempo razoável para resfriamento em piscina, os ECUs são transferidos para contêineres de armazenamento a seco, que são dispostos em instalações de armazenagem intermediária. Esses contêineres possuem sistemas de resfriamento passivo que não requerem energia ativa para manter os ECUs em temperatura segura. Possibilidades de melhoria:

- Implementação de fontes de energia renováveis ou nuclear para fornecer energia elétrica às instalações de armazenamento intermediário e às operações de monitoramento;
- Investimento em pesquisa para aprimorar as tecnologias de armazenamento geológico profundo, aumentando a segurança e eficiência. Escolha de locais para disposição final baseada em critérios de sustentabilidade e mínimo impacto ambiental, propiciando aceitação pública;
- Desenvolvimento de tecnologias de reprocessamento que permitam a recuperação de materiais úteis dos ECUs, reduzindo o volume de resíduos. Pesquisa em ciclos de combustível nuclear fechados, onde os materiais reprocessados são reutilizados como combustível;
- Implementação de sistemas avançados para monitorar continuamente e a longo prazo a integridade dos ECUs e o ambiente ao redor das instalações de armazenamento e disposição;
- Realização regular de avaliações de impacto para identificar e mitigar efeitos negativos no meio ambiente.

Conclusão

A implementação dessas estratégias de descarbonização tem o potencial de tornar a energia nuclear não apenas mais sustentável, mas também de reforçar sua posição como uma fonte de energia de baixo carbono, opção incontornável na luta contra as mudanças climáticas. Ao minimizar as emissões de GEE e maximizar a eficiência e segurança, a energia nuclear pode desempenhar um papel crucial na transição global para um futuro energético mais limpo e sustentável.

A implementação de tecnologias mais limpas, a eficiência energética e a consideração cuidadosa do ciclo de vida completo são passos fundamentais para alcançar esse objetivo. A energia nuclear pode desempenhar um papel significativo na redução das emissões de carbono e no fornecimento de energia confiável e limpa para o futuro.

Explorando o Cenário atual da Medicina Nuclear no Brasil

Rafael Willain Lopes

A medicina nuclear é uma especialidade que corresponde a uma área do conhecimento relacionada tanto à aquisição de imagens de processos fisiológicos e fisiopatológicos como ao tratamento de doenças, tendo papel importante no manejo clínico em vários casos. No Brasil, existem pouco mais de mil médicos nucleares, conforme a demografia mais recente, quase metade deles titulados e membros da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear (SBMN) – que completará 63 anos no dia 14 de setembro próximo. O campo experimentou avanços e desafios, refletindo o cenário de saúde e as capacidades tecnológicas do país. Vamos nos aprofundar no status atual no Brasil.

Avanços Tecnológicos

Nos últimos 15 anos, o Brasil fez avanços notáveis na tecnologia de medicina nuclear. A aquisição de equipamentos de imagem de última geração, como tomografia computadorizada por emissão de fóton único (Spect), câmaras ultrarrápidas e com semicondutores de cádmio-zinco-terlúrio (CZT) e equipamentos de tomografia por emissão de pósitrons (PET) acoplados a tomografia (CT), os PET-CTs - muitos já dispoem de diversas novas tecnologias como novos cristais, *time of flight*, algoritmos de reconstrução, detectores maiores e/ou detectores digitais, até inteligência artificial embarcada -, melhorou, e muito, as capacidades de diagnóstico de instituições médicas em todo o país. Além disso, nos últimos 10 anos, serviços de medicina nuclear que dispõem tanto de Spect como de PET-CT estão presentes na maioria das capitais brasileiras e em muitas de suas grandes cidades. Hoje, existem mais de 180 equipamentos de PET-CT no Brasil, sendo que em 2006 havia somente

cinco. Essas modalidades avançadas de imagem permitem a visualização precisa de processos fisiológicos dentro do corpo, auxiliando na detecção e caracterização de doenças que variam de câncer a distúrbios neurológicos.

