

ABDAN

NUCLEAR TRADE & TECHNOLOGY EXCHANGE

RELATÓRIO

DATA

20 a 22 de Maio de 2025

LOCAL

ExpoMag, Rio de Janeiro - RJ

AUTORES

Angélica Cáritas Nogueira
Daniel Kautscher de Barros

ORIENTAÇÃO

Leonardo Paredes Pires

Sumário

Resumo Executivo.....	4
1. Política Nuclear	5
1.1. O papel da medicina nuclear na política nacional e controle do câncer no Brasil	5
1.2. O Futuro do Programa Nuclear Brasileiro	7
2. Sustentabilidade e o Meio Ambiente	9
2.1. Cooperação global na mitigação das mudanças climáticas	10
2.2. Descarbonização da Amazônia Legal.....	12
2.3. Economia Circular e Regulação	14
2.4. Gestão de Resíduos NORM na indústria do petróleo	16
3. Transição Energética	17
3.1. A revolução da energia limpa	18
3.2. Operação de Sistemas Elétricos Integrados com usinas nucleares	20
3.3. Os desafios para a matriz elétrica brasileira do futuro	22
4. Diagnóstico e tratamento do câncer	23
4.1. Distribuição e regulação de insumos da medicina nuclear.....	23
4.2. O papel das organizações da sociedade civil nas políticas públicas da medicina nuclear	25
4.3. Planos de expansão do tratamento do câncer no Brasil	28
5. Oportunidade de negócios	30
5.1. Desafios e soluções logísticas para a indústria nuclear	30
5.2. As capacidades nucleares na América do Sul: o caso Argentino.....	35
5.3. Mercado de mineração de urânio no Brasil e no mundo	37
5.4. O cenário de combustível nuclear.....	39
5.5. O crescimento da cadeia produtiva a partir das Usinas Nucleares Brasileiras	44
5.6. Projetos de SMRs no mundo	46
6. Nuclear no Mar.....	48
6.1. Tecnologia Nuclear na Indústria do Petróleo	48

6.2. Utilização do nuclear para a propulsão naval	52
7. Gestão do Conhecimento.....	54
7.1. Da academia para a indústria	54
7.2. Engajando as novas gerações: o futuro do setor nuclear	57
7.3. Gestão do Conhecimento	62
8. Modernização da Regulação.....	65
8.1. Melhoria do marco regulatório	66
8.2. Regulação de SMRs.....	69
9. Inovação Tecnológica	71
9.1. Empreendedorismo no setor de energia.....	71
9.2. O mundo com Inteligência Artificial.....	75
9.3. Tecnologias Avançadas de medição de radiação	78
10. Financiamento	81
10.1 Financiamento de Projetos Nucleares	82
11. Minicursos.....	85
11.1. Minicurso de SMR	85
11.2. Minicurso de Tarifas de Energia	88
11.3. Pitches: Quando a pesquisa é um bom negócio.....	90
11.3.1. Unidade Móvel com Acelerador de Elétrons: Tecnologia Sustentável para Tratamento de Efluentes Industriais	90
11.3.2. Biorrefinaria Azul: Economia Circular a partir de Resíduos Marinhos	91
11.3.3. Radionuclídeos Contra o Câncer: Medicina Nuclear Precisa e Personalizada	92
11.3.4. Nanosensores para Detecção Precoce de Câncer Colorretal com Diagnóstico de Alta Precisão	93
11.3.5. “Nuclear Microreactor: Inteligência Energética para um Futuro Sustentável” ..	93
11.3.6. Ímãs de Alto Desempenho: Tecnologia Estratégica para o Brasil	94
11.3.7. Treinamento e Simulação com Realidade Virtual.....	95
Conclusão	96

Resumo Executivo

O evento Nuclear Trade & Technology Exchange (NT2E), organizado pela Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN), ocorreu nos dias 20 a 22 de maio de 2025, com formato presencial, no centro de convenções ExpoMag no Centro da cidade do Rio de Janeiro. Sendo considerada, atualmente, a maior feira de negócios e tecnologia do setor nuclear da América Latina, o evento reuniu especialistas, autoridades, estudantes e empresas do setor nuclear do Brasil e do mundo. Este ano, a NT2E foi ampliada para incluir inovação, tecnologia e sustentabilidade, contando com mais de 2.500 participantes inscritos, 30 apresentações de painéis temáticos, 3 minicursos, diversos expositores de stands sobre os projetos desenvolvidos atualmente no setor nuclear e mais de 147 empresas patrocinadoras e apoiadoras. Durante os 3 dias do evento, foram abordados os seguintes eixos temáticos:

- Eixo 1: Política Nuclear
- Eixo 2: Sustentabilidade e Meio Ambiente
- Eixo 3: Transição Energética
- Eixo 4: Diagnóstico e Tratamento do Câncer
- Eixo 5: Oportunidades de Negócios
- Eixo 6: Nuclear no Mar
- Eixo 7: Gestão do Conhecimento
- Eixo 8: Modernização da Regulação
- Eixo 9: Inovação Tecnológica
- Eixo 10: Financiamento



Figura 1: Foto dos palestrantes e da equipe no primeiro dia do NT2E.

1. Política Nuclear

O eixo temático “Política Nuclear” discutiu sobre os planos atuais do setor nuclear no Brasil, incluindo o desenvolvimento de novos reatores nucleares e investimentos em pesquisa e inovação. Nesse eixo, foram abordados os painéis “O papel da medicina nuclear na política nacional e controle do câncer no Brasil” e “O Futuro do Programa Nuclear Brasileiro”.

1.1. O papel da medicina nuclear na política nacional e controle do câncer no Brasil



Figura 2: Foto dos palestrantes do painel “O papel da medicina nuclear na política nacional e controle do câncer no Brasil”.

A medicina nuclear se desenvolve no Brasil desde a década de 1950 a partir de investimentos estratégicos em pesquisa e desenvolvimento, além do avanço das tecnologias nucleares que utilizam radioisótopos para diagnósticos de alta precisão e tratamentos de diversas patologias complexas como as oncológicas e cardíacas, configurando-se como uma ferramenta imprescindível na detecção precoce, no acompanhamento terapêutico e durante todas as etapas de tratamento dos pacientes. Por conta disso, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), criado em 1956, então denominado Instituto de Energia Atômica (IEA), é considerado primordial para a consolidação de uma infraestrutura nacional de produção de radiofármacos. No entanto, ainda carece de políticas públicas e regulamentações eficientes para

atender as demandas do Sistema Único de Saúde (SUS), o que evidencia os desafios e as oportunidades para ampliar o acesso e melhorar os resultados clínicos.

Em sua palestra, Isolda Costa, Diretora do IPEN/CNEN, além de introduzir o histórico desse setor, também dissertou sobre os obstáculos para a promoção da saúde e do controle do câncer no país por meio do SUS, pois os reembolsos pelos serviços de medicina nuclear encontram-se abaixo do custo real, onerando os custos operacionais, o que corrobora para um impacto negativo na disponibilidade de exames essenciais aos pacientes e dificulta diagnósticos precoces, diminuindo, assim, a qualidade da assistência à saúde pública. Ela defende que a atuação do IPEN almeja consolidar sua posição de referência técnica e regulatória, contribuindo para o desenvolvimento científico e a segurança do abastecimento de radiofármacos no Brasil, com foco na promoção da saúde e no controle do câncer no país.

Além disso, Elba Etchebehere, Presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear e Imagem Molecular (SBMN), destacou a relevância da medicina nuclear na política de saúde pública brasileira para o controle efetivo do câncer em sua apresentação, ao reconhecer os avanços tecnológicos, tais como a instalação de um ciclotron (*Cyclone 30*) para produção de radiofármacos, a consolidação de exames como o PET/CT (Posicionamento de Emissão de Posição somado a Tomografia Computadorizada) para uma visão mais precisa nos resultados de exames de imagem e o SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*) com tecnologia nacional. Além disso, foi possível implementar exames mais acessíveis, como, por exemplo, a cintilografia miocárdica, que foi um marco importante no controle do câncer por meio da medicina nuclear. Vale ressaltar que exames com diagnósticos específicos e tratamentos direcionados apenas à irradiação de tumores reduzem o custo total dos gastos com exames adicionais e possibilitam melhores condições para os pacientes após o tratamento. No âmbito da produção de radiofármacos, foi possível obter aproximadamente 15.000 geradores de tecnécio-99m (Tc-99m) entre 2000 e 2022, o que demonstra uma alta demanda nacional, embora tenha enfrentado dificuldades devido à crise mundial de Molibdênio-99 (isótopo radioativo crucial para a produção do Tc-99m, radioisótopo amplamente utilizado para diagnóstico por imagem) e à pandemia de COVID-19. Ademais, a falta da atualização da Tabela SUS desde 2009 fez com que as instituições não fossem reembolsadas, o que leva ao desestímulo da aplicação dessas novas tecnologias. Essa insuficiência na produção somado ao reembolso abaixo do custo operacional têm causado uma redução na oferta de exames essenciais, impactando negativamente no diagnóstico e tratamento dos pacientes.

De acordo com a apresentação de Sibila Grallert, vice-presidente da ABDAN, as decisões políticas, de regulamentações e de investimentos em infraestrutura e pesquisa científica, além do gerenciamento adequado do SUS, são considerados essenciais para ampliar o acesso à medicina nuclear, embora ainda permaneçam

contratempos como custos elevados e restrições financeiras. Logo, revela-se a carência de diálogo entre o setor político e os profissionais/gestores da área nuclear para discutir e solucionar as demandas atuais, como a atualização de tabelas de reembolso, a garantia da sustentabilidade do setor e o incentivo à produção nacional, de forma a promover a produção, a distribuição e uso seguro de radiofármacos, sobretudo diante das tensões no fornecimento global de radioisótopos. Por conta disso, o Deputado Federal Reimont Otoni sugere, em sua apresentação, realizar um grupo de trabalho entre os parlamentares e os profissionais da medicina nuclear, com o intuito de levar a discussão para a esfera política em audiências públicas e propor mudanças ao atual cenário.

Portanto, o desenvolvimento da medicina nuclear exige ações integradas entre tecnologia, política e economia, com foco na ampliação do acesso e na inovação contínua. Por meio dessas ações, é possível avançar na melhoria dos prognósticos oncológicos e cardíacos e na qualidade de vida dos pacientes, consolidando essa especialidade médica como um componente estratégico para a saúde pública e o desenvolvimento científico nacional.

1.2. O Futuro do Programa Nuclear Brasileiro



Figura 2: Foto dos palestrantes do painel “O Futuro do Programa Nuclear Brasileiro”.

O presente painel versou sobre a atualização de políticas públicas para que haja um futuro nuclear independente e sólido no Brasil. Inicialmente, Carlos Leipner, Vice-Presidente da Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN), demonstrou uma previsão para o setor nuclear brasileiro até

2050, com foco em estratégias para posicionar o país entre os líderes em produção energia nuclear, ao propor uma articulação ativa entre órgãos governamentais, grupos técnicos especializados e entidades regulatórias para promover a autonomia tecnológica, fortalecer a produtividade e, inclusive, ampliar as exportações de tecnologias nucleares brasileiras. Até a metade deste século, Carlos Leipner propôs um roteiro de médio e longo prazo para atingir metas de autossuficiência tecnológica, sustentabilidade e liderança regional, sendo um aporte essencial para políticas públicas e agendas de desenvolvimento tecnológico no setor nuclear brasileiro.

Além disso, Leipner considerou a ação de grupos técnicos especializados, como o Conselho Nacional de Política Nuclear Brasileira (CDPNB), com o intuito de desenvolver ações governamentais capazes de enfrentar os impedimentos da atualidade, como os aspectos regulatórios e o baixo investimento em pesquisa aplicada e, então, elevar a autonomia tecnológica do país, consolidando um Programa Nuclear Brasileiro (PNB) competitivo internacionalmente e sustentável.

Em concordância, Adriano Ramos, diretor substituto e coordenador-geral no Departamento de Desenvolvimento da Indústria de Alta Complexidade Tecnológica, apresentou uma análise focada na estruturação do futuro do PNB, que visa promover a atualização do setor, baseada na coordenação de ações conjuntas com diversos ministérios, investindo em programas de capacitação que desenvolvam o engajamento institucional e, assim, assegurar o respaldo regulatório, a integração entre entidades pública e privada e o estabelecimento de uma rede de comunicação social com a população, visando atender a crescente demanda por energia e garantir a segurança energética do país a médio e longo prazo. Para tal, ele frisa a insuficiência de políticas públicas que garantam autonomia tecnológica, fomentem o desenvolvimento da cadeia produtiva nacional e promovam a flexibilização do monopólio estatal em setores-chave (como pesquisa mineral e produção de radiofármacos), abrindo espaço para a participação de empresas privadas qualificadas.

Nesse contexto, Anderson Barreto Arruda, diretor do Departamento de Planejamento e Política Mineral do Ministério de Minas e Energia (MME), enfatizou em sua fala, que é de extrema relevância criar pontes com as instituições de pesquisa e desenvolvimento, as startups e as microempresas, com vistas a investir em centros de excelência, além do reator multipropósito e a pesquisa aplicada, contribuindo para o desenvolvimento tecnológico nacional, que depende da qualificação e transferência de tecnologias para setores como fabricação de equipamentos nucleares pesados, componentes e gestão de projetos complexos.

Ademais, ele salientou que a mineração e o processamento completo do ciclo do combustível é essencial para fortalecer a cadeia produtiva, possibilitando a aplicação e expansão de combustíveis nucleares avançados – *Low Enriched Uranium*

(LEU) e *High Assay Low Enriched Uranium* (HALEU) – de forma que serão capazes de suportar a próxima geração de reatores.

Em continuidade, o Contra-almirante André Conde, secretário de Acompanhamento e Gestão de Assuntos Estratégicos do Gabinete de Segurança Institucional (GSI) apresentou um detalhamento sobre as oportunidades atuais do Brasil para o crescimento do setor nuclear por meio do avanço de projetos estruturais como Angra 3, da independência nacional a partir do domínio do ciclo do combustível nuclear e da revitalização da Rede de Minerais Brasileiros (RMB). Além disso, Conde reforça a importância de aproveitar as transformações globais em energia nuclear para promover ações inovadoras como o desenvolvimento e implantação de *Small Modular Reactor* (SMR) – principalmente para converter as antigas usinas de carvão para a energia nuclear ao instalar tais módulos em sua propriedade com o objetivo de construir reatores mais avançados, além de possibilitar estruturar locais como *data centers* com mais eficiência.

Ainda, o palestrante acrescenta que, devido à atual política brasileira de enfrentamento das próximas conferências climáticas, como a 30ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (do inglês, COP30), torna-se cada vez mais necessário converter planos e visões em ações concretas, e, assim, diversificar e atualizar as fontes geradoras, além de revisar e implantar novos modelos de negócio e financiamento privado para o setor nuclear, como estratégias essenciais para posicionar o Brasil entre as lideranças da indústria nuclear.

Portanto, em síntese, o painel recomenda o fortalecimento da articulação entre os setores público e privado, além da capacitação social e uma comunicação estratégica que sustente os processos normativos e operacionais, construindo um panorama técnico-científico integrado nas estratégias do setor nuclear brasileiro.

2. Sustentabilidade e o Meio Ambiente

Um dos assuntos mais discutidos durante o evento foi a sustentabilidade na produção energética fornecida pela energia nuclear e o compromisso do Brasil com a preservação do meio ambiente, e a análise das alternativas energéticas para a descarbonização de regiões como a Amazônia Legal, visando à preparação para a COP 30, salientando a importância das ONGs no combate às mudanças climáticas. Para esse eixo, os principais temas abordados nos painéis foram a Cooperação global na mitigação das mudanças climáticas, a Descarbonização da Amazônia Legal, Economia Circular e Regulação e a Gestão de Resíduos NORM na indústria do petróleo.

2.1. Cooperação global na mitigação das mudanças climáticas



Figura 3: Foto dos palestrantes do painel “Cooperação global na mitigação das mudanças climáticas”.

No presente painel, Carlos Leipner, conselheiro da ABDAN e moderador das palestras, apresentou uma análise detalhada sobre o protagonismo da energia nuclear no enfrentamento das mudanças climáticas e na garantia de segurança energética global. Leipner afirma que, para alcançar metas internacionais ambiciosas de neutralidade de carbono até 2050, é imprescindível incorporar todas as fontes de energia de baixo carbono e, dentre elas, a energia nuclear, principalmente devido à sua eficiência para fornecer energia de base confiável e sem emissões significativas de gases de efeito estufa.

Além disso, ele expôs dados provenientes de projeções da *International Atomic Energy Agency* (AIEA), indicando que, particularmente na América Latina e Caribe, as instalações podem crescer, em aproximadamente, quatro vezes até 2050, caso seja impulsionada por políticas que incentivem a operação prolongada das usinas nucleares atuais e a construção de novas usinas, além de investimentos em novas tecnologias para a construção de reatores, incluindo os *Small Modular Reactors* (SMRs).

Em concordância com os argumentos apresentados, Tiffany Adams, co-líder da Nuclear for Climate, explanou os esforços da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) no suporte técnico e na produção de ferramentas para auxiliar países na elaboração de planos energéticos que incluem a nuclear como alternativa limpa. Somado a isso, ela reforça a valorização de alianças internacionais, da cooperação

entre os setores público e privado para a colaboração técnica e a transferência de tecnologia, além da participação de organizações multilaterais para garantir o sucesso das políticas públicas em energia nuclear em consonância com os compromissos internacionais de sustentabilidade.

Outro ponto relevante é a escassez de inovação tecnológica no setor, mais especificamente, no que tange ao investimento em pesquisa científica, além do fortalecimento do quadro regulatório para alcançar o *Net Zero* (emissão zero de gases de efeito estufa), o que pode se tornar viável com o desenvolvimento e implementação dos SMRs, inclusive em países emergentes e em regiões remotas, sendo um componente decisivo para as estratégias climáticas e que, consequentemente, impactará positivamente na redução de emissões de carbono e na resiliência energética, reforçando o posicionamento da energia nuclear como energia de base, confiável e complementar às fontes renováveis disponíveis atualmente.

Posteriormente, as apresentações de Bianca Carpinelli, Coordenadora da AIEA, e de Alice Cunha, Vice-Presidente de *Knowledge Transfer and Management* da *International Youth Nuclear Congress* (IYNC), discutiram sobre o papel crucial da cooperação internacional e do engajamento de jovens profissionais para alcançar ações eficazes contra as mudanças climáticas, tendo a energia nuclear como uma peça-chave dessa estratégia, por meio de iniciativas para a promoção do desenvolvimento de competências, especialmente por meio de programas como o *NuConnect*, que fomenta tanto a transferência tecnológica quanto a formação de lideranças comprometidas com o crescimento expressivo da capacidade nuclear até 2050, o que demanda planejamento integrado, conhecimento técnico, políticas públicas eficazes e apoio internacional para a transição da economia global para um futuro sustentável e resiliente. Além disso, a palestrante Alice Cunha projeta um cenário em que lideranças jovens colaboram para transformar a percepção pública sobre energia nuclear, incentivando políticas públicas e investimentos sustentáveis, em prol do uso responsável da energia nuclear para a mitigação das mudanças climáticas.

2.2. Descarbonização da Amazônia Legal



Figura 6: Foto do painel “Descarbonização da Amazônia Legal”

A apresentação de Alice Cunha, Gerente de Governança do Programa de Capital da *Westinghouse*, discorre sobre a atuação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) dentro do Ministério de Minas e Energia, ressaltando o papel estratégico da EPE na descarbonização da Amazônia por meio do planejamento energético e estudos de transmissão. Ela expõe que a EPE conduz estudos que visam eliminar a dependência de geração térmica local, especialmente por questões de confiabilidade, conforme o Ofício nº 117/2022/SPE-MME, o que contribui para a redução significativa das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Além disso, citou-se um estudo, em processo de elaboração, sobre a solução estrutural para fortalecer a resiliência do atendimento energético nos estados da região Norte, como Amazonas e Amapá.

Além disso, a EPE realiza avaliações técnico-econômicas e socioambientais para definir as melhores alternativas em linhas de transmissão e subestações, de forma a buscar a otimização do sistema e redução dos custos operacionais, além do impacto ambiental. Ao implementar tais soluções estruturais, é estimada uma redução de aproximadamente 3 milhões de toneladas de CO₂ equivalente por ano. Isso torna evidente o compromisso da EPE com o desenvolvimento de soluções renováveis e interligações de sistemas isolados, buscando ampliar a segurança energética, a qualidade do serviço e a inserção de fontes limpas na matriz energética amazônica. Com o intuito de viabilizar os projetos climáticos e sociais de alto impacto, a apresentação reforça a importância da integração de políticas públicas e parcerias

técnico-institucionais internacionais. Ao promover estabilidade e eficiência no fornecimento energético, a EPE contribui para a mitigação das mudanças climáticas e para o desenvolvimento sustentável da região amazônica. Alice Cunha posiciona a empresa como figura central na articulação entre governo, agentes do setor energético e sociedade na construção de um modelo energético de matriz diversificada, confiável e menos emissora.

Posteriormente, a palestra de Mário Menel, Presidente do Fórum das Associações do Setor Elétrico (FASE), detalhou a metodologia sistemática adotada pela EPE para analisar as demandas de geração de energia em regiões remotas, apontando para uma avaliação contínua da demanda por geração adicional nos sistemas isolados. Ele explicita a contribuição da estruturação dos leilões de energia e potência, com habilitação técnica rigorosa, de forma a estimular investimentos em projetos que aumentam a produção energética regional e reduzir as emissões de carbono.

Além disso, ele pontuou sobre o Portal de Informações dos Sistemas Isolados (PASI) e a base de dados de projetos, que oferecem transparência e embasamento técnico para o desenho das políticas públicas e para a tomada de decisões orientadas a baixo impacto ambiental. Menel citou os leilões realizados em áreas específicas (Acre, Amazonas, Roraima e Fernando de Noronha), indicando avanços significativos na inserção de fontes renováveis e na garantia da segurança energética regional. Após isso, o palestrante reforçou a redução das perdas e custos operacionais, além do benefício ambiental, associando essas melhorias às políticas de diversificação da matriz energética previstas. Atualmente, a EPE atua em parceria com o Ministério de Minas e Energia e outras instituições com o intuito de assegurar que os estudos técnicos sustentem os compromissos climáticos do Brasil, reforçando a relevância da Amazônia Legal como foco estratégico na agenda de descarbonização nacional. Finalmente, ele posiciona a EPE como agente crucial para promover a transparência, a previsibilidade e menor custo na geração elétrica, com efeitos positivos na sustentabilidade econômica e ambiental do setor energético.

Posteriormente, Patrícia Nunes, assessora da presidência da EPE, apresentou uma proposta estruturada para a fundamentação do Projeto de Lei (PL) 2780/2024, que visa à descarbonização da Amazônia. A proposta busca construir um referencial sistêmico único para orientar a atuação coordenada entre agentes públicos e privados, com especial atenção à distinção entre categorias “crítico” e “estratégico” dentro da política mineral. Ela define objetivos estratégicos de médio e longo prazo para a exploração sustentável de recursos minerais, integrando metas quanto à importação e à exportação de matérias-primas críticas e estratégicas. Ressaltou-se que a formulação da Política Nacional de Matérias-Primas Críticas e Estratégicas (PNMCE) envolve a criação do Conselho de Matérias-Primas Críticas e Estratégicas

(CMCE), que irá alinhar diretrizes nacionais às demandas da transição energética global.