Concomitantemente, o desenvolvimento de radiofármacos - drogas radioativas usadas em procedimentos de medicina nuclear - expandiu o escopo das opções diagnósticas e terapêuticas disponíveis para os profissionais de saúde no Brasil. Através da colaboração com o Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares (Ipen), com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), além de empresas farmacêuticas nacionais e internacionais, os pesquisadores brasileiros obtiveram acesso a uma gama diversificada de radiotraçadores, o que permite um diagnóstico mais preciso e estratégias de tratamento personalizadas.

É bem verdade que o Brasil ainda sofre com a dependência externa da principal matéria prima para execução de exames de medicina nuclear convencional (Spect), o molibdênio, que é incorporado nos geradores de molibdênio-tecnécio, produzidos atualmente em território nacional exclusivamente pelo Ipen e distribuídos para os mais de 400 serviços de medicina nuclear espalhados por todo o Brasil semanalmente. Isso gera um custo da ordem de 15 a 20 milhões de dólares em importações desse insumo, além de todas as dificuldades relacionadas a essa cadeia logística. Outros isótopos importantes para o tratamento de diversos tipos de câncer também são importados semanalmente, como é o caso do Iodo-131 e do Lutécio-177, em quantidades variáveis e crescentes.

Aplicações Clínicas

A medicina nuclear desempenha um papel crucial no diagnóstico e manejo de várias condições prevalentes no

Protect What's Next™

Advancing Radiation Safety.

As a global leader in radiation safety, we build solutions that fundamentally change what's possible in science, industry and medicine.



MIRION
TECHNOLOGIES

Sciofix



Brasil. A imagem e a terapia do câncer representam áreas significativas de aplicação, com técnicas de medicina nuclear fornecendo *insights* inestimáveis sobre biologia tumoral, estadiamento e resposta ao tratamento. Além disso, a imagem cardíaca usando modalidades de medicina nuclear permite a avaliação da perfusão, função e viabilidade do miocárdio, auxiliando no diagnóstico e manejo de doenças cardiovasculares, que representam um fardo substancial para o sistema de saúde do Brasil.

Outrossim, as técnicas de medicina nuclear estão sendo cada vez mais empregadas em neurologia, endocrinologia e reumatologia, oferecendo meios não invasivos de avaliar a função orgânica e identificar anormalidades patológicas. Desde a detecção de distúrbios neurodegenerativos até a avaliação da função tireoidiana e o diagnóstico de doenças inflamatórias das articulações, a especialidade contribui para o atendimento abrangente ao paciente em diversas especialidades médicas.

Desafios e Oportunidades

Apesar do progresso feito no Brasil, vários desafios persistem, dificultando a adoção generalizada e a acessibilidade de tecnologias e serviços avançados. Infraestrutura e recursos limitados em certas regiões representam barreiras ao estabelecimento de instalações de medicina nuclear, particularmente em áreas remotas onde as disparidades na saúde são predominantes. Além disso, o alto custo associado à aquisição e manutenção de equipamentos de imagem sofisticados e toda infraestrutura e logísticas relacionadas à atividade apresentam desafios financeiros para as instituições de saúde e impedem a expansão dos serviços em todo o país. Questões regulatórias e de infraestrutura, tanto operacional como de transporte, em um país continental com o Brasil, aliadas a altos custos advindos destas dificuldades, ameaçam a sobrevivência e o futuro promissor da especialidade no Brasil.

Por outro lado, a escassez de profissionais, incluindo médicos nucleares, biomédicos, radiofarmacêuticos, físicos médicos e tecnólogos com treinamento específico em medicina nuclear, representam um impedimento significativo para o crescimento do campo. Esforços para aprimorar os progra-

mas de educação e treinamento são essenciais para abordar essa lacuna de força de trabalho e garantir a disponibilidade de profissionais qualificados capazes de fornecer cuidados de alta qualidade aos pacientes em todo o território nacional.

No entanto, em meio a esses desafios, há oportunidades de colaboração e inovação dentro da comunidade de medicina nuclear do Brasil. Parcerias entre academia, agências governamentais, profissionais de saúde e partes interessadas do setor podem facilitar a troca de conhecimento, recursos e experiência, impulsionando avanços em pesquisa, educação e prática clínica. Além disso, iniciativas destinadas a promover a conscientização pública e a compreensão da atividade nuclear podem ajudar a aliviar equívocos e promover a confiança nessas tecnologias médicas avançadas.

Direções Futuras

Olhando para o futuro, temos um imenso potencial de crescimento e desenvolvimento. Ao alavancar inovações tecnológicas, promover colaborações interdisciplinares e investir em educação e infraestrutura, o Brasil pode aprimorar ainda mais suas capacidades na área e melhorar os resultados da saúde para sua população. Abraçar tendências emergentes, como a teranóstica - a integração de imagens de diagnóstico e terapia direcionada - pode revolucionar o gerenciamento de doenças e inaugurar uma nova era da medicina de precisão no Brasil.

Em conclusão, a medicina nuclear ocupa uma posição importante no cenário da saúde do Brasil, oferecendo soluções avançadas de diagnóstico e terapêutica para uma ampla gama de condições médicas. Embora existam desafios, colaborações e parcerias institucionais, esforços concentrados visando superar barreiras e capitalizar as oportunidades podem impulsionar a especialidade adiante, rumo a um futuro cintilante, buscando garantir acesso equitativo a serviços de medicina nuclear de qualidade para todos os brasileiros. Com investimento e compromisso contínuos, o Brasil está pronto para emergir como líder em inovação e excelência em medicina nuclear.

Presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear



**Complexo
Termelétrico
Jorge
Lacerda**



**Transição
Energética Justa**
é sustentabilidade,
é desenvolvimento,
é social!

Aplicações da Energia Nuclear na Agricultura e Irradiação de Alimentos no Brasil

Anna Lucia C. H. Villavicencio¹
Valter Arthur²

O aumento das necessidades mundiais de alimentos e os problemas advindos da demanda de estruturas adequadas para sua armazenagem e processamento nos obrigam a buscar novos métodos de preservação. Nesta época de grandes transformações, a aplicação da radiação ionizante, com o propósito de promover a segurança do alimento, preservando, desinfestando e reduzindo cargas microbianas entre outras aplicações, em grãos, especiarias, ervas em geral, frutas, hortaliças, carnes vermelhas/brancas (bovina, suína), carne de aves, pescados e frutos do mar entre outros produtos, é uma prática utilizada por diversos países para estender a vida de prateleira e as perdas durante a armazenagem do produto.

É um processo no qual produtos alimentícios são expostos a uma radiação ionizante (assim chamadas porque ionizam o meio por onde passam) e estão incluídos os raios γ , raios X e elétrons acelerados produzidos em máquinas apropriadas, os aceleradores de elétrons. O processo não aumenta o nível de radioatividade natural dos alimentos. Os alimentos irradiados não ficam radioativos após este procedimento. A dose média global absorvida por um alimento submetido a um processo de irradiação não deverá exceder a dose de 10 kGy, com a finalidade de assegurar a inocuidade do alimento irradiado, sob os pontos de vista toxicológico, nutricional e microbiológico.

A irradiação é utilizada em diversos países como um método de preservação dos alimentos e produtos alimentícios tanto a granel, como os embalados industrialmente, seguindo recomendações do comitê misto entre a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO), Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) e a Organização Mundial de Saúde (OMS) e o *Codex Alimentarius*, que sempre se esforçam em promover a atualização das normas, pesquisas e decisões neste tema, pela importância da segurança dos alimentos básicos em muitos países.

Esta tecnologia é direcionada para minimizar as grandes perdas que ocorrem por contaminação e decomposição causadas por bactérias, assim como a crescente preocupação sobre as doenças transmitidas por alimentos (DTAs).



A aplicação do processo de irradiação pode reduzir cargas microbianas a níveis próximos do zero, como por exemplo, *Escherichia coli* O157:H7, conhecida por causar doença hemorrágica quando consumimos carne malpassada ou crua contaminada com esta bactéria. O aumento do comércio internacional de produtos alimentícios é outra necessidade, por estar sujeito a normas fitossanitárias de exportação rígidas em matéria de qualidade e de quarentena, que se somam à necessidade de se irradiar o alimento.