Além disso, afirmou-se a importância da PNMCE para estabelecer um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, a segurança do abastecimento e a sustentabilidade ambiental, garantindo um monitoramento eficiente das cadeias produtivas e promovendo inovação tecnológica. Tal estratégia valoriza a Região Amazônica como vital para os objetivos climáticos do Brasil, visto que o plano considera imperativo o uso racional de recursos minerais e a mitigação dos impactos socioambientais de forma a promover ações coordenadas entre o nível federal e estadual, os estados da Amazônia Legal. A proposta ainda sustenta a importância de um marco regulatório claro que favoreça investimentos responsáveis, inovação tecnológica e a diversificação da economia da região, reduzindo pressões sobre o uso da terra e incentivando cadeias produtivas de baixo carbono.

2.3. Economia Circular e Regulação



Figura 5: Foto dos palestrantes do painel “Economia Circular e Regulação”.

Inicialmente, no painel “Economia Circular e Regulação”, Kenji Fuzimo, Gerente Corporativo de Sustentabilidade e Radioproteção da Taboca Mineração, apresenta a fusão de sucatas como uma alternativa técnica e ambientalmente estratégica para o tratamento de resíduos metálicos contaminados, alinhando-se aos princípios da economia circular e da gestão integrada de resíduos. O processo propõe a fundição da sucata contaminada, promovendo a separação físico-química entre metal limpo e escória contaminada, de modo a concentrar os radionuclídeos na

escória e permitir o reuso do metal base. O método contribui para a eliminação da camada oxidada que contém materiais radioativos naturais (NORM), reduzindo o volume e o armazenamento de resíduos NORM.

A inovação do processo se mostra como uma possível referência para os setores mineral e metalúrgico, promovendo a reciclagem e contribuindo para a sustentabilidade ambiental aliada à eficiência técnica. A fundição, conforme as condições operacionais testadas, mantém um controle rigoroso dos resíduos gerados, incluindo escória, poeiras e metal recuperado, embasando a viabilidade e segurança do método. O estudo indica que a fusão representa uma estratégia eficaz para a valorização de resíduos, minimizando impactos ambientais e respeitando normas regulatórias, além de oferecer ganhos operacionais para indústrias metalúrgicas e de mineração.

Posteriormente, a apresentação de Daniela Rey Silva, Chefe da Seção Técnica da Diretoria de Radioproteção e Segurança Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear (DRS/CNEN), desenvolve uma nova estratégia para a gestão de resíduos contendo NORM, salientando o desenvolvimento e testes iniciais de um forno de bancada para fundição. Ela apresentou dados preliminares que evidenciam a eficiência do processo, demonstrando a concentração de radionuclídeos na escória em contraposição ao metal recuperado. Ela comparou a massa e o volume dos materiais antes e depois da fusão, validando a redução significativa desses parâmetros, o que é um fator relevante para o armazenamento e descarte final. A avaliação técnica realizada demonstra o potencial de reutilização do metal recuperado, possibilitando sua integração novamente na cadeia produtiva.

A classificação dos resíduos gerados é estudada para definir seu enquadramento como rejeito radioativo ou resíduo convencional, o que é primordial para a conformidade regulatória e o manejo seguro dos materiais. O projeto se estrutura em etapas claras, incluindo caracterização radiométrica e metalúrgica da sucata, condições operacionais do forno siderúrgico e monitoramento rigoroso dos resíduos, demonstrando a inovação do processo e sua aplicabilidade industrial.

Em sua palestra, Edouard Vialou, Especialista em Radioproteção da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), apresentou uma abordagem colaborativa para desenvolvimento sustentável, conforme os objetivos estratégicos da *Environet*. A organização trabalha para criar parcerias e coalizões para avaliar as demandas da população e problemas relacionados ao reaproveitamento de materiais com NORM. A metodologia inclui a análise de problemas e formulação de objetivos acompanhados da construção de modelos de mudança e elaboração de planos estratégicos. O foco reside no fomento ao reaproveitamento seguro desses materiais, alinhado à economia circular, sustentabilidade e redução de danos ambientais.

A construção de lideranças se sobressai como elemento-chave para garantir a implementação eficaz dessas iniciativas. A apresentação reforça o caráter confidencial dos dados e aponta que os resultados futuros podem variar conforme fatores externos, ressaltando a adaptação contínua das estratégias. Portanto, a apresentação posiciona a *Environet* como agente facilitador de inovação sustentável em processos industriais que envolvem resíduos radioativos naturais, promovendo valor econômico e ambiental.

2.4. Gestão de Resíduos NORM na indústria do petróleo



Figura 4: Foto dos palestrantes do painel “Gestão de Resíduos NORM na indústria do petróleo”.

No painel “Gestão de Resíduos NORM na indústria do petróleo”, Rodrigo Ferreira, gerente de Proteção Radiológica na empresa LINCE (Brasil) discutiu a gestão de resíduos Materiais Radioativos de Ocorrência Natural (*Naturally Occurring Radioactive Material - NORM*) na indústria do petróleo e as dificuldades enfrentadas pela rastreabilidade, controle de exposição dos trabalhadores e classificação de rejeitos, que podem oferecer riscos radiológicos e ambientais, exigindo um cumprimento rigoroso das normas da CNEN: a CNEN NN 3.01, que disserta sobre as diretrizes de Radioproteção, as classificações das áreas e determina os limites de dose recebida pelos trabalhadores e indivíduos do público. Por sua vez, a CNEN NN 8.01 direciona a gerência de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação,

como no caso dos NORM, desde a classificação dos rejeitos até a sua rastreabilidade. Discutiu-se a integração das boas práticas de radioproteção à sinalização, controle de acesso, procedimentos operacionais metódicos, armazenamento e a rastreabilidade, perpassando desde a origem até o destino final dos rejeitos e incluindo etapas como segregação, acondicionamento, rotulagem, análises laboratoriais e até mesmo a documentação regulatória.

Em complementaridade, ele reforçou que a monitoração individual é um elemento essencial para a segurança operacional e para assegurar a proteção da saúde dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOEs), além de preservar a integridade ambiental.

Posteriormente, Adriana Sátiro, engenheira de segurança da Shell International B.V., aprofundou ainda mais essa temática ao explicar que o processamento do NORM ocorre em três momentos: a preparação que se inicia com um relatório de 60 dias para análises radioquímicas, coordenadas por um POB (*People on board*) para o embarque Offshore Boarding, assim como o envio de amostras para laboratórios de referência. Após essa etapa, ocorre a definição do início do desembarque, validação do número de tambores e do cronograma aprovado pela CNEN. Depois disso, o desembarque do NORM ocorre em contêineres documentados e transportados por caminhões, devidamente documentados, para a unidade de armazenamento temporária (90 dias) e a alocação dos tambores ocorre em contêineres de exportação. Por fim, há o acompanhamento de seus descarregamentos e a exportação, com sua devida documentação e certificação de embarcação, de um porto no Brasil.

O palestrante Marcelo Valinhas, gerente de logística de resíduos e de NORM na Petrobras S.A., enfatizou que a atuação de um Supervisor de Proteção Radiológica (SPR), com expertise na área de NORM *Offshore* favorece a implementação de uma cultura de radioproteção aprimorada, muito associada ao rigor na documentação do inventário dos rejeitos para auxiliar o estabelecimento da estratégia para a tomada de decisões dos gestores desses resíduos e monitoramento das doses para os IOEs, alinhada às normas internacionais e às exigências regulatórias brasileiras, o que resulta em uma contribuição direta para a minimização dos riscos ocupacionais e ambientais.

Portanto, o painel mostrou que é indispensável o desenvolvimento de políticas específicas para NORM *Offshore*, considerando-se as análises radiométricas, o descomissionamento e a destinação adequada, visando à segurança ocupacional, ambiental e a sustentabilidade das operações.

3. Transição Energética

O eixo temático “Transição Energética” deu destaque a liderança brasileira nas discussões sobre mudanças climáticas e transição para fontes de energia limpas,

bem como os grandes atores das demais fontes de energia para o debate. Nesse sentido, os painéis “A revolução da energia limpa”, “Operação de Sistemas Elétricos Integrados com usinas nucleares” e “Os desafios para a matriz elétrica brasileira do futuro” exploram os desafios no uso dessas fontes e propõem soluções técnicas e de mercado.

3.1. A revolução da energia limpa

Inicialmente, a apresentação de Leonardo Paredes expôs o cenário atual e as perspectivas da transição para uma matriz limpa e resiliente, afirmando que a relevância de tecnologias nucleares, como por exemplo, os *Small Modular Reactors* (SMRs), para a descarbonização da matriz elétrica e para os setores econômicos de alta demanda energética. Além disso, ele discorre sobre os desafios globais para atingir as metas climáticas de neutralidade de carbono até 2050, que incluem grandes investimentos em tecnologias limpas, a eletrificação do transporte terrestre até 2035 e a eliminação das usinas de combustíveis fósseis até 2040. Nesse contexto, diversas fontes limpas estão consolidadas, tais como hidroelétrica, nuclear, solar, eólica (*onshore* e *offshore*), entre outras, ressaltando a necessidade de equilibrar fatores como intermitência, densidade de potência e a competência da geração contínua para garantir segurança energética.

Ademais, Leonardo Paredes discute sobre a utilização da energia nuclear para além da geração elétrica, estendendo-se à descarbonização de setores como mineração, indústria de cimento, metalurgia e siderurgia, que demandam elevados níveis de eletricidade e calor. Atualmente, os SMRs apresentam vantagens tecnológicas relevantes, tais como a variedade de aplicações, modularização, menor custo de capital (o que é um facilitador para a participação do capital privado), capacidade de *load following* e ausência de zonas de exclusão, características que os tornam promissores para complementar a matriz energética com segurança e flexibilidade. Sob o aspecto econômico, o desenvolvimento dessa tecnologia terá impactos diretos em emprego, renda e receita na ordem de milhões de dólares em 2023, o que reforça seu potencial para contribuir no mercado nacional e internacional.

Com relação à matriz energética nacional, ele defende a diversificação energética como estratégia essencial para garantir sustentabilidade, segurança e competitividade, mitigando riscos associados à variabilidade climática e à dependência de fontes fósseis. Dessa forma, a integração da energia nuclear limpa na produção energética brasileira poderá alavancar os objetivos da descarbonização e dinamizar amplamente a economia nacional, alinhando o país aos compromissos ambientais internacionais e às tendências tecnológicas globais.

Após essa apresentação, Alexey Lygin, Diretor Técnico da *Rosatom Energy Projects*, iniciou a sua exposição abordando novamente a crescente demanda

mundial por energia limpa frente às metas climáticas globais, enfatizando a eletrificação dos transportes e a eliminação gradual das usinas a carvão e petróleo até 2040. Ele aponta a competitividade da energia nuclear limpa como instrumento crucial para descarbonizar setores intensivos em carbono, proporcionando ganhos diretos e indiretos ao Brasil, como a atração de investimentos para *datacenters*, produção de hidrogênio e produção de petróleo com baixa pegada de carbono.

Além disso, ele analisou fatores comparativos entre fontes limpas, como condições climáticas, densidade de potência, produtividade e intermitência, reconhecendo a superioridade da energia nuclear em termos de continuidade e confiabilidade de geração. Ele pontua que a matriz energética mundial precisa integrar investimentos massivos em múltiplas tecnologias limpas, e a energia nuclear se posiciona como elemento-chave para o cumprimento das metas de emissões líquidas zero em 2050.

Ainda, detalhou-se a substituição de fontes fósseis por *Small Modular Reactors* (SMRs) no processo de descarbonização, avaliando a sua escalabilidade, rapidez para a construção e a sua flexibilidade para atender mercados locais, especialmente no Brasil, onde o programa “Carbon2Nature Brasil” busca promover o desenvolvimento nuclear com benefícios econômicos significativos para o país. Além disso, assim como o palestrante Leonardo Paredes, ele salienta os impactos positivos sobre emprego, renda e receita, o que evidencia novamente o valor macroeconômico do investimento em SMRs.

Já a apresentação de Gabriel Lassery, Superintendente da Associação Brasileira de Hidrogênio (ABH2), teve como enfoque principal a produção de hidrogênio branco como alternativa sustentável e inovadora para descarbonizar a matriz energética brasileira e mundial. Atualmente, o hidrogênio apresenta potencial para substituir combustíveis fósseis em diversos setores, sendo essencial para o crescimento das energias renováveis e para o atendimento das metas ambientais. Foram apresentadas as análises dos impactos econômicos e sociais da produção de hidrogênio, mostrando geração de empregos diretos e indiretos, além do aumento significativo da renda na cadeia produtiva. Ademais, ele reconhece o papel das análises econômicas para avaliar a viabilidade da cadeia, integrando tecnologias emergentes e desenvolvimentos recentes para maximizar eficiência e reduzir custos.

No cenário nacional, Lassery contextualiza o Brasil como potencial beneficiário desses avanços, graças à sua matriz energética diversificada e disponibilidade de recursos naturais, propondo a criação de cadeias produtivas para posicionar o país no mercado global de hidrogênio limpo e sustentável. Entretanto, para que essa proposta obtenha uma expressiva eficiência, é necessária a complementaridade entre o hidrogênio branco, produzido a partir de processos de baixo carbono, e as fontes nucleares (ou até mesmo solares), o que pode apresentar complicações técnicas na produção e no armazenamento de hidrogênio caso não haja uma infraestrutura

especializada para essa integração com fontes de energia limpa. Desse modo, o palestrante concluiu que o incentivo para o investimento em inovação tecnológica e políticas públicas são fatores essenciais para alavancar o setor.

3.2. Operação de Sistemas Elétricos Integrados com usinas nucleares

De início, Marcelo Prais, Assessor Executivo da Diretoria de Planejamento da Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), apresentou uma análise abrangente das transformações em curso no setor elétrico brasileiro, elencando as dificuldades decorrentes da crescente inserção de fontes renováveis intermitentes. Adicionalmente, ele acentua que a entrada maciça dessas fontes eleva a complexidade operacional do sistema, exigindo maior capacidade, flexibilidade e provisão de serviços auxiliares para garantir a confiabilidade. Identificou-se, a partir disso, um cenário onde há a ausência de frequência estável durante possíveis perturbações, como variações de carga ou falhas, devido à massa rotacional dos geradores síncronos, (ou seja, não apresenta uma inércia síncrona adequada), providenciada tradicionalmente por fontes termelétricas e hidrelétricas com reservatório, o que reduz a resiliência frente às variações rápidas de frequência. Além disso, afirmou-se que o aumento da necessidade de investimentos em transmissão e o impacto econômico dos subsídios concedidos gera consequências para os consumidores e para a competitividade energética.

Ademais, ele apontou as mudanças tecnológicas, de consumo e comerciais realizando o papel de agentes promotores de transformações, como mudanças climáticas, digitalização, *smart grids*, eletrificação, e o incremento da Micro e Minigeração Distribuída (MMGD). A complexidade operacional é diretamente proporcional à variabilidade das fontes e à proliferação dos Recursos Energéticos Distribuídos (REDs). Portanto, Marcelo Prais concluiu que a pluralidade de fontes disponíveis no sistema é essencial e que o debate deve focar nas políticas energéticas, incentivando a busca por soluções integradas que mitiguem adversidades técnicas e institucionais do setor.

Posteriormente, Alexandre Street, professor da PUC-Rio, detalha o funcionamento e as vantagens da operação de sistemas elétricos com integração de usinas nucleares. Apresenta um panorama da participação da energia nuclear na matriz energética e sua contribuição para a estabilidade do sistema. Salienta a sinergia entre usinas nucleares e fontes renováveis, a partir da eficácia das instalações nucleares para produzir energia de forma constante e controlada, sendo assim, crucial para assegurar a qualidade do fornecimento diante da variabilidade das renováveis. Ele, inclusive, analisa aspectos técnicos da operação conjunta, como a flexibilidade crescente das usinas nucleares, a gestão de cargas de base e a dificuldade na coordenação de fontes intermitentes. Aborda, ainda, a contribuição da

energia nuclear para garantir um desempenho operacional seguro e sustentável para o sistema elétrico brasileiro e apresenta os avanços tecnológicos e as perspectivas futuras, incluindo o desenvolvimento de *Small Modular Reactors* (SMRs) e tecnologias de armazenamento que podem potencializar a complementaridade da energia nuclear.

O trabalho de Holger Ludwig, diretor técnico da *Framatome*, debate a integração de usinas nucleares ao sistema elétrico, com ênfase em sua relevância para garantir confiabilidade, estabilidade e segurança energética da matriz elétrica. Ludwig detalha as características técnicas das usinas nucleares, que confirmam sua alta capacidade, operação contínua e baixa emissão de gases de efeito estufa. Ressaltou-se que essas usinas proporcionam inércia síncrona significativa, fator crítico para manter a estabilidade e a robustez do sistema diante de variações rápidas na frequência. Ele pontuou que a produção energética das usinas nucleares deve ser considerada como complemento às fontes renováveis intermitentes, mitigando os riscos de déficit de potência e contribuindo para a flexibilidade operacional. Discutiu-se as demandas associadas, como a inevitabilidade de um investimento elevado, gestão de resíduos radioativos e questões regulatórias e sociais. Analisou-se a experiência internacional em relação à operação integrada de usinas nucleares e os benefícios decorrentes para a segurança do suprimento, além da contribuição para a descarbonização do setor elétrico. Ainda, Ludwig recomenda algumas propostas para políticas públicas que incentivem a inclusão da energia nuclear no planejamento energético brasileiro, considerando aspectos técnicos, econômicos e ambientais.

Em concordância, a apresentação conduzida por Paulo Cesar Magalhães Domingues, assessor técnico da Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica (ABRAGE), apresenta um panorama das transformações em matrizes de geração, demonstrando os impactos da introdução massiva de fontes intermitentes e distribuídas, como solar e eólica. Identifica desafios de confiabilidade, das restrições operativas, do excesso de geração de energia em períodos específicos e do crescente potencial de transmissão. Abordaram-se também os impactos econômicos, como o custo dos subsídios e a competitividade entre as fontes. A importância da diversificação tecnológica, da digitalização e da integração de novas tecnologias de armazenamento e flexibilidade para superar as limitações atuais estão diretamente relacionadas à atuação conjunta entre agentes, reguladores e consumidores para viabilizar um sistema energético resiliente e sustentável.

3.3. Os desafios para a matriz elétrica brasileira do futuro

Inicialmente, a apresentação de Giovani Machado, sócio fundador da empresa Episteme, abordou os desafios e perspectivas do setor nuclear no contexto energético brasileiro, valorizando o poder estratégico da energia nuclear para a segurança e diversificação da matriz elétrica com fontes limpas como a eólica, a solar e a hidroelétrica, por exemplo, na busca por uma matriz diversificada e resiliente. Em sua fala, ele disserta sobre a carência do investimento contínuo em pesquisa, inovação tecnológica e capacitação técnica para garantir, adequadamente, a sustentabilidade e confiabilidade da tecnologia nuclear. Além disso, discutiu-se o planejamento energético de longo prazo para uma coordenação eficiente dos recursos disponíveis e a integração do setor nuclear com outras fontes renováveis, com o objetivo de estabelecer um equilíbrio entre sustentabilidade ambiental, segurança energética e viabilidade econômica. Sua apresentação reafirma a relevância da estabilidade regulatória para atrair investimentos e fomentar o desenvolvimento tecnológico.

Ele reforçou que a expansão da geração de energia nuclear deve ocorrer a partir do fortalecimento das instituições de pesquisa e do diálogo com a sociedade, visando assegurar a aceitação social e a conscientização sobre os benefícios da energia nuclear no combate às mudanças climáticas. Portanto, Giovani Machado propôs caminhos futuros para a consolidação do setor, incluindo o aprimoramento das normas técnicas, o incremento da produção nacional de componentes e o estabelecimento de parcerias internacionais para inovação conjunta.

Posteriormente, a apresentação de Xisto Vieira, Presidente da Associação Brasileira de Geradoras Termelétricas (ABRAGET), concentrou-se nas principais soluções para sua modernização e sustentabilidade. Ele iniciou a sua fala com evidências da significativa participação das fontes renováveis, que representam 85% da matriz elétrica, o que evidencia a liderança da energia solar em geração distribuída com 36 GW instalados, dos quais 74% correspondem a sistemas tipo *rooftop*. Ademais, ele aponta como obstáculos críticos a segurança energética diante de obstáculos como a variabilidade climática e o aumento da demanda, além das obrigações para cumprir com as metas climáticas estabelecidas no Acordo de Paris por meio da descarbonização. Por fim, o palestrante reforçou a urgência da modernização da infraestrutura elétrica, incluindo digitalização, automação, sistemas avançados de armazenamento e a regulação que, atualmente, emerge como fator decisivo para atrair capital e conferir estabilidade jurídica, essencial para a ampliação do investimento privado.

Depois disso, a apresentação de Marcello Cabral, diretor de Novas Tecnologias da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), detalhou a relevância estratégica e os impactos econômicos, sociais e ambientais da energia eólica como vetor para a transição energética do Brasil, por meio da

complementaridade com outras fontes renováveis. Ele pontua o papel crucial do setor eólico na matriz energética renovável brasileira, que já atinge 32,4 GW instalados, e apresenta dados expressivos sobre geração de empregos, estimando que para cada megawatt instalado, geram-se 10,7 empregos indiretos e diretos, como os empregos vinculados à fabricação, construção, operação e pesquisa.

Adicionalmente, Cabral versa sobre a contribuição do setor para a redução das emissões de gases de efeito estufa, com valor social de carbono estimado entre 60 e 70 bilhões acumulados até 2024. Comentou-se, ainda, que a energia eólica *onshore* seguirá em crescimento pós-crise de baixa demanda, enquanto o desenvolvimento da eólica *offshore* inaugura um novo ciclo de diversificação e ampliação da infraestrutura elétrica no país. Por fim, ele discorreu sobre as políticas públicas voltadas para regulação estável e os estímulos à inovação e ao planejamento energético, em alinhamento com a sustentabilidade e segurança energética.

4. Diagnóstico e tratamento do câncer

O eixo temático “Diagnóstico e tratamento do câncer” discutiu sobre a importância da medicina nuclear no que diz respeito ao combate contra o câncer no Brasil, incluindo avanços tecnológicos e políticas públicas relacionadas. Ele reuniu autoridades políticas, indústria, a área médica e a academia em uma discussão só, para que todos pudessem debater sobre o assunto principal. Neste eixo, destacam-se os painéis “Distribuição e regulação de insumos da medicina nuclear”, “O papel das organizações da sociedade civil nas políticas públicas da medicina nuclear” e “Planos de expansão do tratamento do câncer no Brasil”.

4.1. Distribuição e regulação de insumos da medicina nuclear



Figura 5: Foto dos palestrantes do painel “Distribuição e regulação de insumos da medicina nuclear”

Inicialmente, Renato Costa, especialista em Regulação e Vigilância da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), ressalta a relevância do conceito dos “teranósticos” como uma das atuais fronteiras tecnológicas e terapêuticas dentro da medicina nuclear brasileira. Os teranósticos integram o diagnóstico e a terapia, utilizando radiofármacos para diagnóstico personalizado com subsequente aplicação terapêutica, ampliando a eficiência clínica e os desfechos para pacientes com neoplasias e doenças específicas. Além disso, o palestrante aponta que o avanço dos teranósticos exige investimentos em infraestrutura, desenvolvimento tecnológico, *expertise* profissional e regulação adequada. Com base nisso, ele reforça que a inovação promovida pelo teranóstico poderá fortalecer o Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS), impulsionando a produção nacional de radiofármacos e estimulando a pesquisa translacional. Durante a sua apresentação, ele também abordou a urgência de políticas públicas estratégicas para o apoio a estas tecnologias emergentes, combinando segurança regulatória com fomento à inovação.