Sistemas dosimétricos são utilizados conforme cada tipo de radiação ou máquina utilizada durante o processamento, com o propósito de verificar se a dose correta foi aplicada ao produto. Esses dosímetros são adequados para medir doses de utilização que vão de 0,1 a 50kGy, simples de serem utilizados, apresentam reprodutibilidade e estabilidade, são fáceis de serem calibrados e tem rastreabilidade. A validação do processo industrial é feita pela norma AAMI/ISO-11137.

Com relação à segurança do alimento, no Brasil, oficialmente organismos governamentais tais como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e o Ministério da Saúde, através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), devem controlar por meio de rotulagem este processo, evitando que possam ocorrer fraudes. Mundialmente se utiliza o símbolo Radura para a rotulagem. No Brasil, no entanto, embora a rotulagem seja obrigatória por legislação da Anvisa, não se utiliza a Radura, e sim dizeres apropriados.

Algumas vezes, em determinados locais de comercialização de alimentos, encontramos por escrito a especificação do processamento por radiação na embalagem do produto, como define a RDC 21 de 2001.

Para se obter um alimento cada vez mais seguro e saudável, mantendo suas características naturais, cientistas de diferentes áreas e principalmente da área de ciências e Engenharia de Alimentos, têm se esforçado com os estudos da aplicação segura desta tecnologia e com a aplicação das qualidades tecnológicas nos alimentos.

A irradiação de alimentos é uma tecnologia crescente em diversos países e é aplicada em diferentes tipos de alimentos. Bem como outros processos usados em alimentos, esta tecnologia não pode ser aplicada indiscriminadamente em todos os alimentos, pois alguns não se adequam e, nesses casos, existem outros processos mais pertinentes. Os alimentos em geral respondem melhor a doses médias e baixas de radiação, conforme suas características e propriedades nutricionais. Particularmente, o processo de irradiação não cozinha os alimentos, pois normalmente não deve ter elevação de temperatura, e pode eliminar diferentes tipos de patógenos sem causar danos nas suas características naturais.

É conhecido e bem estabelecido pelo *Codex Alimentarius* e aprovado pelo Food and Drug Administration (FDA) americano, que a irradiação nas doses utilizadas para alimentos não devem esterilizar, pois no caso de esterilização, com altas doses em determinados alimentos, haveria grandes perdas de nutrientes.

Os alimentos, em geral, contêm componentes chaves que, embora presentes em concentrações muito baixas, regulam o sabor, seu aspecto e o seu valor nutritivo. Esses componentes são muito sensíveis à irradiação e, se a dose for alta, pode causar transformações prejudiciais no sabor, no odor e na cor desses alimentos. Deve-se ter sempre em mente que o objetivo do processamento por radiação é proteger o alimento contra a deterioração, reduzir carga de bactérias potencialmente prejudiciais e deixar o alimento

saudável e o mais próximo possível de suas características naturais. Um exemplo desta aplicação em amostras sensíveis são as flores comestíveis; após o processamento por radiação, ficam com seu tempo de vida útil aumentado em até mais 10 dias úteis, quando armazenadas sob refrigeração, livres de contaminação por insetos e não perdem suas propriedades naturais.

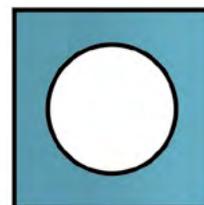
Como em qualquer produto alimentar, os trabalhadores e consumidores de serviços de alimentação devem seguir as boas práticas de fabricação e de manuseio, para proteger o alimento de contaminações cruzadas. A irradiação, quando usada em conjunto com outros processos de conservação e técnicas de preparo, diminui a carga microbiana e outras doenças de alimentos. Em combinação com processos como, por exemplo, calor, baixa atividade de água, pH, atmosfera modificada, salga, acidificantes, embalagens, entre outros, a irradiação pode oferecer produtos mais estáveis em condições tropicais. Os tratamentos químicos e a radiação oferecem vantagens sobre os tratamentos não combinados. Atualmente se utiliza os conceitos de: baixas doses de radiação entre 0,01–1 kGy; médias doses, entre 1,1 kGy–10kGy, e altas doses acima de 10kGy.

O processo de irradiação de alimentos, apesar de possuir um investimento relativamente alto no início, traz retorno rápido para um processo contínuo. Os custos estimados para irradiação de alimentos variam de US\$10 a US\$15 por tonelada, para uma aplicação de baixa dose, e de US\$100 a US\$250 por tonelada para aplicação de altas doses, dependendo do tipo de máquina utilizada: ^{60}Co , Acelerador de elétrons (rodotrons) ou raios X (máquinas modernas e específicas para a indústria).

Existe um grande potencial de comercialização de alimentos irradiados, principalmente os grãos, que são importantes fontes proteicas para diversas aplicações de consumo onde se aplica a necessidade da segurança do alimento. Anualmente, ocorrem altas perdas a cada colheita, por infestação de insetos durante o armazenamento ou por contaminação fúngica. Para combater estas perdas, o processa-



A EBSE possui longa experiência em projetos, fabricação de **TUBOS** e **SPOOLS**, prestação de **SERVIÇOS**, além de montagem de **EQUIPAMENTOS** e **MÓDULOS** de processo para atender a diversos segmentos como Petróleo e Gás, Papel e Celulose, Energia, Mineração, Cimento, Construção Civil, **NUCLEAR**, Saneamento, Siderurgia e Defesa.



EBSE
ENGENHARIA
DE SOLUÇÕES



www.ebse.com.br
ebse@ebse.com.br
Tel. +55 21 2404 9000

mento por radiação de grãos é uma alternativa atraente e saudável, comparado aos tratamentos químicos.

O mercado internacional desenvolve papel fundamental para a aplicação desta tecnologia, que é utilizada por muitos produtores, exportadores e distribuidores de alimentos, frigoríficos e indústria de alimentos e é bem aceita pela maioria da população mundial. A tendência é sua difusão, principalmente nos países que possuem uma economia agrária importante. Como o Brasil é, hoje, um grande produtor e exportador de alimentos, deveria estar preparado para os impactos das novas tecnologias. Se fossem feitos mais investimentos nesta tecnologia, seria possível adquirir formas seguras e versáteis para obter alimentos de boa qualidade, reduzindo as perdas pós-colheita e os problemas da entressafra.

Devido à grande quantidade de resíduos agroindustriais gerados, o uso da irradiação com a finalidade de reaproveitamento é algo que pode ajudar nossa sociedade e a economia, evitando desperdícios e a geração de resíduos que precisam ser descartados e tratados. Os benefícios da irradiação em resíduos agroindustriais compreendem os de alimentos, mas quando o objetivo é a produção de farinhas e aditivos alimentares, o processo de despolimerização pode ser muito benéfico e eficaz. Nesse processo, pode ocorrer a quebra de moléculas, o qual melhora propriedades como extratibilidade e a biodisponibilidade de compostos bioativos e nutrientes.

Ainda existe muito a se fazer no campo da irradiação de alimentos, como a otimização de doses, aplicação em novos produtos e/ou resíduos e, principalmente, maior apoio à disseminação das informações para o público de modo geral sobre os benefícios a segurança alimentar. A aceitação da população é um fator primordial para a evolução da aplicação dessa técnica no nosso dia a dia. É preciso evidenciar e divulgar as vantagens e a versatilidade da irradiação de alimentos como tecnologia de inovação para a sociedade e o meio empresarial bem como para o agronegócio.

Considerações finais

O Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro (CDPNB), coordenado pelo Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República (GSI/PR) instituiu, em 9 de novembro de 2018, o Grupo Técnico (GT-7), que foi coordenado pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), com o objetivo de dinamizar a aplicação tecnologia nuclear na agropecuária. O GT-7 encerrou suas atividades em 14 de outubro de 2020, concluindo que a construção de irradiadores multipropósito se justifica e será uma ferramenta para alavancar a economia nacional com exportações e, ao mesmo tempo, diminuir os gastos com saúde pública.