Posteriormente, Gustavo Gomes, médico no Hospital Albert Einstein, aborda aspectos operacionais essenciais para o funcionamento de radiofarmácias hospitalares e centralizadas, detalhando a rotina das práticas laboratoriais e a valorização de um controle rigoroso da qualidade. O fluxo operacional inclui a análise da agenda de pacientes para adequação da produção, limpeza criteriosa das bancadas e equipamentos e a aferição diária dos calibradores de doses para garantir a precisão na administração dos radiofármacos. Ademais, ele afirma que há uma demanda para atualizar os geradores com protocolos padronizados, seguido de um controle de qualidade para assegurar a pureza e concentração esperada dos radioisótopos, o que inclui a marcação dos reagentes liofilizados, a subsequente realização do controle de qualidade e o fracionamento das doses, devendo obedecer a procedimentos normatizados para garantir a segurança e eficácia do produto final. Por conta disso, a distribuição das doses envolve um rigoroso controle de registros e rastreabilidade, base para a garantia da farmacovigilância, área crítica para o monitoramento de efeitos adversos e garantia da proteção à saúde pública.

Depois disso, durante a apresentação conduzida por Hamilton Monteiro, Diretor de Negócios da empresa Theia, abordaram-se as carências emergentes da medicina nuclear no contexto brasileiro, com enfoque particular na cadeia de produção e na distribuição de radiofármacos. Além disso, ele salienta a ausência de diretrizes normativas específicas para radiofarmácias hospitalares centralizadas na produção devido à complexidade técnica e aos diversos níveis de infraestrutura dos serviços no país. Ele argumentou que a regulamentação deve equilibrar a rigidez sanitária e a operacionalidade, considerando a diversidade territorial do Brasil e a importância da equidade para o acesso seguro e eficiente dos pacientes. Adicionalmente, sua apresentação pontua o reconhecimento institucional para o

desenvolvimento do CEIS, contemplando a atualização da Agenda Regulatória 2024-2025, que dentre os 26 temas, a medicina nuclear configura-se como prioridade nacional para o desenvolvimento tecnológico e econômico. Ainda, ele afirma que lacunas na legislação vigente comprometem a segurança, rastreabilidade e qualidade dos processos.

Em concordância, Claudio Tinoco, coordenador de Medicina Nuclear do Hospital Pró-Cardíaco, expôs as principais dificuldades enfrentadas pela cadeia de acesso aos radiofármacos no Brasil, evidenciando que os entraves regulatórios, logísticos e operacionais comprometem as etapas rotineiras operacionais, como a indispensabilidade da calibração dos equipamentos, de controles de qualidade rigorosos e os registros para a rastreabilidade e para a farmacovigilância.

Ademais, Tinoco salienta a urgência da determinação de diretrizes regulatórias eficientes que considerem a realidade diversificada dos serviços no território nacional, assegurando a segurança dos profissionais, a viabilidade operacional, a qualidade dos produtos e serviços prestados e, por fim, a ampliação do acesso com equidade social. Finalmente, ele abordou que o fortalecimento da indústria nacional e a priorização do desenvolvimento do setor são fundamentais para superar as adversidades e garantir a sustentabilidade do sistema de medicina nuclear.

4.2. O papel das organizações da sociedade civil nas políticas públicas da medicina nuclear



Figura 5: Foto dos palestrantes do painel “O papel das organizações da sociedade civil nas políticas públicas da medicina nuclear”

De início, Beatriz Leme, CEO da Unidade de Diagnóstico e Densitometria Óssea (UDDO), debate em sua palestra o papel fundamental das organizações da sociedade civil na formulação e implementação de políticas públicas em medicina nuclear no Brasil. Apesar do reconhecido benefício das técnicas de medicina nuclear para o diagnóstico e tratamento da população, seu uso ainda enfrenta barreiras significativas de acesso e conhecimento. Ela pontua que os desafios atuais centrais correspondem às lacunas assistenciais e à insuficiência do financiamento público direcionado à área (limitando a oferta e a disponibilidade de radiofármacos) e a ausência de uma logística confiável para o suprir a demanda de radioisótopos apresentando problemas relacionados à qualidade e regulamentação alinhado às Boas Práticas de Fabricação, além da adoção de controles baseados em risco, especialmente para o desenvolvimento e fabricação de radiofármacos, conforme diretrizes da Organização Mundial da Saúde. Ela enfatiza que a ausência de planejamento estratégico e a má gestão dos recursos tecnológicos geram subutilização ou escassez dos insumos necessários.

Adicionalmente, reforçou-se a urgência em superar a barreira para alcançar o acesso universal, integral e equânime à medicina nuclear, como, por exemplo, a distribuição dos procedimentos de medicina nuclear que apresenta desigualdades regionais, acarretando disparidades no acesso das populações. Para superar esses obstáculos, é necessária a inclusão expressa da medicina nuclear nas atuais diretrizes do Plano de Atenção para o Diagnóstico e Tratamento do Câncer do Ministério da Saúde, reforçando sua aplicabilidade na oncologia e promovendo práticas terapêuticas mais eficazes e direcionadas.

Posteriormente, a palestrante Beatriz Leme apresentou dados atuais sobre o processo de incorporação, com ênfase na inclusão de procedimentos modernos, exemplificando com a incorporação da Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET-CT) para estadiamento do carcinoma de esôfago, uma tecnologia capaz de determinar a extensão e a localização de um câncer no corpo de um paciente, refletindo avanços no atendimento clínico e nas políticas públicas de saúde.

Além disso, ela ressaltou que a efetiva colaboração entre a medicina nuclear e organizações civis é crucial não só para a construção de um futuro promissor na área, promovendo não apenas avanços técnicos, mas também para garantir a equidade no acesso às inovações diagnósticas e terapêuticas. Para isso, ela detalha os mecanismos formais para essa participação, principalmente no que diz respeito aos processos realizados pela Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no SUS (Conitec), com etapas desde a submissão do pedido até a decisão final do Ministério da Saúde, que ainda avalia a possibilidade de audiências públicas e recursos administrativos e configurando um ambiente no qual a presença social e científica convergem para decisões em conjunto. Salientou-se, que a transformação do campo depende de políticas públicas comprometidas com a saúde e o bem-estar

dos pacientes, com visão estratégica para integrar tecnologias emergentes e educação adequada para profissionais e usuários. Ela conclui salientando que a superação do desconhecimento acerca da medicina nuclear representa um passo primordial para sua evolução e ampliação do impacto na saúde pública.

Depois disso, a apresentação conduzida por Marcos Villela Pedras, presidente da Associação Nacional de Empresas de Medicina Nuclear (ANAEMN), fornece uma visão abrangente da medicina nuclear contemporânea e dos princípios que sustentam seu desenvolvimento e aplicação clínica. Ele traz uma exposição detalhada das técnicas, radiofármacos, equipamentos e suas implicações na melhoria do diagnóstico e tratamento de diversas patologias, principalmente na oncologia e em doenças cardíacas.

O palestrante ressalta a necessidade de garantir padrões rigorosos de qualidade, tanto para a segurança dos pacientes quanto para a eficácia dos resultados clínicos. Nesse contexto, a apresentação faz referência a orientações internacionais, alertando para o equilíbrio necessário entre a exigência de boas práticas de fabricação e a agilidade no desenvolvimento tecnológico, que não deve ser comprometida.

Ele também pontua que os desafios do desenvolvimento da medicina nuclear ocorrem por conta da dificuldade do acesso aos radiofármacos e equipamentos, o que ocorre por conta do financiamento inadequado, a oscilação na cadeia de suprimentos e as eventuais lacunas no planejamento estratégico nacional. Realçou-se o valor dos radiofármacos como pilares para diagnósticos mais precisos e terapias direcionadas, reforçando que o investimento e o avanço nessa área representam não somente uma evolução tecnológica, mas uma melhoria significativa na saúde da população. O conjunto dessas limitações prejudica o uso pleno e otimizado da medicina nuclear no sistema público de saúde, apesar do potencial demonstrado em estudos e experiências internacionais.

Outro ponto relevante abordado foi a crescente incorporação de tecnologias, demandando uma estrutura regulatória capaz de apoiar a inovação e garantir a qualidade e segurança, cenário que amplia a discussão sobre a participação social nas decisões regulatórias e na avaliação de novas tecnologias, o que reforça uma integração entre pesquisadores, profissionais de saúde, gestores e usuários para construir políticas públicas eficientes.

Posteriormente, Lucas Colacino, gerente de *Market Access* da *Prospectiva Public Affairs LATAM*, expôs uma apresentação que retrata as perspectivas futuras da oncologia integrada à medicina nuclear até 2025, analisando as previsões científicas e tecnológicas para traçar um panorama dos desafios e oportunidades nessa área especializada. Ele argumenta que a medicina nuclear é crucial para diagnósticos precoce, estadiamento e monitoramento terapêutico de neoplasias, permitindo tratamentos mais personalizados e eficazes. Porém, foi debatida a

superação de gargalos estruturais no acesso aos procedimentos, no desenvolvimento de tecnologias e na capacitação de profissionais para acompanharem essas novas aplicações em uma inovação contínua dos radiofármacos e métodos diagnósticos, demonstrando que o avanço dessas tecnologias permite a consolidação da medicina nuclear como ferramenta indispensável em oncologia para garantir a continuidade e qualidade dos serviços.

Adicionalmente, Colacino detalha as deficiências do atual sistema de financiamento e regulação e pontua a relevância da participação da sociedade civil e dos *stakeholders* especializados na definição de políticas públicas e protocolos clínicos que respondam às necessidades reais dos pacientes. Por conta disso, foi proposta a adoção de modelos colaborativos para inovação e gestão, sugerindo que a interdisciplinaridade e a interação entre instituições públicas, privadas e civis impulsionem o desenvolvimento sustentável da medicina nuclear no Brasil.

4.3. Planos de expansão do tratamento do câncer no Brasil



Figura 6: Foto dos palestrantes do painel “Planos de expansão do tratamento do câncer no Brasil”

Inicialmente, a apresentação de Lorena Pozzo, pesquisadora da Diretoria de Radioproteção e Segurança da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), reúne conceitos essenciais sobre técnicas nucleares aplicadas na área de saúde, com foco em procedimentos diagnósticos e terapêuticos. Ela ressalta o impacto positivo da medicina nuclear no cuidado ao paciente, melhorando o entendimento das

doenças e personalizando tratamentos, apontando para um cenário futuro com integração multidisciplinar entre as áreas de assistência, vigilância, ciência, tecnologia, planejamento e economia da saúde para garantir que as inovações alcancem a efetividade clínica, a segurança do paciente e o impacto econômico no sistema de saúde público.

Adicionalmente, Pozzo apresenta uma análise crítica sobre a incorporação de tecnologias em saúde, com base na evolução das tecnologias em medicina nuclear, discutindo os critérios para a seleção de equipamentos e procedimentos, o que inclui a infraestrutura clínica e a capacitação profissional especializada para o manejo de equipamentos (como, por exemplo, tomógrafos e ciclotrons). Além disso, ela afirmou que as evidências científicas são indispensáveis no processo de decisão para a seleção de procedimentos médicos e pontua que a sustentabilidade econômica deve acompanhar a eficácia clínica.

Portanto, torna-se necessário desenvolver um modelo de avaliação que prioriza o cuidado oncológico eficiente para a maior parte da população, com segurança e sustentabilidade. Tal projeção pode ser ainda mais eficaz com base em políticas públicas transparentes e participativas, incluindo consulta pública e análise de impacto social.

Depois disso, a apresentação de Carlos Buchpiguel, pesquisador e médico da Universidade de São Paulo (USP), analisa o sistema brasileiro ao abordar sobre a qualidade da formação de especialistas, a presença de centros de excelência distribuídos no país e o histórico da atuação da CNEN sobre a regulação e fiscalização dessas instituições, o que, consequentemente, amplia o incentivo ao investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias nucleares aplicadas à saúde e a capacitação técnica, de forma a assegurar a sustentabilidade e o amplo acesso ao cuidado oncológico. Todavia, apesar de existirem impedimentos ambientais, financeiros e regulatórios que demandam um planejamento estratégico, a medicina nuclear brasileira possui diversas oportunidades para expansão, como com a incorporação de novas tecnologias e ampliação da produção nacional de radiofármacos, além de possíveis parcerias internacionais.

Posteriormente, Eliene Silva, engenheira de pesquisa da empresa *Framatome Healthcare*, abordou a produção de radiofármacos em reatores nucleares, salientando a sua aplicabilidade na medicina para a detecção precoce e tratamento de diversas patologias, como o câncer. Durante a apresentação, ela defende que a produção em usinas nucleares oferece certas vantagens, como maior controle do processo, segurança para os operadores e viabilidade econômica devido à sua infraestrutura especializada, além de recursos humanos capacitados para operar equipamentos de alta complexidade.

Além disso, foram detalhados os processos de produção e a cadeia industrial de radiofármacos, valorizando os avanços tecnológicos adotados pela *Framatome*

Healthcare. A produção nacional em usinas nucleares constitui um fator estratégico para o fortalecimento da medicina nuclear no Brasil, contribuindo para o avanço científico e a autonomia tecnológica. Para que isso possa ocorrer, ela apresenta análises sobre os insumos necessários, tecnologias de produção, controle de qualidade e logística para distribuição eficiente, apontando para um investimento contínuo em inovação, infraestrutura adequada e qualificação técnica para manter padrões internacionais de segurança. Contudo, os obstáculos dessa produção incluem a desatualização da regularização da cadeia produtiva, a disponibilidade de matéria-prima e a logística para distribuição dos radiofármacos aos centros de saúde.

No entanto, foram discutidas estratégias para superar esses obstáculos, como, por exemplo, parcerias entre órgãos de pesquisa, universidades e a iniciativa privada para o desenvolvimento do setor, incluindo investimentos em inovação e em treinamento contínuo. Como conclusão, demonstrou-se que o fortalecimento da produção nacional de radiofármacos aumenta a autonomia do país, reduz custos e melhora o acesso da população a tratamentos eficientes, promovendo avanços na saúde pública e na oncologia nuclear.

5. Oportunidade de negócios

Durante o eixo temático “Oportunidade de negócios”, foram discutidas as múltiplas oportunidades de negócios no setor nuclear mundial, incluindo o de combustível, mineração de urânio e criação de novas usinas, com enfoque principal nas oportunidades do ambiente de negócios sul-americano e brasileiro. Nesse eixo, os painéis “Desafios e soluções logísticas para a indústria nuclear”, “As capacidades nucleares na América do Sul: o caso Argentino”, “Mercado de mineração de urânio no Brasil e no mundo”, “O cenário de combustível nuclear”, “O Crescimento da cadeia produtiva a partir das Usinas Nucleares Brasileiras” e, por último, “Projetos de SMRs no mundo” abordaram integralmente o tema principal durante os 3 dias do evento.

5.1. Desafios e soluções logísticas para a indústria nuclear

Inicialmente, a apresentação de Marco Aurélio, Chefe da Divisão de Suporte Técnico da Diretoria de Radioproteção e Segurança da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) discorre sobre a harmonização das operações de transporte de materiais radioativos, com enfoque na integração entre normas de segurança e proteção física adotadas globalmente e no Brasil. Ele faz referência às diretrizes da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), especificamente o SSR-6 (*Specific Safety Requirements*) de 2018, que estabelece que as medidas de segurança devem garantir a integridade do material radioativo durante o transporte, prevenindo roubo, dano ou acesso indevido, sem alterar as normas de proteção radiológica. Salientou-se que controles adicionais, como a roteirização ou proteção física, não são

detalhados na regulamentação, mas que é necessário considerar os riscos radiológicos e os não radiológicos, sem reduzir a efetividade dos padrões de segurança.

Por sua vez, as normas brasileiras, representadas pela CNEN, complementam essas recomendações, adotando regulações específicas para garantir a segurança e a proteção física durante o transporte de materiais radioativos. Ressalta-se que a CNEN NN 5.01 regula as medidas para manter o controle e evitar o furto ou dano ao material radioativo em trânsito, explicitando que controles não relacionados à proteção radiológica podem ser implementados, desde que não comprometam os padrões estabelecidos. Além disso, a norma estabelece que tais medidas devem coexistir com controles adicionais, levando em conta os mais diversos riscos.

Adicionalmente, o palestrante disserta sobre a futura implementação da norma CNEN NN 2.05, que centraliza os requisitos para o projeto, implementação e manutenção de sistemas de proteção física no transporte de materiais nucleares e radioativos. Tal norma busca padronizar os princípios de proteção física em diferentes modos de transporte, incluindo aéreo, marítimo, ferroviário e rodoviário, assim como em operações de transbordo e armazenamento transitório.

A harmonização regulatória visa potencializar a segurança operacional, reduzindo vulnerabilidades durante o transporte de materiais radioativos, alinhando as diretrizes internacionais com a realidade regulatória brasileira. A integração das normas proporciona maior segurança, minimiza riscos de incidentes e fortalece o controle sobre esses materiais, atendendo tanto às demandas da proteção radiológica quanto às necessidades de proteção física. Portanto, reforçou-se o papel de uma estratégia coesa e atualizada para garantir operações seguras e protegidas, promovendo a confiança na gestão de materiais radioativos em âmbito nacional e internacional, promovendo a segurança pública e a proteção do meio ambiente.

Posteriormente, a apresentação de Sérgio Antônio Frazão Araújo, coordenador-geral da Coordenação Geral de Itens Sensíveis do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, representando o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), abordou o controle de bens sensíveis e estratégicos no Brasil, com foco na integração da cadeia global de suprimentos e no fortalecimento do papel regulador do país frente ao comércio internacional de tecnologias nucleares. Por bens sensíveis, entende-se que são materiais, equipamentos, tecnologias, softwares, conhecimentos técnicos e serviços com potencial de uso dual, ou seja, aplicações civis e militares.

Ademais, Frazão salientou que o Brasil dispõe de um arcabouço jurídico consolidado que orienta a importação e exportação de bens nucleares e serviços correlatos, em alinhamento com as diretrizes do Grupo de Fornecedores Nucleares (NSG). Ele propõe que o Brasil avance de fornecedor de recursos naturais a parceiro estratégico global, sustentado por um sistema regulatório transparente. A proposta

envolve reforçar o diálogo público-privado por meio do Programa Nacional para Colaboração Público-Privada em Bens Sensíveis (PRONABENS), promovendo a orientação do setor produtivo, a difusão de listas regulatórias, a prevenção de ilícitos e o fortalecimento da cooperação institucional.

A eficiência no licenciamento depende da apresentação completa da documentação exigida, cujo processo se inicia no Ministério das Relações Exteriores, com avaliação política internacional, seguida pela análise técnica do MCTI. Com relação ao governo, há ganho em controle e segurança, enquanto para a indústria, surgem novas oportunidades comerciais e previsibilidade regulatória. Já com relação aos parceiros internacionais, o Brasil se consolida como um *player* confiável ao investir em capacitação técnica, participação em fóruns globais e simplificação de processos, tornando-se um polo estratégico para o comércio de bens sensíveis e tecnologias de ponta no setor nuclear.

Posteriormente, Ana Célia Freitas Sobreira, CEO da Acerts Nuclear, analisou em sua apresentação os entraves logísticos enfrentados pelo setor nuclear, com foco no transporte de materiais radioativos (do inglês *Radioactive Materials* - RM). Esses materiais desempenham um papel crucial, tanto em diagnósticos e terapias médicas, quanto em processos industriais. Com exceção dos ciclotrons hospitalares, a maioria dos RM precisa circular por redes logísticas complexas, o que exige normas rigorosas de transporte.

Contudo, a principal dificuldade reside na lacuna de conhecimento entre os setores envolvidos. Os atuais profissionais da saúde e da indústria conhecem as aplicações dos RM, mas ignoram os requisitos regulatórios e logísticos necessários para seu transporte seguro. Por outro lado, as transportadoras dominam as normas da Classe 7, que regulamentam o transporte de RM, mas desconhecem o valor estratégico desses materiais para a medicina e a indústria. Por conta dessa assimetria, ocorrem diversas recusas de embarque, além de eventuais atrasos, estadias e ineficiências logísticas.

Consequentemente, os impactos dessa desconexão são severos. No setor de saúde, atrasos e recusas comprometem tratamentos, afetam a qualidade do atendimento e geram prejuízos financeiros para hospitais. Na indústria, falhas no fornecimento interrompem processos produtivos e aumentam os custos operacionais. Além disso, as transportadoras, mesmo obrigadas a seguir os regulamentos para materiais radioativos, priorizam políticas comerciais próprias. Por não compreenderem a criticidade dos RM, muitas empresas recusam seu transporte, agravando o gargalo logístico.

Dessa forma, Ana Célia propôs como soluções a essas problemáticas: programas educacionais ou treinamentos que podem nivelar o conhecimento técnico entre empresas transportadoras e usuários dos RM; desenvolver estruturas colaborativas entre setor de saúde, indústria e logística para fortalecer o alinhamento

de objetivos; e incentivos a transportadoras que invistam em capacitação sobre logística de RM com o objetivo de obter maior adesão e segurança. Adicionalmente, a palestrante questionou a ausência da aplicação de ferramentas de inteligência artificial que possam prevenir recusas e garantir a fluidez das operações logísticas.

Para que a superação desses desafios possa ocorrer, exige-se a ação conjunta de órgãos reguladores, setor privado e stakeholders da cadeia dos RM. A colaboração intersetorial e a inovação tecnológica representam caminhos viáveis para assegurar o transporte pontual, seguro e eficiente dos materiais radioativos, reduzindo perdas e maximizando os benefícios sociais e econômicos associados ao uso pacífico da energia nuclear.

Vale ressaltar, também, a importância da logística do ciclo do urânio que, em sua apresentação, Thaís Antunes, Coordenadora de Logística das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), detalha as questões do ciclo do combustível nuclear desde a mineração de urânio até a entrega do combustível às usinas nucleares, especificamente na usina de Angra. O ciclo se inicia na mineração e beneficiamento do urânio, seguido pelos processos de conversão e enriquecimento, nos quais o ele comumente passa por etapas físicas e químicas para atingir a composição adequada ao uso como combustível nuclear. A produção de combustível inclui a fabricação de pellets de UO₂, que são inseridos em elementos-fonte, formando o conjunto de combustível necessário para a geração de energia nuclear.

Sua logística estruturou-se, também, em torno do transporte seguro, eficiente e regulamentado de materiais radioativos e componentes. Além disso, apontou-se a complexidade regulatória internacional, incluindo demandas por licenças de exportação, importação, transporte, além de requisitos específicos de embalagens e aprovações portuárias, que variam globalmente e impactam a cadeia de suprimentos. Por conta disso, a ausência de regulamentação harmonizada em âmbito mundial aumenta os riscos de atrasos, negações de transporte e eleva os custos operacionais. Entretanto, a segurança e a defesa devem protagonizar toda a cadeia logística, reforçando a necessidade de sistemas de proteção contra falsificações, fraudes e acessos não autorizados, além de assegurar que o transporte respeite as normativas locais e internacionais.

Adicionalmente, a palestrante reforça que a gestão regulatória nacional, especialmente pelas agências CNEN e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), orienta as operações de transporte e valida o cumprimento de normas de segurança, demonstrando que a conformidade regulatória é indispensável para evitar atrasos ou negações que possam comprometer todo o ciclo de fornecimento de combustível. Assim, a cadeia do ciclo do combustível nuclear evidencia uma interdependência rigorosa, onde aspectos técnicos, regulatórios e de segurança se entrelaçam para garantir a integridade, confidencialidade e eficiência do fornecimento nuclear em um cenário de complexidade global crescente.

Com relação à cadeia de suprimentos da medicina nuclear, a apresentação de Clarice Xavier, Líder de Assuntos Regulatórios e Sistema de Qualidade da Eckert & Ziegler, abordou os principais desafios logísticos enfrentados com foco nos radiofármacos de meia-vida curta. Elementos como gálio-68 (meia-vida de 68 minutos), flúor-18 (110 minutos), tecnécio-99m (6 horas), lutécio-177 (6,6 dias), iodo-131 (8 dias) e rádio-223 (11,4 dias) exigem transporte rápido e altamente eficiente, de forma que qualquer atraso compromete a viabilidade do produto, afeta diretamente o atendimento ao paciente e incorrem em elevados custos para os sistemas de saúde.

Para solucionar essa problemática, a cadeia logística desses materiais precisa operar em ritmo sincronizado. O fabricante deve garantir Boas Práticas de Fabricação (GMP), manuseio seguro e conformidade com as normas da saúde e da área nuclear. Já o transportador precisa cumprir as Boas Práticas de Distribuição (GDP), assegurar o transporte seguro e atender às exigências regulatórias, garantindo, assim, a segurança da população.

Nos dias atuais, o transporte aéreo representa um dos maiores entraves. Muitas companhias aéreas suspenderam operações com materiais da Classe 7 (radioativos), alegando riscos, custos elevados e limitações técnicas, como a restrição ao Índice de Transporte (TI) das aeronaves. Além disso, a complexidade regulatória, o medo associado à carga radioativa e às dificuldades na liberação alfandegária – envolvendo simultaneamente agências de saúde e órgãos nucleares, intensificam os obstáculos.

Em complementaridade, a apresentação de Nathalia Alba abordou a complexidade logística do transporte de terras-raras, com foco na monazita, mineral rico em elementos estratégicos e no elemento radioativo tório (Th-232). As terras-raras, compostas por 17 elementos químicos essenciais à tecnologia moderna, possuem um papel-chave na produção de turbinas eólicas, baterias de veículos elétricos e sistemas de energia renovável. O Brasil figura entre os países com reservas relevantes desses elementos, o que torna estratégica a discussão sobre sua cadeia logística.

A monazita, por conter tório e traços de urânio-238, é classificada como material radioativo de *Low Specific Activity* (LSA) segundo a norma SSR-6 da AIEA. Por conta disso, o transporte desse material exige conformidade com requisitos rigorosos, envolvendo embalagens industriais certificadas, cumprimento de regulamentações nacionais e internacionais, licenciamento específico de exportação e importação, e procedimentos logísticos especializados.

Nathalia elencou os principais desafios logísticos enfrentados, como a regulação de imposição de padrões de segurança, monitoramento e rastreabilidade que exigem conhecimento técnico e infraestrutura adequada; a necessidade de embalagens certificadas limita os fornecedores disponíveis e encarece o processo; e

o licenciamento, que requer autorizações especiais e inspeções periódicas, aumentando o tempo e o custo operacional.

A palestrante concluiu, portanto, que a logística de terras-raras no Brasil, particularmente da monazita, requer fortalecimento regulatório, ampliação da infraestrutura portuária com a capacitação de detecção radiológica, diversificação dos fornecedores de embalagens certificadas e capacitação do mercado segurador. Tais medidas são essenciais para viabilizar o aproveitamento das reservas nacionais com segurança, eficiência e conformidade internacional, com o intuito de realizar melhorias estruturais aplicáveis à realidade brasileira no contexto da economia nuclear.

5.2. As capacidades nucleares na América do Sul: o caso Argentino



Figura 7: Foto dos palestrantes do painel “As capacidades nucleares na América do Sul: o caso Argentino”

Inicialmente, Germán Guido-Lavalle, presidente da *Comisión Nacional de Energía Atómica* (CNEA), apresentou uma análise abrangente do Plano Nuclear Argentino, elencando as perspectivas futuras. Durante a sua fala, ele abordou o fortalecimento da infraestrutura científica e tecnológica, com enfoque em aumentar a autossuficiência na cadeia nuclear, desde a pesquisa básica até a aplicação industrial. É necessário reconhecer a relevância de investimentos em recursos humanos e em modernização tecnológica para promover a competitividade e a segurança de cada processo. Para que o plano possa se concretizar, ele incluiu a expansão do setor nuclear, desenvolvimento de reatores de nova geração e ampliação de setores correlatos como medicina nuclear e investigação científica e,

por conta disso, ele reforçou que a coordenação entre agentes públicos e privados é essencial para alcançar metas estratégicas de longo prazo.

Além disso, o presidente reforça o compromisso com a sustentabilidade ambiental e o alinhamento das políticas ao contexto internacional, buscando posicionar a Argentina como referência regional em energia nuclear e tecnologia associada. Esses objetivos também se apresentam no setor privado, o que contribui para o crescimento das indústrias argentinas, ao auxiliar no desenvolvimento de soluções práticas e que atendam aos requisitos regulatórios nacionais e internacionais para a cadeia produtiva, além de auxiliar na ampliação do alcance que a Argentina possui no mercado para a exportação.

Posteriormente, Federico Ramos Nápoli, gerente geral da empresa argentina *Dioxitek*, apresentou um panorama do setor nuclear na Argentina, determinando a importância das trocas tecnológicas e comerciais no âmbito do Nuclear Trade & Technology Exchange (NT2E). Ele aponta a *Dioxitek* como protagonista na produção de materiais e serviços para o ciclo do urânio, com processos avançados de enriquecimento e de fabricação de elementos combustíveis. Atualmente, a empresa se posiciona como parceira estratégica do programa nuclear nacional, promovendo inovação e garantindo padrões rigorosos de qualidade e segurança.

Já na apresentação de Rodolfo Kramer, CEO da *Combustibles Nucleares Argentinos* (CONUAR), foram elencados conceitos e projetos inovadores relacionados ao setor nuclear argentino, focando em estratégias para impulsionar a pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Ele abordou a evolução da infraestrutura e a capacitação técnica como pilares para o crescimento da indústria nuclear. Ademais, Kramer afirma que a integração entre instituições governamentais, centros de pesquisa e empresas é essencial para consolidar avanços em áreas como proteção radiológica, produção de combustível nuclear e gestão de resíduos. Ele busca explorar temas como a modernização dos reatores existentes, além do desenvolvimento de novas tecnologias que aumentem a eficiência e a sustentabilidade do setor. Por fim, ele destaca a necessidade de alinhar políticas públicas com metas científicas, de forma que sejam capazes de fomentar a inovação e o alinhamento com tendências globais.

Depois disso, a apresentação de Nestor de Lorenzo, Conselheiro Sênior da Divisão de Negócios Nucleares da empresa argentina *Investigación Aplicada* (INVAP) detalha os complexos projetos tecnológicos desenvolvidos pela INVAP, com foco no setor nuclear que, atualmente, impactam positivamente na produção energética. Nos dias atuais, a empresa possui uma infraestrutura consolidada e profissionais especializados para entregar projetos de alta complexidade, englobando desde a pesquisa até a aplicação prática de setores críticos, como energia nuclear e tecnologias associadas.

Este cenário se tornou possível a partir da integração entre ciência e tecnologia como elemento estratégico para impulsionar soluções eficientes e seguras, voltadas para o desenvolvimento nacional e internacional, de forma a valorizar a sinergia com o intuito de acelerar a transferência tecnológica, otimizando os resultados econômicos e sociais.

Após essa apresentação, Marcelo Famá, gerente geral da *Nucleoeléctrica Argentina*, compartilhou uma visão estratégica sobre a operação e expansão do setor nuclear da Argentina. Sua apresentação defende a função dessa empresa estatal no fornecimento seguro e eficiente de energia nuclear, demonstrando o rigor da prevenção de risco radiológicos e a manutenção da confiabilidade dos reatores. Adicionalmente, o palestrante descreve os avanços técnicos na modernização dos sistemas, citando possíveis ações para ampliar a vida útil das instalações e investimentos em capacitação profissional.

Além disso, ele aborda a carência de programas de pesquisa aplicada que assegurem o desempenho operacional e incrementem a inovação tecnológica. Por conta disso, torna-se crucial integrar equipes multidisciplinares estratégicas nacionais e internacionais, visando fortalecer a otimização dos processos argentinos e a sua melhoria contínua.

5.3. Mercado de mineração de urânio no Brasil e no mundo

Inicialmente, o Dr. Alexander Boytsov, representante da TENEX Rosatom, discutiu em sua apresentação o panorama global da indústria de urânio, valorizando a função estratégica da *Rosatom* como uma das três maiores produtoras mundiais, com reservas significativas e custos competitivos. Atualmente, no Brasil, a *Rosatom* manifesta interesse em parcerias com empresas locais para mineração de urânio, aproveitando mudanças legislativas que abriram espaço para o setor privado. Contudo, a produção de urânio no país se mantém como monopólio do Estado.

A demanda global por urânio para uso em energia nuclear está projetada para dobrar até 2040, passando da estimativa atual de cerca de 65 mil toneladas de urânio (ktU) para aproximadamente 130 ktU. Todavia, tem-se observado um declínio na produção das minas existentes, de 49 ktU para 26 ktU, e ainda que minas ociosas, estoques, reciclagem e novos projetos busquem compensar essa queda, a oferta pode não suprir totalmente a demanda futura. Dito isso, a indústria terá que recorrer a novas descobertas e ao desenvolvimento acelerado de depósitos em regiões conhecidas e desconhecidas para renovar as reservas de urânio.

Posteriormente, o palestrante Felipe Tavares, gerente de Minerais Uraníferos das Indústrias Nucleares do Brasil (INB) disserta sobre o programa PRÓ-URÂNIO, uma iniciativa estratégica conduzida pela INB para expandir a exploração e produção de urânio no país, com o objetivo de fortalecer a segurança energética e garantir a

autossuficiência nuclear brasileira. O atual programa possui como principais metas aumentar a produção nacional para até 7.000 toneladas de urânio por ano e eliminar a dependência de importações, além de diversificar as fontes de receita da INB. Seu modelo de negócio é baseado na associação entre a INB e parceiros privados selecionados por meio de processos de licitação para exploração, seguida da ampliação dos direitos minerários. A estrutura contempla fases rigorosas de desenvolvimento, desde a exploração até a operação plena do projeto.

Ainda, Marcelo Silvestre, diretor-presidente da Gavani, aprofunda essa análise ao apresentar o Projeto Santa Quitéria (PSQ), um complexo industrial e minerador estratégico, com investimento planejado de R\$ 3 bilhões, realizado pelas empresas INB e Fosfatados Norte Nordeste (FOSNOR). O objetivo principal do projeto é a mineração e processamento do minério de Colofanito, que contém fosfato e urânio, para produção de fertilizantes agrícolas, fosfato bicálcico para nutrição animal e concentrado de urânio, visando atender demandas domésticas e fortalecer a segurança alimentar e energética do Brasil.

O atual projeto adota inovações tecnológicas que visam minimizar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade, como a eliminação da barragem de rejeitos, reutilização de 100% da água, circuito fechado sem lançamento de efluentes, redução de 58% da área diretamente impactada, e aprimoramento dos processos de recuperação de fosfato e urânio.

Para atingir esse objetivo, torna-se indispensável a união com o setor privado. Adicionalmente, Marcos Lee, Diretor da empresa ADL Invest, faz uma análise da atuação estratégica do ADL Group no desenvolvimento do mercado de minerais pesados no Brasil, com ênfase na extração e beneficiamento do urânio e terras raras. Destacou-se a parceria firmada com as Indústrias Nucleares do Brasil (INB) para fortalecer a cadeia produtiva nacional do urânio, buscando soluções tecnológicas e parcerias que permitam ampliar a eficiência produtiva.

Portanto, é possível perceber que há um tema central nas apresentações deste painel: a falta de uma política de governo centralizada e integrada para o setor mineral. O atual processo de licenciamento mineral sofre com alta complexidade e lentidão processual, que pode chegar a 10 ou 15 anos para obtenção das licenças necessárias, o que impacta diretamente a competitividade e desestimula investimentos privados. Para reverter este cenário, as apresentações propõem a centralização das autorizações em órgãos únicos, possibilitando maior agilidade e simplificação dos procedimentos.

Outro ponto crítico é o controle e a destinação adequada dos rejeitos radioativos, aspecto indispensável para garantir segurança e conformidade ambiental. A falta de licenciamento de locais apropriados para armazenamento permanente destes resíduos constitui uma barreira significativa para a participação da iniciativa privada na extração de urânio e outros materiais radioativos.

Posteriormente, Marcos Lee aponta oportunidades de financiamento relevantes, como os recursos disponibilizados pelo BNDES e Finep, no valor de, aproximadamente, R\$ 5 bilhões, e fundos específicos para minerais críticos e estratégicos, incluindo parcerias com grandes empresas como a Vale, que podem impulsionar o desenvolvimento tecnológico e produtivo do setor.

Em síntese, o sucesso do desenvolvimento do mercado brasileiro de urânio depende da implementação coordenada de políticas públicas integradas, regulação eficiente, controle ambiental rigoroso e financiamentos adequados para atender à crescente demanda global com sustentabilidade e inovação.

5.4. O cenário de combustível nuclear

Durante o painel, abordou-se a evolução e o cenário atual do setor nuclear brasileiro, enfatizando a infraestrutura tecnológica, o programa nuclear da Marinha e a estratégia de soberania tecnológica do país. As análises se concentram na implementação de tecnologias brasileiras, na formação de uma cadeia de conhecimento qualificado e na inserção do Brasil dentro de um grupo de nações tecnologicamente capazes de projetar e construir reatores nucleares. Além disso, discutiu-se o impacto social e econômico do desenvolvimento nuclear por meio de iniciativas que visam à autossuficiência na produção de radioisótopos e de combustível nuclear.

A implementação de uma política de longo prazo que possa integrar a inovação tecnológica, formação de recursos humanos e a proteção ambiental, posiciona o Brasil como protagonista na esfera nuclear global. A produção de radioisótopos e o desenvolvimento de reatores de pesquisa são considerados fatores estratégicos para a ampliar as aplicações industriais e de saúde, o que assegura a soberania tecnológica do país e, assim, fortalecer institutos e universidades brasileiras a produção científica, contribuindo para o crescimento econômico, social e ambiental, consolidando o Brasil como uma força de desenvolvimento estratégico para o futuro do setor nuclear.

De início, Mário Alves, diretor do Centro Industrial Nuclear de Aramar, ressaltou o compromisso brasileiro com a preservação do uso pacífico da tecnologia nuclear em sua apresentação, em alinhamento com o Artigo 21 da Constituição Federal de 1988. Um exemplo dessa utilização é a construção de um submarino com propulsão nuclear da Marinha do Brasil para uma dissuasão estratégica e uma vigilância e monitoramento da Amazônia Azul, com 3,7 milhões de quilômetros quadrados, o que corresponde a 10% do tráfego marítimo mundial, além de aportar 95% das exportações e importações brasileiras, sendo fonte de 90% do petróleo nacional.

Além disso, debateu-se a política nuclear brasileira, tendo em vista a atual procura da autonomia tecnológica nacional e da cooperação internacional, com o intuito de assegurar o suprimento da demanda interna de combustível nuclear e

radioisótopos, além de ter como metas estimular a formação continuada de recursos humanos e a capacitação (técnico-científica e industrial) compatível com as demandas do setor nuclear.

Nos dias atuais, o Programa Nuclear da Marinha (PNM) possui como objetivo o domínio completo do ciclo do combustível nuclear, além de investir na construção do protótipo em terra da planta de propulsão nuclear do Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE), em Aramar. Devido à complexidade do PNM, é preciso considerar que ele é um programa de Estado com um longo prazo de execução, contendo etapas de desenvolvimento tecnológico, uma gestão de contratos complexa, além da qualificação e gestão do conhecimento específicas, licenciamento, salvaguardas e previsibilidade orçamentária.

No entanto, a Marinha está envolvida com alguns projetos de nacionalização da tecnologia e inovação, como as Ultracentrífugas, tecnologia desenvolvida em parceria com a Indústrias Nucleares do Brasil (INB) para enriquecimento de combustível nuclear, além do projeto de construção do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que consiste em um reator para fins de pesquisa e produção de radioisótopos, com aplicações para o desenvolvimento da medicina nuclear, agricultura, indústria e meio ambiente, contando com a participação da Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (Amazul), que realiza a gestão do conhecimento e fornece profissionais qualificados para o PNM.

Posteriormente, Reinaldo Gonzaga, diretor de Combustível Nuclear da INB, companhia pública do Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME), apresentou sua palestra contextualizando que as atividades da INB estão em consonância com a estratégia brasileira de modernização e ampliação do setor nuclear, pois apesar de realizar a mineração de Urânio, processamento de minerais, enriquecimento do combustível (e posterior reconversão), fabricação de pellets, montagem de combustível e fabricação, ainda não há instalações industriais em operação no Brasil para a etapa de conversão, o que torna o ciclo incompleto. Contudo, vale considerar que investir em indústrias brasileiras promove a geração de empregos, transferências tecnológicas e domínio da competência de projetar, construir e operar reatores de alta complexidade compatíveis com as pautas do desenvolvimento sustentável com a descarbonização na produção de energia e a proteção ambiental.

Ademais, existem algumas projeções futuras para o aumento da demanda brasileira por combustíveis nucleares, que podem dividir as usinas em: *Low Enriched Uranium* (LEU), como o caso das usinas de Angra 1, Angra 2 e Angra 3; e o *High-Assay Low-Enriched Uranium* (HALEU), grupo representado pelos *Small Modular Reactors* (SMR), como o Programa de Desenvolvimento de Submarinos da Marinha que possui um SMR em construção e a iniciativa para o projeto de desenvolvimento de um microrreator em conjunto com a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), a INB e as empresas Diamante e Terminus.

No contexto internacional, a expectativa é que a produção mundial total de eletricidade aumente cerca de 20% até 2030 e cerca de 80% até 2050, em comparação com os níveis obtidos em 2022. Diante disso, há diversos apoiadores para as iniciativas de descarbonização do setor de energia no âmbito nacional, como o Plano Decenal de Expansão de Energia para 2034 (incluindo a finalização da usina de Angra 3 em 2029) e o Plano Nacional de Energia para a construção de novas usinas de 8 a 10 GW. Essa discussão também estará presente na 30ª Conferência da ONU sobre Mudanças Climáticas (COP30), que está prevista para novembro de 2025.

Como segunda parte desse painel, discutiu-se o cenário do combustível nuclear usado e Gestão de Rejeitos que teve como início, a apresentação de Bruno Estanqueira Pinho, coordenador da Diretoria Técnica da Eletronuclear, aborda o panorama brasileiro de gerenciamento de rejeitos radioativos e combustível nuclear irradiado, com foco no Complexo Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), em Angra dos Reis. O CNAAA, composto pelas usinas Angra 1, Angra 2 e a futura Angra 3, possui infraestrutura consolidada para armazenamento temporário de rejeitos de média e baixa atividade. Os resíduos gerados incluem resinas, filtros, concentrados evaporados e materiais compactáveis e não compactáveis. O Centro de Gerenciamento de Rejeitos (CGR) opera três depósitos principais, com capacidade total para milhares de tambores e caixas metálicas, além de contar com monitoramento contínuo em conformidade com a norma CNEN NN 6.09.

A questão do combustível nuclear irradiado é de alta relevância, pois a sua classificação legal no Brasil não está incluída no status de rejeito radioativo, a decisão sobre seu destino final, sendo eles o reprocessamento, a reciclagem ou o descarte, ainda está indefinida. Desde o início da operação das usinas, o combustível é armazenado em piscinas internas. Com o esgotamento das capacidades originais, o país implantou a Unidade de Armazenamento a Seco (UAS), um sistema do tipo *Independent Spent Fuel Storage Installation* (ISFSI) com capacidade para 72 contêineres, permitindo a estocagem segura por até 60 anos. A projeção até 2088 prevê a utilização de até 253 containers, cobrindo os três reatores.

O Brasil enfrenta um ponto de inflexão: a expansão da energia nuclear exige políticas claras, decisões técnicas embasadas e investimento em infraestrutura de longa duração. A sustentabilidade do setor passa por definir o destino do combustível irradiado, ampliar a capacidade de armazenamento, reduzir a geração de resíduos e garantir a operação segura e regulada do repositório definitivo. A abordagem estratégica proposta reafirma o compromisso com a segurança, a eficiência operacional e a responsabilidade intergeracional no uso da energia nuclear.

O cenário futuro aponta para a necessidade urgente de decisões estratégicas sobre o combustível irradiado, considerando critérios multicriteriais como segurança, impacto ambiental, custo econômico, aceitação pública e resiliência do sistema. O

aumento planejado da geração nuclear impõe demandas por maior capacidade de armazenamento, otimização da geração de resíduos e a entrada em operação do repositório nacional de rejeitos de baixa e média atividade, o CENTENA, previsto para 2031. Para tanto, é fundamental articulação institucional, com apoio político e financeiro contínuo.

A palestrante Clédola Cássia Oliveira de Tello, engenheira, professora e orientadora do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Radiação, Minerais e Materiais do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), aprofunda a discussão sobre o Projeto CENTENA, conduzido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), visa implantar um centro tecnológico nacional para disposição de rejeitos radioativos de baixo e médio nível, integrando também atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) em tecnologias de gestão de rejeitos. Localizado no Brasil, o projeto se alinha às necessidades futuras da Eletronuclear e à obrigatoriedade legal da CNEN estabelecida pela Lei 10.308/2001. A instalação será de superfície, com capacidade de 60.000 m³, prevendo receber rejeitos operacionais de sete usinas nucleares durante 40 anos, rejeitos de descomissionamento de quatro unidades e resíduos institucionais de origem médica, industrial e científica. O tempo estimado de operação é de 80 anos, com controle institucional por 300 anos. O projeto inclui também laboratórios associados para testes e desenvolvimento tecnológico.

Do ponto de vista legal, o CENTENA segue normas específicas da CNEN (6.06, 6.09, 8.01 e 8.02), além de regulamentações ambientais do IBAMA e compromissos internacionais como a Convenção Conjunta da AIEA. O status atual do projeto indica a conclusão da seleção de local, com um sítio preferencial e quatro alternativas, além do design conceitual elaborado em parceria com a agência francesa ANDRA. A comunicação com o público ocorre por meio de redes sociais e eventos científicos, visando transparência e aceitação social.

Em relação ao licenciamento, o projeto já foi inserido no banco de dados do IBAMA e aguarda avaliação dos Termos de Referência para caracterização ambiental. A fase seguinte prevê o envio de um Relatório de Sítio para iniciar o processo regulatório nuclear junto à própria CNEN.