Em 23 de novembro de 2022, foi realizado o lançamento do modelo de plano de negócios para a instalação de um ir-

radiador multipropósito no Brasil. O documento contempla descrição dos fatores a serem considerados na implantação e funcionamento de um irradiador voltado, prioritariamente, à irradiação de produtos do agronegócio, com destaque especial para frutas e hortaliças. O documento menciona também que o equipamento poderia ser usado no tratamento de carnes, condimentos, castanhas, fitoterápicos, rações para animais, embalagens e outros produtos. Além disso, estima-se que a tecnologia poderá gerar um faturamento anual de R\$ 261 milhões, com retorno a partir de 3,9 anos do funcionamento da máquina.

Dentro da competência do CDPNB para o acompanhamento dos temas relevantes para o setor nuclear, o GSI/PR organizou reunião com o Ministério da Agricultura e Pecuária, em 23 de janeiro de 2024, com o propósito de expor o panorama da irradiação de alimentos, informar das ações realizadas pelo Comitê GT-7 nos últimos anos, discutir a possibilidade de retomada de novas ações decorrentes e viabilizar futuras articulações relativas à implantação em território nacional de instalações para irradiação de alimentos. Na oportunidade, os participantes expuseram questões relativas à: regulamentação sanitária da Anvisa sobre o tema; iniciativas apresentadas pelo governo norte-americano, por meio da organização CRDF Global, no sentido de promover ações e discutir desafios e oportunidades para a inserção dessa tecnologia na pauta da administração federal; divulgação do plano de negócios elaborado pela consultoria independente.

Como decorrência dessa reunião, serão estruturadas reuniões subseqüentes com o propósito de alinhar entendimentos no sentido de retomar as ações recomendadas pelo GT-7, bem como contatar e inserir especialistas renomados de instituições com competência no setor, como Embrapa e Ipen, para participar de futuras discussões sobre o tema.

Por fim, destaca-se ainda a inclusão do Ministério da Agricultura e Pecuária no recém-criado GT-15, constituído por meio da Resolução CDPNB nº 29, de 14 de dezembro de 2023, com o propósito de atualizar e definir as atividades e ações da Rede de Comunicação Social do Setor Nuclear para os próximos quatro anos, a fim de difundir os benefícios da irradiação de alimentos, insumos e produtos agropecuários para os servidores da casa e para a população consumidora. Ressalta-se que o Governo continuará a atuar na atração de investimentos para a construção de irradiadores multipropósito, na divulgação do plano de negócio aos investidores e empresários do setor, além de buscar a atualização das normas relacionadas a aplicação da irradiação no tratamento sanitário de alimentos.

1. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen-Cnen/SP), Centro de Tecnologia das Radiações (Ceter)

2. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (Cena)

2024
inac
INTERNATIONAL NUCLEAR
ATLANTIC CONFERENCE

XXIII ENFIR
 XVI ENAN
 VIII ENIN
 X JR. POSTER
 XI ExpoINAC

Nuclear Energy:

Assuring Energy, Health and Food

May 6-10, 2024

Escola de Guerra Naval (EGN) | Rio de Janeiro | RJ | Brazil

DIAMOND

SPECIAL SUPPORT

PLATINUM



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



GOLD

SILVER

BRONZE



SUPPORT

ORGANIZATION

ORGANIZATION &
PROMOTION

FUNDING AGENCIES

LOCAL ARRANGMENTS



A ELETRONUCLEAR ESTÁ PRONTA PARA VIVER O FUTURO.

Que a Eletronuclear gera eletricidade limpa, sem emitir gases de efeito estufa, você já sabe. Mas o que talvez ainda não saiba é que mais energia está sendo produzida para que toda a sociedade viva os avanços do futuro sem abrir mão da sustentabilidade.

Na prática, isso significa que a operação de Angra 1 está se preparando para produzir por mais 20 anos e que a conclusão de Angra 3 irá aumentar ainda mais nossa capacidade de geração de energia limpa.



veja o amanhã em eletronuclear.gov.br

  @eletronuclear

 **Eletronuclear**
Energia Limpa

 **ENBPar**
Energia limpa

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO FEDERAL

UNIÃO E RECONSTRUÇÃO