As etapas planejadas para os próximos anos incluem a aquisição do terreno, estudos ambientais e geofísicos, finalização do projeto conceitual e início do licenciamento. A operação da instalação está prevista para 2030-2031, de modo a atender às demandas de armazenamento da Eletronuclear. As próximas licitações envolvem a caracterização do local (2025), projetos detalhados (2026), construção (2028) e aquisição de equipamentos (final de 2028).

Além da infraestrutura física, o projeto desenvolve pesquisas avançadas sobre barreiras técnicas. Estudos em andamento analisam a migração de césio em solos e misturas com bentonita, utilizando técnicas como espectroscopia de infravermelho,

difração de raios-X e microscopia eletrônica de varredura. Outras pesquisas envolvem durabilidade e resistência de concretos expostos à corrosão, com modelagem de difusão de substâncias perigosas e simulações com protótipos de recipientes de descarte, inclusive reforçados com fibras metálicas. Portanto, o Projeto CENTENA representa um marco na gestão nacional de rejeitos radioativos, consolidando uma infraestrutura estratégica e científica que garante segurança, sustentabilidade e soberania tecnológica ao Brasil.

Posteriormente, a apresentação conduzida por Gonçalo Castilho, Gerente de Negócios na Rosatom América Latina, aborda os principais desafios e soluções para disposição final de rejeitos radioativos e remediação de territórios contaminados por radiação. A palestra detalha etapas técnicas, estruturais e regulatórias, com base na experiência da Rússia e em projetos conduzidos pela estatal nuclear ROSATOM.

A segurança a longo prazo dos rejeitos só é viável por meio de disposição sob condições específicas. No entanto, esse processo é complexo, prolongado e exige múltiplas frentes: base legal, estrutura institucional, validação técnica de segurança, aceitação pública e definição de projeto de engenharia. O ciclo completo de implementação de uma instalação de disposição de rejeitos pode durar até 10 anos e envolve marcos como design conceitual, seleção de local, estudos de impacto ambiental, audiências públicas, licenciamento e construção.

A abordagem da ROSATOM incorpora o conceito de "estado final", que considera o uso futuro da área remediada. Em locais como Lermontov e Novotroitskoye, a empresa realizou trabalhos de remediação em antigas áreas de mineração de urânio e terras raras, com sucesso na contenção da radioatividade e recuperação ambiental. A remediação em Lermontov incluiu o descomissionamento de estruturas contaminadas, remoção de solos radioativos, recuperação de bacias de rejeito e canalização de águas ricas em radônio para uso terapêutico. O local remediado abriga atualmente um parque natural e um sanatório com banhos de radônio. Outro exemplo é a mina de monazita de Novotroitskoye, cuja operação entre 1949 e 1964 contaminou estruturas e solos com isótopos de tório. A ROSATOM realizou investigação radiológica, demolição de estruturas, confinamento de rejeitos e cobertura de áreas contaminadas com barreiras de até 0,8 metro. Ao final do processo, mais de 52 mil m² foram reabilitados.

As soluções técnicas incluem separação de rejeitos por fluxo, descontaminação de solos e estruturas com métodos secos, hidráulicos ou químicos, uso de barreiras de engenharia com materiais poliméricos ou argilosos e desenvolvimento de tecnologias para redução volumétrica de rejeitos.

A experiência da ROSATOM demonstra que o sucesso na gestão de rejeitos depende de um modelo integrado que combine engenharia, regulação, comunicação com a sociedade e inovação tecnológica. Os resultados obtidos nas áreas remediadas foram validados por monitoramento posterior, comprovando a

eficácia dos métodos empregados de soluções de gestão e remediação de rejeitos radioativos.

5.5. O crescimento da cadeia produtiva a partir das Usinas Nucleares Brasileiras

Inicialmente, o palestrante Carlos Eduardo Leal Perez, Gerente Técnico da ATECH, descreve o ciclo de vida dos sistemas de Engenharia de Instrumentação e Controle (I&C) que possui um papel estratégico que envolve desde o projeto básico e detalhado, passando pelo desenvolvimento de software de controle e supervisão, testes em fábrica, integração e montagem de subsistemas, até o comissionamento, operação assistida e treinamentos. O domínio desse ciclo permite à indústria nacional atuar em toda a cadeia de valor de projetos nucleares, especialmente os que envolvem reatores navais e plantas de geração de energia. A atuação da ATECH e seus parceiros inclui também a gestão de documentação, integração de mudanças, licenciamento regulatório e controle de qualidade, elementos cruciais para garantir a rastreabilidade e segurança de sistemas nucleares.

Um dos focos da apresentação é o processo de nacionalização de tecnologias. Ele destaca que consolidar parcerias, desenvolver software qualificado localmente, capacitar equipes e formar sub fornecedores são medidas essenciais para garantir a soberania tecnológica brasileira, consolidando-a como player relevante na indústria nuclear mundial. O palestrante também aponta que o sucesso do Programa Nuclear da Marinha (PNM) não reside apenas na construção física de submarinos ou reatores, mas no fortalecimento de competências industriais de alto valor agregado. Isso cria sinergias com setores civis, como o energético e o médico, além de ampliar as oportunidades para exportação de tecnologia e serviços especializados.

Posteriormente, Ricardo Pereira, Diretor de Operações da Eletronuclear, apresenta uma análise abrangente sobre o desenvolvimento tecnológico e as oportunidades geradas pelas usinas nucleares brasileiras, especialmente Angra 1, Angra 2 e Angra 3. Ressalta-se que estas usinas representam ativos fundamentais para a segurança energética do país, ao mesmo tempo que impulsionam o desenvolvimento tecnológico e industrial, sobretudo através da demanda contínua por serviços especializados. Observa-se que o setor de serviços nacional cresce em capacidade técnico-operacional, reduzindo a dependência internacional e promovendo a soberania técnica.

O fomento à pesquisa e desenvolvimento por meio de parcerias com instituições como o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) e o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) fortalecem a qualificação profissional e a inovação. A participação das empresas nacionais como as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. (NUCLEP) e Amazônia Azul

Tecnologias de Defesa S.A (AMAZUL) em atividades essenciais, como a movimentação de elementos combustíveis, fabricação de componentes e extensão da vida útil das instalações, demonstra o amadurecimento da indústria nuclear nacional. A palestra evidencia que a terceirização de atividades especializadas promove a capacitação da indústria e serviços nacionais, incentivando a ampliação das competências tecnológicas. E, dessa forma, ele destacou que a integração entre segurança energética, inovação tecnológica e desenvolvimento do setor de serviços promove um cenário sustentável e competitivo para o Programa Nuclear Brasileiro (PNB).

Em complementaridade, a apresentação do Almirante Miranda, Diretor da Diretoria de Desenvolvimento Nuclear da Marinha, detalha o Programa Nuclear da Marinha (PNM) e o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), com ênfase no desenvolvimento do ciclo do combustível nuclear e na construção do Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE), o protótipo em terra da planta nuclear embarcada do submarino nuclear brasileiro. O programa integra esforços para o domínio completo da tecnologia nuclear aplicada à propulsão naval, com destaque para o desenvolvimento do elemento combustível e infraestrutura associada. O documento sustenta que o PROSUB e o PNM configuram Programas de Estado, cuja execução incorpora elementos estratégicos para a soberania tecnológica e o fortalecimento da cadeia produtiva nacional.

O avanço do LABGENE simboliza o progresso da Marinha do Brasil, apesar dos desafios vinculados ao caráter pioneiro do programa e às limitações do mercado nacional para suprir todas as demandas tecnológicas. A apresentação enfatiza que o esforço de capacitação tecnológica persiste desde 1954, demonstrando a consolidação do conhecimento e sua relevância estratégica para o país. Ao final, o texto reforça que a união das capacidades do PROSUB e do PNM promove o desenvolvimento tecnológico nacional, com potencial para benefícios sociais e econômicos, além do fortalecimento da indústria brasileira de defesa e da base nuclear nacional.

A apresentação conduzida por Felipe Piler, Diretor de Contrato da Odebrecht Engenharia e Construção (OEC), aborda os aspectos contratuais e desafios tecnológicos envolvidos no Programa Nuclear da Marinha (PNM) e no PROSUB, enfatizando a relevância estratégica da tecnologia nuclear para o Brasil. Destacou-se a complexidade contratual, caracterizada por imprevisibilidade e amplitude, demandando uma rigorosa gestão de contratos para garantir o atendimento às exigências técnicas e regulatórias.

Ele ressaltou a necessidade da base industrial brasileira na área nuclear, que ainda depende de importações para suprir demandas específicas. A apresentação aborda a singularidade da tecnologia nuclear, reconhecida como especial e única, e enfatiza que o desenvolvimento tecnológico, a qualificação técnica e a gestão do

conhecimento são pilares para o sucesso dos programas. O papel da Odebrecht, como contratada, está fortemente ligado à gestão eficiente dos contratos complexos para viabilizar o avanço das iniciativas nucleares. Piler concluiu evidenciando a importância do domínio tecnológico no âmbito do PROSUB e do programa nuclear para garantir a soberania tecnológica e o fortalecimento do setor industrial, colocando o programa como estratégico para o desenvolvimento nacional.

5.6. Projetos de SMRs no mundo



Figura 8: Foto dos palestrantes do painel “Projetos de SMRs no mundo”

Inicialmente, Mikhail Chudakov, Diretor-Adjunto da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), apresentou uma visão abrangente sobre o desenvolvimento da nova geração de micro e pequenos reatores nucleares, com foco particular no projeto brasileiro. Além disso, Chudakov discute sobre o avanço tecnológico para o fortalecimento de soluções energéticas seguras, sustentáveis e competitivas, compatíveis com as metas de descarbonização globais. A apresentação detalha diversos aspectos do projeto, incluindo os desafios técnicos, o cronograma previsto para o desenvolvimento até 2025 e os objetivos estratégicos para inserção no mercado nacional e internacional.

Adicionalmente, destacou-se a modularidade dos sistemas propostos, que permitem flexibilidade de aplicação, desde uso em redes isoladas até integração em grids maiores, além do foco em segurança intrínseca para minimizar tanto riscos humanos quanto ambientais. A partir do gerenciamento do projeto é possível fornecer uma contribuição esperada para a independência energética e tecnológica do Brasil,

assim como o potencial para impulsionar a indústria nuclear nacional, promover geração de emprego qualificado e fomentar o desenvolvimento econômico orientado pela inovação.

O delineamento da apresentação do Almirante Matias, Diretor Técnico da Amazul, sobre o projeto do microreator brasileiro, pondera a sua relevância para desenvolvimento econômico e tecnológico do país, promovendo prosperidade nacional por meio da ciência e fornecendo uma solução estratégica para o futuro energético do país. Ademais, apontou-se a viabilidade técnica e o desejo nacional de avançar com esta tecnologia, porém, pontuou-se os entraves de financiamento público, de liderança consolidada e do estabelecimento de parcerias entre os setores público e privado. A proposta técnica envolve o desenvolvimento do microreator e seus sistemas associados de transferência de calor e conversão de potência, com ênfase na aplicação *off grid* e fornecer uma solução para demanda energética isolada, além do alinhamento com políticas de transição energética e descarbonização.

Descreve-se a estrutura organizacional do projeto dividida em pacotes de trabalho, ou Unidades de Desenvolvimento Tecnológico, que abrangem desde a construção da unidade crítica do microreator, passando pela transferência de calor via *heat pipes*, até sistemas avançados de proteção, controle remoto, desenvolvimento de materiais especiais e combustível adequado para microreatores. Ainda, o almirante Matias pontuou a geração de empregos, o impacto econômico positivo e a manutenção da soberania tecnológica em áreas estratégicas, incluindo defesa nacional.

Segundo Alexey Lygin, Diretor Técnico da *Rosatom Energy Projects*, as parcerias internacionais são essenciais para a aquisição de experiência e adaptação das soluções às demandas locais, com o objetivo de atingir a soberania tecnológica e diversificação energética. Em sua apresentação, foram discutidos os projetos desenvolvidos pela *Rosatom* de *Small Modular Reactor* (SMRs) com enfoque na oferta de soluções compactas, seguras e adaptáveis para geração elétrica e térmica. Lygin reconhece a relevância dos SMRs na transição energética global, e propõe essa tecnologia como uma alternativa energética para regiões remotas, aplicações industriais e desenvolvimento sustentável. Apresentou-se, o modelo RITM-200, um reator de água pressurizada desenvolvido pela empresa *OKBM Afrikantov*, utilizado em embarcações navais e com potencial para geração elétrica em pequena escala.

Além disso, ele assinalou que a modularidade possibilita a padronização da montagem industrializada e redução dos prazos de construção, promovendo custos competitivos. Adicionalmente, a sua segurança inerente é reforçada, principalmente por conta dos sistemas passivos que minimizam riscos operacionais e impactos ambientais. Além disso, o palestrante menciona o suporte da *Rosatom* em todo o ciclo do projeto, desde o desenvolvimento até a operação, incluindo abordagens de financiamento.

Portanto, evidenciou-se neste painel a grande importância dos projetos de SMRs e microreatores para o desenvolvimento de competências locais. Contudo, para materializar tais planejamentos, é necessária uma ação coletiva integrada por meio de uma infraestrutura regulatória que atenda a inovação contínua para o sucesso dos SMRs, de forma a consolidá-los como componentes estratégicos dos sistemas energéticos futuros.

6. Nuclear no Mar

O eixo temático “Nuclear no Mar” abordou o uso da energia nuclear em aplicações marítimas especificamente para a defesa do país e para a indústria petroleira, por meio da implementação da atual tecnologia dos SMRs no setor marítimo. O eixo contou com dois painéis, no qual discutiu-se sobre a tecnologia nuclear na indústria petrolífera no segundo dia do evento e abordou-se o uso da tecnologia nuclear na propulsão naval durante o terceiro e último dia.

6.1. Tecnologia Nuclear na Indústria do Petróleo

Durante a série de apresentações do painel “Tecnologia Nuclear na Indústria do Petróleo”, discutiu-se sobre a descarbonização marítima, explorando o atual papel da tecnologia nuclear dentro do setor naval como uma possível solução de energia limpa. Além disso, abordaram-se iniciativas para a descarbonização da indústria do petróleo e a exploração dos metais nobres no fundo do mar, além do desenvolvimento de submarinos com propulsão nuclear.

Inicialmente, o moderador do painel, o Almirante de Esquadra Petrônio, Secretário Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ), apresentou uma visão geral sobre o que será abordado posteriormente, expondo que o mundo passa por um debate a respeito da transição energética, visto que o aquecimento global tem se tornado um tema cada vez mais importante e considerado pelos líderes mundiais. Porém, o desenvolvimento da tecnologia nuclear tem passado por diversos desafios tecnológicos e regulatórios, o que torna a discussão essencial.

Posteriormente, o palestrante Edgar Poiate, Engenheiro Sênior da Petrobras, apresentou que a Petrobras possui, no plano estratégico de 2025-2029, um planejamento de 51 novos poços exploratórios de perfuração, além de investimentos em poços de produção. Ademais, ele mostrou que, para que seja possível produzir esse petróleo, seriam necessários cerca de 75 MWe, de forma a alimentar todos os equipamentos. Em casos de campos com elevada razão gás-óleo, seriam necessários 150 MWe e mais cerca de 40 a 80 MW térmicos.

Ele mencionou que, de forma a realizar a perfuração de petróleo de forma a produzir a energia mencionada com a menor pegada de carbono possível, a

Petrobras tem considerado a energia nuclear como uma das opções para a descarbonização, de forma a chegar ao *net zero*, ou seja, com uma emissão nula de gases de efeito estufa, visto ser uma energia limpa. Além disso, a energia nuclear apresenta a possibilidade de ser modular (como no caso dos SMRs), o que torna possível a sua construção em plataformas. Ressaltou-se, enfim, que para que seja viável a aplicação da energia nuclear na indústria do petróleo, é necessário que ela apresente as mesmas condições de segurança, de confiabilidade e de manutenção que as atuais fontes de produção energética já consolidadas na indústria.

Posteriormente, o Professor Aquilino Senra do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), acrescentou que as outras alternativas que estão sendo cotadas pela Petrobras, como a eólica e solar, apresentam um problema grave por conta da sua alta intermitência, e as plataformas não podem interromper as suas atividades por conta de picos de energia. Além disso, a forma que é utilizada pela empresa atualmente para a produção de energia, que é por meio do gás natural, possui um alto custo ambiental, o que tem dificultado a sua descarbonização. Por conta disso, ele mencionou que a UFRJ está engajada no desenvolvimento de um SMR para a utilização em plataformas, com projetos em desenvolvimento para que ele seja capaz de operar na terra, a bordo ou submerso, dependendo da extensão de cada instalação.

As principais vantagens destacadas pelo palestrante na utilização de um reator SMR consistem em um custo reduzido, o fato de ser inherentemente seguro, um ciclo de operação de 10 anos, sem precisar de recarga e um tempo de construção reduzido. Contudo, ele mencionou que os principais desafios se concentram na estimativa do custo, visto que o SMR se trata de uma tecnologia disruptiva e os primeiros protótipos “*First of a Kind*”, que são inherentemente mais caros. Além disso, ele mencionou que os SMRs enfrentam uma questão de licenciamento, visto que o licenciamento é feito no país específico de origem, e a Petrobras precisaria de um licenciamento em tese global, visto que as plataformas perfuram petróleo em águas internacionais. Além disso, mesmo para as aplicações em solo brasileiro, seriam necessárias diversas instâncias reguladoras, como a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear, Secretaria Naval de Segurança Nuclear e Qualidade e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em aplicações *offshore*.

Após essa etapa, o Vice-Presidente da *American Bureau of Shipping* (do inglês, ABS), Derek Novak, complementou com a sua apresentação que, além do Brasil, a sociedade classificadora americana também possui interesse na descarbonização do setor de óleo e gás no mar, pois a *International Maritime Organization* (IMO), uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU) está realizando uma análise denominada “*well to wake*”, que avalia as

emissões de gases de efeito estufa, durante todo o ciclo de vida de um combustível, desde a sua produção até a sua utilização nos navios, o que torna a energia nuclear interessante tendo em vista a sua forma de produção em comparação com as formas convencionais de produção de energia no setor marítimo, sendo possível utilizar essas tecnologias para fornecer energia em plantas *offshore*, conforme mencionado anteriormente.

Contudo, ele pontuou que um dos principais desafios que a área nuclear no mar enfrenta seria com relação ao licenciamento, visto que esse processo envolve um órgão regulador da área nuclear, e um segundo órgão que realizará a fiscalização da atividade marítima. Por conta disso, as organizações internacionais, como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a IMO, têm buscado uma harmonização cada vez maior com relação às regulações marítimas no transporte, visto que a energia nuclear impõe riscos à segurança no mar devido à radioatividade, energia térmica produzida e a corrosão dos materiais, enquanto a área marítima impõe riscos à segurança nuclear com a movimentação das embarcações, possíveis incêndios e perigos externos aos navios.

Após essa apresentação, o Diretor Regional de Classificação *Offshore* para a América do Sul da empresa *Det Norske Veritas* (do Norueguês, DNV), Marcelo Mazzaroppi, complementou apresentando que a sua organização, uma sociedade classificadora como a ABS, tem participado de diversas discussões sobre a aplicações dos reatores SMR no setor offshore, pois eles buscam garantir que o projeto que está sendo planejado esteja dentro dos níveis aceitáveis de segurança e risco, que precisa ser compreendido e controlado com precisão. Ele pontuou que o setor nuclear foi pioneiro no desenvolvimento de metodologias de análise quantitativa de risco, e esse conhecimento pode ser utilizado na avaliação e mitigação de riscos em projetos de SMRs.

Ademais, Mazzaroppi mencionou que existem projetos internacionais que buscam viabilizar a utilização dos SMRs offshore, como o *Nuclear Propulsion of Merchant Ships (Nuprochip)*, que está trabalhando em conjunto com a DNV para avaliar os riscos sistêmicos, entendendo como o reator interage com o ambiente marítimo, o movimento das embarcações e considerando cenários de incêndios, colisões, impactos climáticos e falhas sistemáticas, além da definição de critérios técnicos mínimos para o projeto e uma visão de viabilidade completa com o modelo de negócio, exigências da tripulação e aceitação pública.

Posteriormente, o Gerente de Eficiência Energética na *Constellation*, Douglas Rosa, mencionou que a energia nuclear é uma solução dentre as possíveis soluções existentes, visto que é uma energia que está fora de qualquer margem de erro e torna possível a sua utilização até mesmo em locais remotos e em locais cuja demanda de energia é alta, além de reduzir a pegada de carbono do processo e facilitar a logística de transporte de combustível, visto que o tempo até a recarga de um reator é maior.

Por conta disso, a empresa Constellation tem se voltado à busca pela tecnologia dos Microrreatores, de forma a tornar as embarcações mais autônomas.

Contudo, ele menciona que os maiores desafios que tem enfrentado são com respeito aos custos e com respeito a legislação, visto que a morosidade burocrática impede que a sua empresa consiga avançar em tempo hábil para desfrutar dos benefícios dessa tecnologia. Além disso, questões técnicas, como manter a estabilidade dos reatores dentro dos navios, a necessidade de realizar a blindagem da radiação, de treinamentos de profissionais capacitados e do acompanhamento de eventuais desafios logísticos no descomissionamento ou troca de módulos.

Por fim, o palestrante Daniel Palma, Coordenador Geral de Reatores e Ciclo do Combustível do CNEN, mencionou sobre duas possíveis aplicações da energia nuclear no setor do petróleo, sendo os traçadores radioativos e os reatores modulares pequenos. O traçador radioativo, muito utilizado na medicina nuclear, é um elemento que permite seguir o seu comportamento dentro de um sistema de interesse. Ele possui aplicações principalmente no controle de fluxo, escoamento de fluido e na determinação da localização de fraturas criadas por fraturações hidráulicas na produção de petróleo e gás natural, de forma que são incorporados à carga e emitem sinais registrados por detectores externos, o que leva, ao final a prevenção de perdas.

Além disso, ele mencionou sobre a aplicação dos reatores modulares pequenos, como uma segunda aplicação. Porém, microrreatores como o eVince, considerados como uma subcategoria dos SMRs, precisam de cerca de dois acres (equivalente a 8.000 m²) de área para a sua operação, e plataformas convencionais, como a P55, que possui 10.000 m² de área, precisaria ser retrofitada, de forma a acomodar todo o equipamento. Ele salientou que, para aplicações no fundo do mar, seria importante considerar se seria possível manter o reator por até a sua próxima recarga sem realizar manutenções. Finalmente, ele mencionou que, em termos legislativos, os operadores de embarcações se precisarão se credenciar como operadores de reatores nucleares, o que só seria possível se a Constituição fosse alterada, visto que, nos dias atuais, o monopólio de operação pertence à Eletronuclear e à Marinha do Brasil. Além disso, há uma regulação nova, à cargo da Secretaria Naval de Segurança e qualidade, de que o dono do licenciamento em áreas marítimas é a Secretaria Naval.

Portanto, constatou-se no painel que as indústrias de óleo e gás, como a Petrobras e a Constellation estão explorando o uso de tecnologias nucleares, como SMRs, para que seja possível minimizar as emissões de gases de efeito estufa, de forma a alcançar o net zero e reduzir uma série de instabilidades que as outras energias produzem. Porém, para que ela possa se disseminar no país, é necessário que exista uma maior harmonia entre as regulações para o processo de licenciamento e um maior estudo de viabilidade, analisando as demandas das instalações de reatores nucleares em embarcações.

6.2. Utilização do nuclear para a propulsão naval

Durante o painel “Tecnologia Nuclear na Indústria do Petróleo”, discutiu-se à respeito da utilização da tecnologia nuclear para a propulsão naval dentro e fora do Brasil, explorando os seus diversos benefícios, desafios e aplicações dentro do setor marítimo. Além disso, foram abordadas as vantagens que a propulsão nuclear trará para a Marinha Mercante, além do interesse que a Marinha possui no que tange ao fortalecimento da defesa do Brasil.



Figura 9: Foto dos palestrantes do painel “Utilização do nuclear para a propulsão naval”

Inicialmente, o Almirante Matias, Diretor Técnico da Amazul, introduziu a série de palestras explicando que é altamente necessário que o Brasil possua um submarino nuclear pois ele poderá ser utilizado para proteger os recursos brasileiros por dissuasão, além de promover o desenvolvimento sustentável (visto ser uma energia limpa), um desenvolvimento científico e tecnológico para o Brasil, dependendo cada vez menos de outros países, a geração de empregos de alta qualidade e, então, promovendo sua utilização aplicada ao transporte marítimo.

Posteriormente, Nicolas Viala, Country Director da Naval Group, explicou que, em 2008, o Brasil iniciou um programa estratégico em parceria com a França, denominado Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), que possui o objetivo de construir submarinos convencionais, um submarino movido à propulsão nuclear. Por conta disso, a Naval Group, empresa estatal francesa, tem acompanhado o Brasil nos últimos anos e auxiliará no desenvolvimento do Submarino Nuclear.

Convencionalmente Armado (SNC), como tem sido feito com os submarinos convencionais, à exemplo do submarino convencional Tonelero, lançado em 2024.

Ele mencionou que, por meio do PROSUB, foram gerados 24.000 empregos diretos, além de 60.000 empregos indiretos. Além disso, mais de 250 engenheiros e técnicos foram treinados na França, com aproximadamente 40 empresas brasileiras envolvidas no projeto. Além disso, por meio do programa, tornou-se possível a construção e a expansão de um complexo industrial e de apoio, o que inclui estaleiros, uma base naval e uma unidade de fabricação de estruturas metálicas em Itaguaí, no Rio de Janeiro, cuja inauguração foi em março de 2013. Por fim, ele pontuou que se pretende realizar a etapa de validação e qualificação em 2025, com o design final e o início da construção do submarino.

Posteriormente, Gerente de Projetos do Sub Instituto de Design do Instituto de Energia Nuclear da China, Wu Ge, explicou sobre a linha de usinas nucleares flutuantes ACP-100S, com base na tecnologia de reatores SMR ACP-100, fabricados na China. Tais modificações estão sendo realizadas de forma a adaptar o espaço das embarcações ao meio nuclear. Para que isso pudesse ser feito, foram criadas modificações nas instalações de segurança, equipamentos principais, suporte e proteção, layout integrado, proteção de radiação e sistema de monitoramento nas embarcações, com base nas normas da AIEA e com outros países que são líderes da tecnologia nuclear, com um tempo de vida de 60 anos.

Ademais, ele mencionou que o sistema nuclear possui habilitação para a geração de 125 MWe, com um intervalo de recarga de 2 anos e um sistema de contenção de aço. Além disso, pode-se realizar a convecção natural, removendo o calor residual do núcleo durante acidentes. Por fim, ele menciona que a ACP-100 é uma plataforma multipropósito, podendo ser utilizada para geração de energia em plataformas, dessalinização e fornecimento de energia em locais remotos, reduzindo as emissões de gás carbônico.

Por fim, o Contra-Almirante Paiva, Gerente do Empreendimento Modular de Obtenção de Submarinos da Marinha do Brasil complementou discussões sobre o PROSUB, reiterando que o Brasil utilizará a energia nuclear para fins pacíficos, visto que, constitucionalmente, é proibida a produção de armas nucleares e pelo fato de que ainda existe uma grande resistência da sociedade ao se discutir sobre a energia nuclear. Além disso, ele menciona que existem, atualmente, 100 submarinos nucleares existentes ao redor do mundo e que o Brasil pode contribuir para a materialização de projetos, visto que é um país com altas reservas de urânio, um território extenso e uma das maiores populações mundiais.

Ele menciona que 10% de todo o tráfego marítimo mundial passa pelo Brasil, perpassando por 67% do território brasileiro. Além disso, 95% do óleo nacional passa por essa região e, devido à alta mobilidade e possibilidade de monitoramento e vigilância do submarino nuclear, torna-se possível defender o país contra piratarias,

terrorismos e outros crimes. Por fim, ele salienta que o submarino nuclear, batizado de Almirante Álvaro Alberto, possui 10m de diâmetro, capacidade de 88 pessoas para tripulação e um motor de 6.600KW terá o seu protótipo desenvolvido no Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE), em Aramar.

Desse modo, foi possível concluir que a utilização da tecnologia nuclear para a propulsão naval apresenta diversos benefícios para os países, como pôde ser comprovado com o desenvolvimento dos navios chineses. Além disso, o projeto do Submarino Nuclear Convencionalmente Armado (SNCA) batizado de Almirante Álvaro Alberto está sendo desenvolvido por meio do programa PROSUB, que ocorre em uma parceria entre o Brasil e a França, recebendo auxílio de empresas estatais como a Naval Group. O submarino possui fins pacíficos e está sendo desenvolvido no LABGENE, em Aramar. Espera-se, por meio deste projeto, ser capaz de proteger o Brasil com mais eficiência de possíveis ameaças externas, de forma a garantir a soberania nacional.

7. Gestão do Conhecimento

Para a abordagem do eixo “Gestão do Conhecimento”, discutiu-se à respeito dos desafios relacionados à mão de obra dentro do setor nuclear, abordando a necessidade de formação e capacitação de profissionais, além da necessidade de transferência do conhecimento para que o setor possa se fortalecer no país. O eixo contou com 3 painéis diferentes, no qual o painel “Engajando as novas gerações: o futuro do setor nuclear” ocorreu no primeiro dia do evento, o painel “Gestão de conhecimento” ocorreu no segundo dia do evento e o painel “Da academia para a indústria” foi realizado no terceiro dia.

7.1. Da academia para a indústria

Durante o painel “Da academia para a indústria”, foram discutidos os desafios relacionados à mão de obra no setor nuclear, além da necessidade de capacitar, transferir conhecimento e formar profissionais para que o setor possa se fortalecer cada vez mais. O painel foi moderado pela assessora científica da FAPERJ Luciana Lopes.



Figura 10: Foto do painel “Da academia para a indústria”.

Inicialmente, o coordenador do Instituto Militar de Engenharia (IME), Wallace Vallory, mencionou em sua apresentação que, atualmente, o IME tem observado as habilidades necessárias que a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) exige dos profissionais de 2030 para a formação acadêmica dos seus estudantes. Atualmente, a OCDE realiza a divisão em 3 habilidades, sendo elas a habilidade cognitiva, tecnológica e sócio-emocional. Com relação às habilidades cognitivas, o IME buscou desenvolver disciplinas orientadas à publicação para que seja possível desenvolver as capacidades cognitivas. Nessas disciplinas, os alunos são divididos em grupos, que trabalham com um professor que é o mentor e o auxilia na solução de um problema definido e, com isso, é possível realizar publicações em artigos. Ademais, ele salienta que, com relação às habilidades tecnológicas, foram inseridas novas disciplinas que atendam a indústria 4.0, como automação, robótica, IA, entre outras. Já com relação as habilidades socioemocionais, ele salienta que elas são inerentes às instituições militares, visto que eles trabalham no psicológico dos seus alunos, forçando-os a trabalhar em equipe.

Posteriormente, ele menciona que, com relação ao desenvolvimento de projetos de inovação, é necessário pensar nas necessidades do mercado e unir com a formação acadêmica e o financiamento que sustentará esse ecossistema. Por conta disso, o IME busca desenvolver projetos com um Nível de Maturidade Tecnológica (Technology Readiness Level - TRL) acima de 4 (em uma escala de 1 a 9), ousando níveis um pouco mais acima das universidades, que buscam TRL de 1 até 3, pois os

órgãos de fomento concentram os seus investimentos em TRLs de 4 até 8. Por conta disso, ele menciona que, com relação ao impacto social, houve um aumento substancial na quantidade de artigos com periódicos indexados, a entrega dos produtos das pesquisas para o IME e a atração de novos investimentos para a instituição.

Após essa apresentação, o vice-coordenador do Programa de Engenharia Nuclear (PEN) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Giovanni Laranjo, expõe que, inicialmente, a engenharia nuclear nasceu na academia, com o advento do projeto Manhattan que realizou uma parceria entre diversos acadêmicos. Além disso, somente por meio da academia a indústria é capaz de ser aprimorada continuamente, pois a academia realiza estudos de corrosão, comportamento dos combustíveis, análises determinísticas, simulação de acidentes, entre outros. Ele menciona que o atual avanço da indústria nuclear com os reatores modulares nasceu de conceitos da academia, que buscaram desenvolver reatores menores e que podem ser criados com mais agilidade em linhas de montagem.

Ademais, ele salienta que, atualmente, a UFRJ possui a intenção de criar um laboratório que será ligado a projetos de reatores, de forma a capacitar os alunos para o mercado profissional e para utilizar métodos como o método de Monte Carlo e a *Computational Fluid Dynamics* (CFD), que é uma demanda importantíssima para o mercado. Por fim, ele menciona que está movimentando iniciativas para explorar o potencial do tório ao invés do urânio nos próximos projetos industriais brasileiros, visto que o país possui o tório em abundância e ele poderá, no futuro, se tornar uma *commodity*.

Posteriormente, o Coordenador do Inova USP, Marcelo Zuffo, pontuou que a principal solução para uma maior integração entre a academia e a indústria seria por meio do adensamento do atual ecossistema, principalmente nas áreas sensíveis como a área militar, no agronegócio, no tratamento de doenças e transição energética. Além disso, a USP tem atuado em conjunto com os professores desenvolvendo cursos de empreendedorismo para que os alunos possam inovar e até mesmo construir fábricas. Ele menciona que por meio desses programas foi possível criar mais de 3.000 empresas e 8 unicórnios (startups de tecnologia que são avaliadas em pelo menos um bilhão de dólares, antes de abrir capital na bolsa de valores).

Além disso, eles têm criado um sistema de retroalimentação, no qual os projetos TRL 9 custeiam os projetos TRL 1, criando um fundo patrimonial que sustenta todos os projetos, o que os tornou capazes de obter fundos que passam de 100 milhões de reais. A USP tem trazido diversas iniciativas de impacto nacional, como programas de formação de talentos e feiras de ciências, realizando projetos como o desenvolvimento de ventiladores e veículos movidos a hidrogênio. Por fim, eles têm

realizado programas de colaboração entre diversas instituições, de forma a tornar possível a criação de um ecossistema colaborativo no mundo.

Após essa apresentação, a Especialista em Propriedade Intelectual e Inovação da CNEN Daniela Cerqueira salienta que, atualmente, a CNEN tem buscado colaborar com a academia, a indústria e as startups, buscando formas de perenizar e escalar as tecnologias que saem dos laboratórios. Isso é feito tentando promover ambientes de inovação, criando parcerias de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI), fornecendo serviços tecnológicos voltados para a inovação e o compartilhamento/uso das atuais instalações da CNEN para estudo. Ademais, ela menciona que, atualmente, a academia ainda possui diversas frentes que ainda precisam ser trabalhadas em parceria com a indústria, para que ambas possam crescer cada vez mais, como a área de nanomateriais, dispositivos dosimétricos, nanopartículas para medicina, realidade virtual, entre outros.

Porém, ela menciona que, atualmente, ainda existem alguns desafios a serem cumpridos, como o fortalecimento da cultura de inovação e desenvolvimento de negócios entre os pesquisadores, formando líderes em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias. Finalmente, ela reafirma a necessidade de se avançar nos processos de licenciamento e comercialização e de estabelecer parcerias internacionais que inspirem a realização desse processo, tornando os processos cada vez mais estruturados e colaborativos.

7.2. Engajando as novas gerações: o futuro do setor nuclear

Durante a série de apresentações, discutiu-se sobre como atrair novos talentos para o setor nuclear, tendo em vista a necessidade de se perpetuar o conhecimento para as próximas gerações. Para que isso pudesse ocorrer, abordou-se à respeito de programas de educação e capacitação de profissionais, discutindo parcerias com universidades dos Estados Unidos, França e Canadá, com enfoque na geração de recursos humanos para a área nuclear. Ademais, o painel explorou a utilização de sistemas de aprendizagem personalizados e da inteligência artificial com o objetivo de promover a inclusão educacional, de forma a moldar o futuro da educação dentro da área nuclear. O painel foi dividido em duas partes principais, tendo em vista a quantidade de palestrantes.



Figura 11: Foto dos palestrantes da primeira parte do painel “Engajando as novas gerações: o futuro do setor nuclear”.



Figura 12: Foto dos palestrantes da segunda parte do painel “Engajando as novas gerações: o futuro do setor nuclear”.

Inicialmente, a Presidente da *American Nuclear Society*, Lisa Marshall, começou a sua apresentação expondo que os Estados Unidos possuem 94 reatores cuja transição entre os funcionários precisa ser feita, visto que os funcionários atuais estão envelhecendo e se aposentando. Porém, muitos alunos que estão se preparando para ingressar em posições nucleares estão sendo contratados por outras

áreas, como a medicina ou áreas correlatas de tecnologia, devido às suas habilidades.

Desse modo, para sanar essa problemática, as universidades estão apresentando a área nuclear para alunos cada vez mais jovens, oferecendo a possibilidade de ingressar formalmente em disciplinas *Science, Technology, Engineering and Mathematics* (STEM) na área nuclear até mesmo no ensino fundamental, além de programas extracurriculares e do método de educação de escoteiros, que visa o desenvolvimento integral dos jovens por meio das suas próprias experiências e desafios. Ademais, eles estão ingressando em igrejas que oferecem workshops educacionais e oferecendo movimentações laterais para pessoas que estão estudando para outros setores, buscando sempre gamificar o aprendizado de forma a atrair novos talentos.

Posteriormente, Patrícia Wieland, Diretora do Hackapower da ABDAN, mencionou que é necessário realizar a ligação entre a academia e a indústria, reguladores e associações de forma a captar cada vez mais talentos ao redor do Brasil. Por conta disso, em 2023, uma das soluções propostas pela ABDAN foi o Hackapower, que é organizado anualmente e possui mentorias, palestras e reuniões de acompanhamento para os candidatos. Por meio do Hackapower, é possível integrar o setor industrial e acadêmico para trabalhar em soluções de problemas reais que o Brasil enfrenta na área nuclear.

Para a edição de 2025, o Hackapower está abordando três temas principais: a energia nuclear em aplicações marítimas, sustentabilidade, com enfoque nos materiais radioativos naturalmente presentes que podem ser encontrados na mineração convencional e até mesmo na indústria do petróleo e a utilização da radiação para preservar os alimentos. O Hackapower contou com a inscrição de 37 universidades, e pretende-se, com a sua organização, preparar os universitários para ingressar futuramente nos empregos do setor nuclear, formando a próxima geração.

Após essa apresentação, Pedro Cavalcante, Secretário-Adjunto de Coordenação e Governança das Empresas Estatais do Ministério da Gestão e Inovação, expôs que, atualmente, o Brasil possui diversas organizações estatais que estão focadas na agenda nuclear, como a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que gerencia muitos institutos e pesquisas relacionadas à política nuclear em todo o Brasil, cuja atividade é complementada por diversas instituições estatais, como a Eletronuclear, as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), a Nuclebrás Equipamentos Pesados (Nuclep), entre outros. Ele menciona que a energia nuclear é de grande interesse para o Brasil por ser limpa e por oferecer estabilidade energética e sustentabilidade para a matriz energética brasileira. Ademais, ele pontua que o Brasil possui o potencial para dominar o ciclo do combustível nuclear e, a partir disso, torna-se necessário a continuidade do investimento em inovação científica no setor estatal. Ainda, centra-se na necessidade de integrar universidade, indústria e órgãos

reguladores para assegurar uma cadeia de formação de talentos competitiva e inovadora. Apresentou-se, também, metas de curto e médio prazo que envolvem a modernização do parque tecnológico, o incentivo à pesquisa aplicada e o fortalecimento de parcerias internacionais. Enfatizou-se a relevância de estratégias de comunicação e disseminação do conhecimento técnico para consolidar a confiança social e institucional no uso pacífico da energia nuclear. Para a materialização dessas propostas, tornam-se essenciais as ações conjuntas do Estado, órgãos de fomento, universidades e empresas de educação privada, para consolidar uma forte base em capacitação de recursos humanos, para garantir o avanço de uma matriz energética diversificada, segura e sustentável.

E então, foi possível concluir, na primeira parte das palestras, que a renovação de talentos da área nuclear tem se tornado uma preocupação crescente ao redor do mundo, e constatou-se que é possível despertar o interesse dos jovens por meio de metodologias mais ativas de aprendizagem, criando disciplinas que abordem mais sobre a área nuclear e criando atividades extracurriculares, como os Hackapowers, tornando possível a atração de novos talentos para o Brasil.

Para a segunda parte do painel, a Vice-Reitora do *Moscow Engineering Physics Institute* (MEPhI), Elena Vesna, introduziu sobre a universidade russa, que possui de 14 a 17% de estudantes estrangeiros e, dos estudantes formados, aproximadamente 37% deles são contratado pela *Rosatom*, uma das principais corporações estatais na área de energia nuclear. Além disso, ela menciona que, atualmente, a Rosatom possui interesse na atração de novos talentos, principalmente na área de Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação. Por conta disso, ela salienta que, para que seja possível continuar a atração desses jovens para as indústrias, é necessário configurar o plano acadêmico de forma muito certeira, de maneira a atender as demandas da indústria. Por conta disso, a MEPhI trabalha organizando eventos educacionais e profissionais para as crianças e adolescentes, além de trabalhar em conjunto com a Rosatom por meio de programas de orientação profissional. Para atrair os estudantes estrangeiros, a universidade se propôs a realizar programas em parcerias com universidades estrangeiras, tal como o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) no Brasil, com um programa de mestrado no qual o estudante passará 1 ano no Brasil e 1 ano na Rússia.

Ressaltou-se, em sua palestra, a necessidade de financiamento de bolsas de estudo para assegurar a permanência de estudantes no setor nuclear, além de incentivar a criação de projetos de extensão para atrair jovens ao campo da Engenharia Nuclear. A palestrante pontua ainda as ações voltadas à difusão do conhecimento e à integração do setor acadêmico e industrial, com o objetivo de ampliar a capacidade técnica e científica do país. Ela finalizou reforçando a importância de estratégias de educação continuada e de promover o engajamento de

novos talentos, que são essenciais para garantir o desenvolvimento da energia nuclear brasileira frente aos desafios energéticos e tecnológicos globais.

Posteriormente, Alan Miranda, Coordenador do Programa de Engenharia Nuclear do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) ressaltou que a principal medida que pode ser tomada para atrair novos jovens para o setor nuclear seria gerar novos empregos para a área e construir uma nova usina brasileira, visto que, nos dias atuais, o Brasil possui apenas duas usinas em funcionamento e, sem empregos, não há a possibilidade de que futuras gerações se interessem na área. Além disso, ele menciona que é essencial fortalecer os laços entre as universidades e as atuais instituições nucleares brasileiras públicas e privadas, de forma a trazer novos profissionais de excelência para atuar nos setores acadêmico e industrial. Ele menciona que é essencial expandir a divulgação de pesquisas e estudos de pós-graduação, de forma a gerar uma maior inclusão das pessoas que estão se formando como profissionais da área.

Salientou-se que o engajar as futuras gerações para o setor nuclear é essencial pois os engenheiros nucleares brasileiros se destacam internacionalmente, possuindo plenos conhecimentos no processo de produção de combustível e tecnologia suficiente para processamento de urânio e no desenvolvimento de novas soluções para a indústria agrícola, da saúde e na área ambiental, de forma que são capazes de propor soluções para as atuais necessidades do setor.

Por fim, Leandro Gomes Carvalho, professor da Universidade de São Paulo, reforça que diversos países têm se preocupado com a falta de profissionais da área no futuro, visto que, com o tempo, a tendência é que exista uma falta de mão de obra com a experiência e qualificação necessária, além do fato de que a geração atual está envelhecendo e, gradativamente, saindo do mercado de trabalho. Por conta disso, o palestrante sugere a ampliação de programas de formação, incluindo a participação de estudantes de graduação e do ensino médio em atividades de iniciação científica e estágios, além de promover eventos de extensão que aproximem a academia da indústria. Ele também destaca a importância do apoio institucional e do financiamento de bolsas de estudo para manter o ritmo de formação de profissionais altamente qualificados, contribuindo para a autonomia tecnológica e o desenvolvimento da indústria nuclear brasileira, alinhando-se às perspectivas de crescimento e inovação do setor nacional.

Portanto, concluiu-se que a atração de novos talentos para o setor nuclear tem se tornado uma preocupação crescente no Brasil e ao redor do mundo, sendo essencial fortalecer os laços entre a academia e a indústria e desenvolver projetos de extensão, atividades extracurriculares (como os Hackapowers e outras atividades que são voltadas para solucionar problemas reais da indústria) e financiamentos de

projetos do setor, de forma a despertar o interesse nos mais jovens e para a manutenção e desenvolvimento da área.

7.3. Gestão do Conhecimento

Durante o painel “Gestão do Conhecimento”, focou-se na disseminação e preservação do conhecimento no setor nuclear, com ênfase na abordagem de estratégias para gerenciar e transferir expertise entre as gerações, de forma a minimizar o impacto das eventuais aposentadorias e mudanças tecnológicas. Além disso, foram apresentadas as atuais boas práticas, programas de empresas do setor nuclear e ferramentas que auxiliam a garantir eficiência e a continuidade das organizações.



Figura 13: Foto dos palestrantes do painel “Gestão do Conhecimento”.

Inicialmente, Leandro Xingó, Diretor de Gestão Corporativa da Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar) mencionou que a discussão de tal tópico é extremamente importante pois ele vivenciou uma crise de gestão de conhecimento na prática na ENBPar pois, com a sua criação em 2022 (e a privatização da Eletrobrás), programas como o Luz para Todos, que visa combater a pobreza energética enfrentaram uma redução significativa no seu efetivo, atuando com 22 funcionários a menos, o que comprometeu a eficiência e o planejamento da organização. Além disso, ele mencionou que a gestão do conhecimento tem sido uma preocupação em outros países, visto que, em locais

como a China, investe-se em produção de conhecimento por meio da pesquisa, o que faz com que o país se torne uma potência mundial.

Posteriormente, o Gerente de Gestão do Conhecimento da Amazul Tomé Machado pontuou que a gestão do conhecimento é o combustível da inovação e, por conta disso, atualmente, a Amazul possui um núcleo de inovação tecnológica (NIT), com um comitê de inteligência artificial que gera produtos para os projetos, pois a Amazul possui o atual entendimento de que a inovação é essencial para uma empresa de tecnologia, estabelecendo a missão principal de desenvolver, transferir e manter tecnologias por meio da gestão de conhecimento, inovação e de pessoas. Contudo, ele menciona que o ponto principal da gestão do conhecimento se concentra na gestão de pessoas, estabelecendo uma remuneração digna e com perspectivas de trabalho e de futuro, gerando empregos para essas pessoas, colocando o funcionário da Amazul no coração da empresa, pois é ele quem efetivamente irá cumprir a sua missão.

Com relação aos desafios, ele menciona que a Amazul tem enfrentado questões no que tange à aposentadoria e as rápidas mudanças tecnológicas, além da diferença entre os diversos perfis geracionais, o que poderá levar à perda de conhecimento crítico. Por conta disso, a Amazul criou um centro de treinamento, voltado para treinamentos técnicos e transferência de conhecimento, além de realizar o mapeamento de pessoas chaves que possuem conhecimentos específicos e que são essenciais para a manutenção da empresa. Por fim, ele salienta que a Amazul classifica os conhecimentos com base em sua prioridade e risco, o que impede a perda de conhecimento vital para a empresa.

Posteriormente, Ricardo Sánchez, Vice-Presidente de Operações de treinamento, simulação e sala de controle da Westinghouse expõe como o advento da inteligência artificial está revolucionando a gestão do conhecimento. Inicialmente, ele menciona que a inteligência artificial visa simular a inteligência humana por meio dos seus processos de aprendizagem, adquirindo conhecimento por meio da informação e dos dados, realizando constantes autocorreções. Tais processos são realizados por meio do Machine Learning, o *Natural Language Processing* (NLP), *Computer Vision* e pela robótica, que atua de forma a semi-automatizar ou até mesmo automatizar os trabalhos físicos.

Por conta disso, ele menciona que a inteligência artificial está sendo um importante catalisador para a gestão do conhecimento pois está automatizando processos, classificando documentações e gerindo fluxos de trabalho, fornecendo informações valiosas por meio da sua análise de dados, de forma a apresentá-los de uma maneira fácil aos usuários, personalizando o conteúdo de acordo com as experiências de cada usuário. Além disso, é possível utilizar *chatbots* ou assistentes virtuais para perguntar diretamente e obter respostas em linguagem natural, utilizando IAs treinadas especificamente para os propósitos da empresa, como a Hive e Bertha,

que são IAs utilizadas pelos engenheiros da Westinghouse. Desse modo, torna-se possível gerir o conhecimento com eficiência e redução de custos, utilizando inovação e criatividade, com uma experiência orientada para o perfil de cada usuário.

Posteriormente, Ricardo Augusto da Silva Alfenas, da área de Comunicação Institucional e Gestão do Conhecimento no Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC), da CNEN, mostra que, atualmente, houve uma redução no número de servidores públicos na LAPOC, saindo de 66 funcionários em 2010 para 29 nos dias atuais, com diversos processos de aposentadorias em aberto. Por conta disso, eles têm buscado a redução do conhecimento tácito (baseado nas experiências) e apoio ao desenvolvimento e formalização de processos padronizados, além de transmiti-los aos novos funcionários.

Desse modo, a LAPOC buscou orientar as suas práticas para o planejamento, identificação, extração, registro e arquivamento de conhecimentos críticos, de forma a preparar a futura geração que atuará na área. Para que isso pudesse ser realizado, foram gravados diversos procedimentos técnicos e administrativos de trabalho, postando o conhecimento nas mídias sociais e disponibilizando para quem quer utilizar o conhecimento, mesmo que sejam pessoas externas à LAPOC. Além disso, foi criado um portal do conhecimento (que consiste em arquivos em Sharepoint disponíveis para os funcionários acessarem), um Power BI e um projeto chamado Projeto QR Code, que consiste na disponibilização de diversos QR Codes nas áreas dentro dos laboratórios, no qual o funcionário aponta o celular e pode aprender os procedimentos exigidos no local, sem precisar perguntar para outros. Por meio dessas ferramentas, o servidor consegue ter mais independência e pode aprender à medida que vai conhecendo os locais.

Por fim, o Engenheiro de Controle da ATECH, Bruno Almeida Muniz revela que, atualmente, o Brasil se encontra em um cenário no qual há escassez de talentos com conhecimento aprofundado na área, o que é conflitante com o crescente aumento da demanda na área. Essa escassez tem ocorrido por conta da absorção desses profissionais por outras áreas, como o setor de óleo e gás, além da falta de oportunidades no Brasil, o que força as pessoas a procurar oportunidades no exterior. Além disso, o fato de que alguns projetos não surgiram ou evoluíram com tanta força fez com que o setor perdesse atratividade.

Por conta disso, a ATECH tem incentivado os seus colaboradores a se desenvolverem, participando de programas de mestrado e doutorado, além de incentivar a sua participação em eventos relevantes da área, como o NT2E e outras feiras nacionais e internacionais. Além disso, tem sido realizado um plano de treinamento externo customizado para os colaboradores, com base na frente de atuação de cada colaborador, no qual os profissionais mais experientes passam o conhecimento aos mais novos. Para a captura dos conhecimentos existentes, a empresa possui um software de gestão do ciclo de vida do produto, que realiza o

controle de toda documentação dos projetos que a ela atua. Além disso, eles possuem servidores dedicados para armazenar as documentações confidenciais. Por fim, ele pontua que a empresa realiza *job rotations*, que permite que os colaboradores atuem nas diversas frentes de um projeto, de forma a ter uma visão geral de todo o trabalho que é realizado, desenvolvendo conhecimentos tácitos e ganhando experiências.

Portanto, foi possível concluir por meio do painel que, nos dias atuais, a gestão de conhecimento tem se tornado um tópico cada vez mais importante, visto que o quadro de funcionários das diversas empresas tem envelhecido e pelo fato de que a área nuclear perdeu atratividade com o passar dos anos. Por conta disso, há o risco da perda de conhecimentos essenciais para a manutenção dos diversos projetos no setor nuclear. Para mitigar essa problemática, é essencial incentivar o desenvolvimento dos funcionários que atuam no setor a entrar em programas como mestrado, doutorado, além de participar de eventos sobre a área nuclear. Ademais, é necessário criar e consolidar ferramentas que busquem extrair e armazenar o conhecimento, tais como a utilização de Sharepoints, Power BIs e treinamentos online, para que o funcionário possa acessar o conteúdo e se informar sempre que necessário. Por fim, é necessário integrar cada vez mais a inteligência artificial na gestão do conhecimento, pois ela é capaz de transmitir o conhecimento com eficiência e de forma personalizada aos colaboradores, aprendendo com base nas necessidades das organizações.

8. Modernização da Regulação

O eixo temático “Modernização da Regulação” discutiu o marco regulatório das normas e regulações para acompanhar os avanços tecnológicos, dentre eles os do SMRs e MMRs, visando garantir a segurança e eficiência do setor. O eixo contou com dois painéis, no qual o primeiro, intitulado “Melhoria do marco regulatório” ocorreu no segundo dia do evento, enquanto o painel “Regulação de SMRs” ocorreu no último dia do evento.

8.1. Melhoria do marco regulatório



Figura 14: Foto dos palestrantes do painel “Melhoria do marco regulatório”.

Inicialmente, a apresentação de Alessandro Facure, Diretor da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), abordou a necessidade de atualização do marco regulatório da energia nuclear no Brasil, impulsionada pela crescente inovação tecnológica e pela emergência de novos modelos de negócio. Atualmente, o setor enfrenta um quadro regulatório desatualizado, que compromete a segurança jurídica, limita investimentos e freia a plena implementação de avanços técnicos, como os *Small Modular Reactors* (SMRs) e a expansão da medicina nuclear e mineração de urânio.

Ele analisa, também, os fundamentos constitucionais, o marco regulatório vigente e os desafios regulatórios para a expansão da energia nuclear no Brasil. Destacam-se os três pilares constitucionais que regem o setor: o uso exclusivamente pacífico, o monopólio estatal sobre serviços e mineração nucleares e, por último, a restrição da localização das usinas a locais definidos por leis federais. Atualmente, tais pilares moldam a estrutura legal e política para exploração nuclear.

Para enfrentar esses desafios, o palestrante sugere a elaboração de um novo marco regulatório que permita maior participação da iniciativa privada na geração nuclear, sob controle estatal efetivo, garantindo o papel normativo e fiscalizador da União. Além disso, defende a necessidade de adequações legais que garantam segurança, financiamento sustentável, inovação tecnológica e estabilidade jurídica. Adicionalmente, ele enfatiza que a energia nuclear pode servir como fonte estável e complementar às renováveis, suprindo a insuficiência de inércia no sistema elétrico brasileiro e contribuindo para a segurança energética nacional. O diagnóstico técnico

conclui, portanto, que o futuro da energia nuclear no Brasil depende da construção de um marco regulatório moderno, claro e que combine desenvolvimento sustentável com controle estatal rigoroso.

Desse modo, a atual interpretação do monopólio do Estado necessita de uma delimitação mais clara entre atividades minerárias e serviços nucleares, a fim de evitar insegurança jurídica e decisões estratégicas paralisadas. A proposta defende, também, uma abertura regulada ao setor privado, mantendo-se o papel de fiscalização e regulação sob controle estatal rigoroso, com possibilidade de delegar alguns serviços mediante legislação específica, incluindo mecanismos de *golden share* para garantir soberania.

Com relação aos SMRs, a necessidade de regulação específica se destaca pela sua inovação e potencial de aplicações descentralizadas, de forma que a participação internacional ativa para desenvolver uma equiparação regulatória é considerada prioridade, incluindo a revisão de normas nacionais, como a CNEN NN 1.03, para incorporar critérios de licenciamento diferenciados. Além disso, a atualização do marco trata da importância de ajustes legislativos para prever a operação de SMRs por entes privados, assegurando segurança jurídica e permitindo avanços tecnológicos em uma moldura regulatória moderna e eficiente.

Portanto, Alessandro Facure busca criar uma base legal que aporte segurança, previsibilidade e inovação, promovendo maior atração de investimentos e o desenvolvimento do setor nuclear no Brasil. Essa transformação regulatória contempla o fortalecimento institucional, a modernização das normas técnicas e a abertura responsável ao setor privado, sem perder de vista os valores de segurança pública, soberania nacional e inovação tecnológica.

Em complementaridade, a apresentação de Leonam Guimarães, Consultor da Amazul, detalha o atual cenário do marco regulatório da energia nuclear no Brasil e propõe uma modernização que visa fortalecer o setor, garantir a segurança, promover a inovação e ampliar a sustentabilidade. O modelo vigente centraliza as atividades nucleares em monopólio estatal, especificamente na Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), restringindo a participação privada na geração de energia nuclear, ciclo do combustível e aplicações médicas e industriais, ainda que possua uma relação estabelecida com órgãos governamentais e a Marinha, que detêm competências fundamentais nas áreas de pesquisa, fiscalização e aplicação militar.

Além disso, ele apresenta dados quantitativos sobre a infraestrutura atual e planejada, ressaltando a importância da energia nuclear para o equilíbrio do sistema elétrico e como suporte à integração das fontes renováveis intermitentes. Adicionalmente, ele explica os esforços para garantir a segurança das instalações nucleares e a responsabilidade civil associada, bem como a urgência da definição de regras claras para o ciclo do combustível e o descomissionamento das usinas.

Ainda, o palestrante sugere a substituição dessas estruturas por parcerias público-privadas, além de estabelecer um novo marco legal com regras claras de governança, regimes de concessão e autorização para atividades nucleares, além de consolidar normas de segurança e responsabilidade civil. Além disso, a apresentação revela a importância de políticas públicas com incentivos à pesquisa e desenvolvimento, integração público-privada e comunicação transparente para fortalecer a aceitação social.

Ademais, o palestrante reforça a importância de uma legislação abrangente que possa definir as diretrizes estratégicas do uso pacífico da energia nuclear e promover a inovação tecnológica, inserindo o setor nuclear de forma mais estruturada no mercado, incentivando o desenvolvimento de tecnologias limpas, seguras e sustentáveis, alinhando-se às melhores práticas internacionais e às necessidades de segurança energética do Brasil. Desta maneira, a modernização do marco regulatório revela-se vital para transformar o setor nuclear brasileiro em um ativo estratégico para o desenvolvimento nacional, garantindo uma operação segura, eficiente e inovadora.

Por fim, Leonam Guimarães aponta para a necessidade de um marco regulatório que assegure estabilidade jurídica e regulatória, garantias contratuais e mecanismos de financiamento que viabilizem projetos nucleares e que possam consolidar o papel da energia nuclear no futuro energético brasileiro.

O tema do painel é aprofundado por Reive Barros, Diretor da Acrópolis Energia, que apresenta uma proposta de Lei Geral Nuclear para modernizar o setor nuclear brasileiro, promovendo governança integrada, regimes claros de atividade, padrões rigorosos de segurança e incentivos à inovação. Como princípio fundamental, acentua-se o uso pacífico da energia nuclear e propõe-se a criação do Conselho Nacional de Política Nuclear para coordenar diretrizes setoriais entre ministérios, visando fortalecer o alinhamento institucional e estratégico do setor.

Por conta disso, a proposta estabelece regimes específicos para concessão e autorização, contemplando geração nuclear, ciclo do combustível e aplicações médico-industriais, configurando uma estrutura regulatória que promova eficiência operacional e segurança jurídica. Já no campo da segurança, a legislação busca consolidar normas abrangentes sobre proteção radiológica, salvaguardas internacionais e responsabilidade civil atualizada, garantindo a integridade das instalações e a mitigação de riscos. Com o intuito de fomentar a inovação e a sustentabilidade, propõem-se mecanismos de estímulo à pesquisa tecnológica com participação público-privada, ampliando o desenvolvimento de tecnologias nucleares brasileiras.

Por fim, ele ratifica a necessidade de um marco legal coerente, capaz de viabilizar parcerias privadas na geração elétrica nuclear, mantendo, contudo, o controle estatal conforme a constituição. Em síntese, a proposta visa criar uma base legal moderna que equilibre segurança, inovação, sustentabilidade econômica e

controle público, habilitando o Brasil a expandir seu segmento nuclear de forma planejada e segura.

8.2. Regulação de SMRs



Figura 15: Foto dos palestrantes do painel “Regulação dos SMRs”.

Inicialmente, a apresentação realizada por Stewart Magruder, Consultor Sênior da Comissão Reguladora Nuclear dos Estados Unidos (NRC), abordou o processo regulatório dos Small Modular Reactors (SMRs) nos Estados Unidos. Ele expõe a estrutura normativa adotada pela NRC, destacando os desafios e as estratégias para licenciamento acelerado dessas tecnologias emergentes. Além disso, enfatizou-se a importância de um modelo regulatório adaptativo que considere as especificidades dos SMRs, como uma menor escala, modularidade e sistemas passivos. Adicionalmente, foram apresentados estudos de casos e exemplos práticos, demonstrando o avanço da NRC em guiar a implementação segura e eficiente dos SMRs, considerando aspectos de segurança, confiabilidade e gestão de riscos.

Posteriormente, Magruder detalha os programas de certificação modular, que facilitam a substituição e manutenção de unidades, além da integração das Análises Probabilísticas de Segurança para assegurar níveis apropriados de defesa em profundidade. Ressaltou-se, também, o papel fundamental da parceria entre órgãos reguladores, indústria e instituições de pesquisa para acelerar a introdução dos SMRs no mercado nuclear norte-americano, mantendo altos padrões de segurança e conformidade ambiental. Ademais, o palestrante discutiu também a relevância das lições aprendidas com reatores tradicionais e a adaptação de normas vigentes para

as características únicas dos SMRs, enfatizando o equilíbrio entre inovação tecnológica e regulamentação rigorosa.

Depois dessa apresentação, Nelbia da Silva, Chefe da Coordenação de Reatores da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) expôs uma análise dos desafios e perspectivas do licenciamento dos Pequenos Reatores Modulares no contexto brasileiro. Destaca-se, também, a relevância crescente dos SMRs como alternativas para diversificação da matriz energética e fortalecimento da segurança energética nacional. Além disso, ela traz uma exposição crítica sobre as normas em elaboração pela CNEN, especialmente a NE 1.21 e NN 1.29, que abordam, respectivamente, a manutenção e a aplicação da análise probabilística de segurança em plantas nucleares.

Ainda, a palestrante ressalta a complexidade da modularização intrínseca aos SMRs, evidenciando as limitações e facilidades associadas ao acesso aos módulos para manutenção, além dos riscos vinculados ao transporte e à substituição integral dos mesmos, algo inovador frente aos reatores convencionais. Aponta-se, também, que essa característica demanda regimes de manutenção atualizados, mão de obra localmente qualificada e a necessidade de garantir que a qualidade fabril dos equipamentos não seja comprometida durante o serviço em campo. Adicionalmente, a apresentação integra conceitos internacionais e experiências da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), ilustrando a importância do alinhamento com práticas globais para garantir a segurança e eficiência regulatória dos SMRs no Brasil.

Por fim, o Dr. José Antônio, Chefe do Departamento de Controle Regulatório e Novas Tecnologias da Secretaria Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ), detalha em sua apresentação, os aspectos regulatórios da implantação e operação dos SMRs embarcados sob a jurisdição da Secretaria Naval de Segurança Nuclear e Qualidade do Brasil. Ele enfatiza o marco regulatório federativo que institui a exclusividade do Estado brasileiro sobre a atividade nuclear, reforçada por legislação específica que define a competência da Marinha para licenciar, controlar e inspecionar ativos nucleares navais.

Posteriormente, José Antônio se aprofundou na estrutura normativa vigente e em desenvolvimento, incluindo normas como a CNEN NN 1.29, que discute o uso da análise probabilística de segurança em plantas nucleares. Destacou-se, também, a importância da adaptação das diretrizes internacionais para o contexto específico da operação marítima, onde fatores como o ambiente hostil, logística de manutenção a bordo e a necessidade de garantir a segurança da tripulação e do meio ambiente se tornam críticos.

Finalmente, o palestrante descreve os desafios para estabelecer procedimentos que considerem os níveis de Defesa em Profundidade específicos para SMRs e as características próprias de sistemas passivos integrados a

embarcações. Ele ainda aborda o papel da Autoridade Marítima na segurança da navegação, proteção ambiental e coordenação com outras entidades governamentais. Esta combinação de normativas e estratégias busca garantir que os SMRs a bordo operem com elevados padrões de segurança e conformidade, abrindo caminho para a inovação energética da Marinha do Brasil.

9. Inovação Tecnológica

O eixo temático “Inovação Tecnológica” discutiu a inteligência artificial, o uso de novas tecnologias nucleares, como SMRs, empreendedorismo no setor energético e aplicações industriais inovadoras na área de medição, à luz das principais tecnologias e demandas atuais do mercado nuclear. Nesse eixo, os painéis “Empreendedorismo no setor de energia”, “O mundo com Inteligência Artificial” e “Tecnologias Avançadas de medição de radiação” ofereceram novas soluções para os atuais desafios neste setor.

9.1. Empreendedorismo no setor de energia



Figura 15: Foto dos palestrantes do painel “Empreendedorismo no setor de energia”.

A apresentação de Andréia Lopes, Coordenadora de Conexões Empresariais do Sebrae, apresenta uma estrutura detalhada do programa de inovação aberta como mecanismo para promover a maturidade inovativa e a transformação cultural nas organizações. A metodologia se organiza em oito módulos que abrangem diagnósticos precisos, desenvolvimento da cultura inovadora, aprimoramento da governança e gestão, mapeamento de oportunidades e definição estratégica de desafios reais para promoção da inovação. O programa utiliza ferramentas de

conexão com o ecossistema externo de startups e universidades, favorecendo a cocriação e prototipagem de soluções inovadoras alinhadas aos objetivos organizacionais, além de implementar estratégias para validação e disseminação dos resultados obtidos.

Este ciclo contínuo acentua a adaptação e expansão dos processos inovativos, consolidando a inovação como prática constante e estratégica. O programa direciona seus serviços para públicos empresariais diversos, ofertando projetos customizados que envolvem diagnóstico empresarial e da cadeia, tratamento e certificação, excelência operacional e fortalecimento de clusters, bem como acesso a mercados digitais, internacionais e segmentados. Destacam-se as facilidades para acesso a crédito, instrumentos de fomento à inovação, corporate venture e fundos de investimentos inovadores, promovendo um ambiente favorável à geração de valor e sustentabilidade.

O ecossistema de inovação é descrito como um conjunto integrado de instituições de ensino, ciência, tecnologia, incubadoras, aceleradoras e escritórios focados em captação de recursos, que estruturam competências nas áreas de gestão energética, segurança cibernética, tecnologias aplicadas, arquitetura, engenharia e turismo sustentável, além de segmentos emergentes como tecnologias em hidrogênio. Adicionalmente, o programa pontua temas relevantes à economia circular, responsabilidade social corporativa e práticas do *Environmental, Social and Governance* (ESG), evidenciando sua preocupação com impactos sociais e ambientais. A abordagem multidisciplinar contribui para desenvolver capacitações internas e ampliar as fronteiras da inovação empresarial, garantindo conectividade com as demandas do mercado e desafios contemporâneos. Dessa forma, a palestrante demonstra como a inovação aberta, articulada com o ecossistema e pautada pela governança eficaz, constitui um vetor essencial para a competitividade e sustentabilidade corporativa no contexto atual.

De forma complementar, a apresentação de Rodrigo Freitas, CEO da empresa ElevenTec, direciona estratégias de inovação aberta estruturadas para impulsionar a competitividade e sustentabilidade em diversos setores econômicos, com ênfase no setor energético, turismo e saneamento. A inovação aberta promove a cocriação de soluções integrando empresas, startups, universidades e comunidade, criando um ambiente colaborativo que facilita o acesso a problemas reais, dados técnicos e infraestrutura para testes. Tal abordagem reduz custos, acelera processos e gera exposições a novas tecnologias, possibilitando oportunidades financeiras e especializadas.

A governança da inovação organizacional segue uma metodologia estruturada em oito módulos, desde o diagnóstico até a implementação, que guia a transformação cultural e capacitação, fortalecendo os processos internos de inovação e facilitando conexões externas com o ecossistema. O palestrante disserta sobre a importância

dos hubs de inovação como plataformas integradoras de competências em ciência, tecnologia, negócios e gestão, além de promover a captação de recursos e investimentos alinhados a prioridades ambientais e sociais. Ademais, ressaltou-se o papel da qualificação técnica e regulatória, transparência e conformidade com normas específicas como condições indispensáveis para inserção competitiva de pequenas empresas em setores estratégicos, incluindo o nuclear.

O programa Conecta reflete a integração entre competitividade, inovação e sustentabilidade nas cadeias produtivas, incentivando a melhoria do desempenho dos pequenos empreendedores por meio de políticas de fomento, transferência tecnológica e adoção de práticas ESG. Em síntese, o documento apresenta um panorama de apoio ao avanço tecnológico, a criação de ambientes propícios à inovação e o desenvolvimento sustentável, assegurando impactos positivos econômicos, sociais e ambientais.

A apresentação de Vanderléia de Souza, Analista Pleno no Centro de Negócios do Itaipu Parquetec, direciona seu foco para as demandas e processos necessários para a inserção e competitividade das pequenas empresas no setor nuclear brasileiro, ao considerar a qualificação gerencial e o atendimento aos requisitos técnicos e regulatórios rigorosos. Foi reforçado que essas empresas necessitam estabelecer boas práticas de ESG, incluindo conformidade com normas específicas de segurança e governança corporativa, a fim de atender aos critérios que assegurem transparência e integridade operacional.

A gestão documental e financeira figura-se como elementos centrais para a viabilização da participação dessas organizações nas cadeias de valor do setor. Adicionalmente, a participação em rodadas de negócios e aproximação com grandes empresas possibilita a transferência de conhecimento, acesso a oportunidades comerciais e fortalecimento do networking industrial, consolidando um ecossistema colaborativo. A palestrante sugere que a inserção das micro e pequenas empresas exige uma capacitação multidimensional que engloba governança, compliance e aprimoramento tecnológico, em consonância com os requisitos regulatórios específicos do setor nuclear. Esta abordagem promove o alinhamento entre o potencial inovador dessas empresas e as demandas estruturais do segmento.

Ainda, enfatizou-se que o setor nuclear demanda níveis elevados de gestão e transparência, que repercutem na credibilidade e capacidade operacional das fornecedoras. A participação ativa em iniciativas colaborativas dentro do setor contribui para o desenvolvimento sustentável e seguro, alinhando-se aos princípios ambientais e às normas de segurança do trabalho e operação. Com base nisso, a apresentação aponta os desafios e soluções para fortalecer a cadeia produtiva nuclear, estabelecendo condições adequadas para a competitividade e expansão de pequenas empresas com foco na inovação, governança e conformidade regulatória. Este suporte técnico constitui premissa de alta relevância para incrementar o

protagonismo das Micro e Pequenas Empresas (MPEs) no cenário estratégico do setor nuclear, contribuindo para a diversificação da cadeia industrial nacional.

Projetos sob medida, construídos conforme a necessidade das empresas, promovem a adoção de estratégias de open innovation, transferência de tecnologia, economia circular, responsabilidade social corporativa, ESG e modelos inovadores de investimento, o que revela um compromisso efetivo com desenvolvimento sustentável e impacto social positivo. Em suma, os programas de inovação aberta e os ecossistemas colaborativos configuram-se como mecanismos fundamentais para acelerar a inovação em setores estratégicos, garantindo uma integração multidimensional no desenvolvimento tecnológico e sustentável no Brasil.

Isaque Ouverney, Gerente de Infraestrutura da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (Firjan), apresenta uma visão abrangente sobre as potencialidades do setor nuclear brasileiro, com ênfase no estado do Rio de Janeiro como polo estratégico da cadeia nuclear nacional. A sua palestra traça conexões entre infraestrutura, economia, inovação tecnológica e política industrial, apontando caminhos para o crescimento sustentável da energia nuclear no Brasil.

A apresentação destacou que o Rio de Janeiro concentra os principais ativos da cadeia nuclear brasileira, incluindo o Complexo Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), a Fábrica de Combustível Nuclear em Resende (INB), a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a NUCLEP, centros de pesquisa como o Instituto de Engenharia Nuclear (IEN) e o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), além da Base Naval de Submarinos Nucleares. Essa estrutura forma um verdadeiro hub nuclear com forte impacto no PIB e na geração de empregos – mais de R\$ 1,6 bilhão e 17 mil postos de trabalho diretos.

O estado abriga também projetos estruturantes como o PROSUB, que prevê a construção do primeiro submarino com propulsão nuclear do Brasil, e o Centro Tecnológico em Segurança Física Nuclear (Centrensf), com o objetivo de posicionar o país como referência internacional na capacitação em segurança nuclear. Outro ponto central é o Plano Nacional de Energia 2050, que projeta a adição de 8 a 10 GW em capacidade nuclear, com a construção de novas usinas, além da conclusão de Angra 3 e a extensão da vida útil de Angra 1 até 2044.

No campo da inovação, ele destaca startups ligadas à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que desenvolvem tecnologias para tratamentos oncológicos com radioisótopos, e iniciativas da Fiocruz e da Embrapa, voltadas ao uso de tecnologia nuclear em saúde e agronomia, como radiomutagênese e controle biológico de pragas. Esses exemplos evidenciam o uso transversal da tecnologia nuclear em setores estratégicos.

A conclusão de Angra 3 é considerada essencial. Com capacidade instalada de 1.405 MW, a usina fornecerá energia para 4,5 milhões de pessoas e atenderá 70% do consumo do estado do Rio de Janeiro, contribuindo com 3% da matriz elétrica

nacional. A usina também impactará positivamente o Sistema Interligado Nacional (SIN), ao reduzir custos por substituir termelétricas mais caras, além de garantir maior segurança no abastecimento energético.

Por fim, sua apresentação propôs uma agenda de ações estruturantes para o fortalecimento do setor, incluindo a reformulação do sistema regulatório, modernização do licenciamento ambiental, planejamento da cadeia produtiva, fomento ao financiamento específico para projetos nucleares, elaboração de uma política industrial voltada à nacionalização tecnológica, e a criação de um Plano Nacional Nuclear de longo prazo, com integração entre indústria, academia, centros de pesquisa e sistema financeiro.

9.2. O mundo com Inteligência Artificial



Figura 16: Foto dos palestrantes do painel “O mundo com Inteligência Artificial”.

Em sua palestra, Marco Antônio de Almeida Fidos Junior, Gerente Técnico da ATECH Negócios em Tecnologias S.A., empresa do Grupo Embraer, apresenta uma análise sobre os impactos da Inteligência Artificial (IA) nas esferas tecnológica, social e industrial, destacando seus desdobramentos estratégicos para setores críticos, como o nuclear. A exposição percorre marcos históricos de inovações disruptivas, posicionando a IA como a próxima revolução com capacidade de transformar o conhecimento humano, a produção industrial e a segurança estratégica.

Segundo o palestrante, a inteligência artificial marca o início da era da “infraestrutura cognitiva”, na qual máquinas não apenas executam tarefas, mas

também produzem conhecimento. A massificação da IA ocorreu em velocidade inédita: apenas 10 a 20 anos após as primeiras aplicações comerciais, ela já está integrada a sistemas operacionais, softwares corporativos, diagnósticos médicos e mobilidade urbana.

No entanto, o avanço acelerado da IA também impõe desafios estruturais. O palestrante destaca que, embora a IA ofereça ganhos expressivos, sua implementação, especialmente em setores regulados como o nuclear, exige critérios rigorosos de confiabilidade, rastreabilidade e “explicabilidade”. Nesse contexto, ganha destaque o conceito de IA Explicável (abreviação do inglês para *Explainable Artificial Intelligence* - XAI), que propõe o desenvolvimento de sistemas transparentes, auditáveis e compreensíveis por humanos, que são essenciais para garantir a adoção segura da IA em ambientes críticos. Assim, a “explicabilidade” é, portanto, condição técnica e ética para o uso da IA em aplicações estratégicas.

A ATECH trabalha no desenvolvimento de soluções seguras e especializadas, como os projetos Hermes (recuperação de conhecimento), Prometheus (IA aplicada ao ciclo de vida de software), CPA-IA (Centro de Excelência em IA para Segurança Cibernética), IAeCS (IA aplicada à consciência situacional e comando e controle) e R2GE (IA para sinais de radar). Essas iniciativas buscam combinar segurança, “explicabilidade” e especialização setorial, especialmente em defesa e infraestrutura crítica. O palestrante concluiu que a adoção bem-sucedida da inteligência artificial passa por modelos auditáveis, especializados e que possam ser compreendidos como se fossem integrantes qualificados da equipe. No setor nuclear, essa abordagem é não apenas desejável, mas obrigatória.

Posteriormente, Gustavo Brito, Sócio e Diretor Global de Indústria Digital Stefanini, apresenta uma análise aprofundada do impacto das tecnologias emergentes, especialmente da inteligência artificial (IA), sobre o mercado de trabalho e a produtividade industrial. A IA é um campo da ciência da computação que cria sistemas capazes de replicar habilidades humanas, tais como aprender, raciocinar, reconhecer padrões e tomar decisões complexas, o que potencializa sua aplicação em áreas variadas como saúde, educação, transporte e finanças. A análise revela que esses avanços trazem benefícios claros, mas instiga debates sobre a segurança e a ética no desenvolvimento tecnológico. Ele debate o histórico sobre a automação de empregos, pontuando que as mudanças tecnológicas frequentemente levam à substituição de tarefas humanas e não demonstram evidências de um efeito líquido positivo na criação de empregos.

Destacou-se a preocupação com o elevado percentual de empregos, cerca de 47% nos Estados Unidos, que enfrentam alto risco de automação no curto prazo, o que reforça a necessidade de adaptação dos mercados laborais e políticas públicas para minimizar as consequências negativas. Para tal, o palestrante propõe que a integração da IA requer coordenação entre setor público, privado e acadêmico e alerta

para a necessidade de um equilíbrio sustentável entre a adoção das tecnologias digitais e a gestão dos riscos sociais decorrentes da automação, como o desemprego tecnológico e as transformações estruturais na força de trabalho.

No âmbito da produtividade, Brito discute a aplicação do sistema SAI Smart Process, desenvolvido para otimizar processos produtivos na indústria, com resultados expressivos como o aumento médio de 3,5% na produtividade, redução de 14% na carga circulante e aumento potencial de 3,6% de esvaziamento dos circuitos produtivos. Essas melhorias confirmam que a incorporação de tecnologias digitais e inteligência artificial pode gerar ganhos significativos na eficiência operacional, ao mesmo tempo em que reduz custos e melhora a flexibilidade da produção.

Em concordância, a apresentação de Marcos Medeiros, Professor Doutor na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), aborda os riscos e desafios associados ao avanço da inteligência artificial a partir da visão de Geoffrey Hinton, pionero da área, que considera os modelos de IA capazes de surgir como “mentes coletivas” e superar significativamente a inteligência humana. Ele discursou sobre o potencial uso antiético dessas tecnologias, incluindo a disseminação de desinformação em massa, bioterrorismo, ciberataques e o emprego de robôs assassinos. Apontou-se ainda que há uma chance estimada em 10% de que a IA cause uma ameaça existencial à humanidade nas próximas duas décadas, o que reforça a urgência de medidas regulatórias e éticas sobre suas aplicações.

A apresentação diferencia conceitos fundamentais da IA, definindo-a como um campo da ciência da computação dedicado à criação de sistemas capazes de executar tarefas que requerem inteligência humana, como aprendizado, raciocínio, reconhecimento de padrões e tomada de decisão. Essa definição reforça a amplitude de aplicações potenciais da IA em setores como saúde, educação, transporte e finanças.

Adicionalmente, ele apresenta um panorama do debate sobre a automatização do trabalho, evidenciando que quase metade dos empregos nos EUA corre risco significativo de ser automatizada no futuro próximo, o que implica desafios para formuladores de políticas e gestores na adaptação das forças de trabalho. A discussão combina dados quantitativos impactantes com reflexões históricas sobre a substituição tecnológica e seus efeitos socioeconômicos.

Conclui-se então, que a inteligência artificial representa uma tecnologia dual, com potencial para acelerar a produtividade e inovação, mas que demanda atenção rigorosa aos riscos associados à segurança e à estabilidade social. Portanto, a necessidade premente de uma abordagem multidisciplinar e colaborativa entre governos, indústria e academia para gerenciar os desafios decorrentes da IA e maximizar seus benefícios para a sociedade.

9.3. Tecnologias Avançadas de medição de radiação

Para introduzir o painel, Josilto de Aquino, Presidente da Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica (SBPR), oferece uma visão abrangente e atualizada sobre os principais avanços tecnológicos em instrumentos de medição de radiação ionizante, dando enfoque na precisão, eficiência e conectividade das novas soluções aplicadas à radioproteção em ambientes clínicos, industriais e ambientais.

Ele inicia a sua abordagem com os detectores de gás ionizável, como as câmaras de ionização, contadores Geiger-Müller (GM) e contadores proporcionais. Esses dispositivos desempenham papel essencial no monitoramento ambiental, segurança em portais de acesso e controle de fontes em hospitais e laboratórios. Apesar de consolidados, enfrentam limitações em resolução espectral e robustez.

Em seguida, o foco recai sobre os detectores de estado sólido, com destaque para semicondutores como silício (Si), germânio hiperpuro (HPGe) e telureto de cádmio-zinco (CZT). Esses dispositivos oferecem alta resolução espectral e sensibilidade aprimorada, sendo ideais para inspeções nucleares e monitoramento de radiofármacos. A confiabilidade e portabilidade desses sensores impulsionam seu uso em espectrometria gama e segurança alfandegária.

Por sua vez, os detectores de cintilação convertem radiação em luz, viabilizando aplicações como tomografia por emissão de pósitrons (PET) e controle de carga em zonas alfandegárias. Cintiladores inorgânicos como NaI(Tl), CsI e BGO, bem como cintiladores plásticos e líquidos, ampliam o espectro de aplicações possíveis com excelente custo-benefício.

A discussão sobre dosímetros pessoais enfatiza o papel de dispositivos modernos como TLDs (termoluminescência), OSLs (luminescência opticamente estimulada) e dosímetros eletrônicos (EPDs), que permitem leitura em tempo real, integração com Bluetooth/NFC e alarmes visuais e sonoros. Esses recursos ampliam a consciência situacional de profissionais da saúde, pesquisa e indústria, promovendo maior segurança operacional.

Nos dias atuais, entre as tecnologias emergentes existentes, destacam-se drones equipados com detectores embarcados, sensores com inteligência artificial para identificação automática de radionuclídeos e sensores baseados em materiais 2D, como o grafeno, com sensibilidade ultrafina. A integração com a Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) viabiliza redes contínuas de monitoramento radiológico em tempo real.

Ainda, ele apresenta também plataformas de gestão digital da dose, incluindo sistemas integrados com geoprocessamento (GIS), modelos preditivos com machine learning e análises automatizadas. Essas inovações reforçam a transição para sistemas de radioproteção conectados, preditivos e autônomos, alinhados aos princípios da radioproteção inteligente.

Por fim, o palestrante concluiu que a tendência dominante aponta para a miniaturização, automação e conectividade dos sistemas de detecção. A escolha adequada do detector deve considerar o tipo de radiação, o ambiente e a finalidade da aplicação. A convergência entre hardware avançado e inteligência computacional representa um salto qualitativo no campo da medição radiológica, oferecendo maior precisão, confiabilidade e capacidade de resposta.

Posteriormente, Gabriel Jabarra apresenta uma análise crítica e especializada sobre os desafios da monitoração individual de doses na indústria de petróleo e gás, com ênfase nas operações *offshore* envolvendo os *Naturally Occurring Radioactive Materials* (NORM). A regulamentação do tema, introduzida apenas em 2019 por meio da NR-37, gerou a necessidade de estruturar mecanismos específicos de controle de exposição.

Atualmente, mais de 100 empresas operam com potencial de exposição à radiação ionizante. No entanto, a descentralização logística e a obrigatoriedade generalizada imposta pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) geram distorções operacionais. A replicação automática das exigências normativas sem análise de risco individualizada compromete a eficácia do sistema de proteção radiológica.

Além disso, a logística de dosímetros enfrenta entraves significativos. A indústria offshore depende de mais de dez aeroportos e trinta portos para movimentação de materiais. A leitura dos dosímetros, com prazo máximo de 90 dias, sofre com extravios, danos e atrasos, comprometendo a rastreabilidade da dose recebida pelos trabalhadores. Dados de 2024 revelam que, de 15.896 dosímetros distribuídos, apenas 16 registraram dose mensurável, enquanto 88 foram danificados ou extraviados.

Ademais, a falta de treinamento adequado contribui para o mau uso dos dosímetros, que são erroneamente tratados como Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). Isso gera uma falsa sensação de segurança, enquanto o controle efetivo das doses permanece negligenciado. O sistema atual exige três remessas em rotação, desafiando os padrões dos laboratórios dosimétricos e elevando os custos logísticos.

Por conta disso, o palestrante propôs um conjunto de medidas corretivas. Primeiramente, ele sugeriu revisar a parametrização do tempo de uso dos dosímetros, uma vez que 30 dias representam apenas uma rotação por trabalhador. Em segundo lugar, recomenda o uso de alternativas de monitoração contínua para atividades de baixo risco, reduzindo a dependência logística e os custos operacionais. Terceiro, defende a adoção de tecnologias com resposta imediata, como dosímetros eletrônicos com alarmes em tempo real, que oferecem maior controle e transparência. Por fim, ele destaca a necessidade de definição clara da obrigatoriedade da monitoração, com base em análise de risco específica por tipo de atividade.

Desse modo, ele finaliza a sua apresentação reforçando a importância de compreender os riscos para enfrentá-los com inteligência. A implementação de tecnologias modernas e análise crítica das exigências normativas são essenciais para aprimorar a segurança radiológica na indústria de petróleo e gás. A proposta destaca-se pela abordagem técnica e estratégica, contribuindo para a construção de políticas mais eficientes e adaptadas à realidade do setor.

Em complementaridade, João Pedro Kleinubing Abal, CEO da empresa VanellusRad, propôs uma inovação inovadora no monitoramento de radiação ionizante ao integrar tecnologia nacional de ponta, conectividade e precisão em tempo real. A radiação ionizante, presente em aplicações médicas, industriais e agrícolas, exige controle rigoroso da exposição devido ao seu potencial de causar danos biológicos severos. Tradicionalmente, a dosimetria segue um modelo reativo, em que os dispositivos são avaliados apenas após o uso. A Vanellus substitui essa abordagem por um modelo proativo, com dosímetros eletrônicos que alertam em tempo real sobre excessos de dose.

Atualmente, o projeto se ancora no princípio ALARA (As Low As Reasonably Achievable), promovendo uma cultura de proteção radiológica 4.0. A qualidade do serviço é evidenciada pela precisão do sistema, estimada em até 200 vezes superior ao modelo convencional. A Vanellus também avança nos estágios de validação com provas de conceito (POCs) e clientes reais, sinalizando maturidade técnica e comercial.

Além disso, a liderança do projeto conta com profissionais com sólida formação em física, engenharia, microeletrônica e gestão, evidenciando capacidade técnica para fabricação, calibração e inovação contínua. A missão da empresa é proteger vidas por meio do sensoriamento inteligente de grandezas físicas críticas à saúde humana e ambiental. O diferencial da solução está na convergência entre monitoramento digital, conectividade móvel e algoritmos de gestão da dose, posicionando-se como referência nacional em radioproteção operacional em tempo real.

Estudos internacionais demonstram que a introdução de monitores ativos reduziu em até 46% a exposição de operadores em procedimentos de fluoroscopia e em cerca de 38% em radiologia de intervenção periférica. Além disso, treinamentos com esses equipamentos geram internalização de boas práticas, resultando em reduções sustentadas de até 40% nas doses recebidas, mesmo após a retirada dos alarmes.

Portanto, a proposta da VanellusRad incorpora um sistema completo, incluindo cinco dosímetros com calibração pelo do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), estação de carregamento simultâneo, tablet e aplicativo Android para visualização instantânea de dose, além de uma plataforma web para

gerenciamento e geração de relatórios. O serviço ainda oferece suporte técnico, recalibração, customização de software e substituição imediata em caso de falha.

Por fim, vale ressaltar a palestra de Senir Raggio Luiz, sobre a empresa RADeCO que desenvolve uma solução integrada de alta tecnologia voltada à segurança pública em ambientes urbanos complexos, com foco na cidade do Rio de Janeiro. A empresa, com mais de 65 anos de experiência e origem no Projeto Manhattan, oferece sistemas avançados para operações especiais, desativação de explosivos, resposta a emergências Química, Biológica, Radiológica e NUCLEAR (QBRN) e busca e salvamento, aliando robótica, inteligência artificial e redes de comunicação tática.

Os testes realizados nas favelas cariocas evidenciaram falhas críticas de comunicação em áreas de risco, destacando a necessidade urgente de implantação de redes robustas. Desse modo, a solução da RADeCO envolve a utilização de robôs *Spot* da *Boston Dynamics*, customizados com câmeras infravermelhas, braços robóticos e sensores QBRN, aliados a rádios MPU5 da *Persistent Systems* com conectividade 5G e antenas setoriais de alta performance. Por conta disso, a tecnologia possibilita vigilância remota, abertura de portas, inspeção em ambientes colapsados e coleta de dados críticos em tempo real.

Nesse sentido, cada módulo inclui treinamento completo, suporte técnico, integração com redes locais e garantia de dois anos. A abordagem da RADeCO visa reduzir mortes e ferimentos entre policiais, bombeiros e civis por meio da automação de tarefas de alto risco e da ampliação da consciência situacional operacional. Com mais de dois mil robôs implantados globalmente, a empresa atende a forças especiais, departamentos de polícia e agências de segurança nos Estados Unidos, Europa e Ásia.

No contexto brasileiro, a RADeCO propõe uma adaptação da infraestrutura para integrar os robôs às operações do BOPE, CHOQUE, Polícia Federal, Corpo de Bombeiros e Defesa Civil. A proposta contempla o fornecimento de dois robôs por agência, com equipamentos personalizados para operações especiais, detecção QBRN, *Explosive Ordnance Disposal* (EOD) e busca e resgate. A inovação está na convergência entre mobilidade autônoma, comunicação segura e resposta tática com dados visuais e sensoriais. Essa solução robusta e flexível oferece uma alternativa tecnológica para atuação em áreas urbanas de difícil acesso, contribuindo para uma política de segurança pública baseada em evidências e mitigação de riscos.

10. Financiamento

O eixo temático “Financiamento” abordou o financiamento dos atuais projetos nucleares existentes, trazendo diversas autoridades ao redor do mundo para debater sobre o assunto, ressaltando sobre um panorama geral do setor de energia nuclear e os atuais desafios em seu financiamento, além de abordar a importância dos

governos e agências de financiamento. O eixo contou com apenas o painel “Financiamento de Projetos Nucleares”, que ocorreu no primeiro dia do evento.

10.1 Financiamento de Projetos Nucleares

Durante o painel “Financiamento de Projetos Nucleares”, foram abordados o financiamento dos projetos nucleares, ressaltando os seus atuais desafios e oportunidades ao redor do mundo. De início, Mikhail Chudakov, Diretor-Adjunto da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) ressalta que, nos dias atuais, a perspectiva da AIEA sobre o futuro da energia nuclear tem expandido cada vez mais, em detrimento das energias alternativas como a solar e eólica, tendo em vista que, no atual cenário de expansão da energia limpa, ela terá um papel fundamental. Posteriormente, ele ressalta que a projeção produzida pela agência é de que a energia nuclear poderia atingir até 950 GW em 2050 e, na América Latina, sair de 5 GW para 20 GW, quadruplicando a capacidade atual.

Contudo, ele apontou que, nos dias atuais, o principal motivo pelo qual as fontes solar e eólica são consideradas é pelo fato de que, atualmente, o seu custo ser muito baixo, principalmente pelo fato de receberem subsídios e incentivos generosos ao utilizá-los. Porém, tais fontes energéticas também geram custos com relação ao armazenamento e para manter a estabilização de rede, visto que é uma energia intermitente; esse custo é repassado aos consumidores, o que coloca a confiabilidade dessas fontes em risco. Por conta disso, a nuclear se destaca por suportar o sistema de forma mais confiável.

Posteriormente, ele ressaltou que, para que a energia nuclear possa se desenvolver e a AIEA atingir os seus objetivos, o investimento anual precisará mais do que dobrar em relação à quantidade atual investida, saindo de 50 a 60 bilhões de dólares por ano para 125 bilhões por ano, de forma a atender a crescente demanda mundial por eletricidade, que não virá somente da indústria, mas também de novos setores, como o de inteligência artificial e na manutenção de *data centers*. Isso poderá ser alcançável com o investimento em novas abordagens, como os reatores SMR.

Por fim, ele ressaltou que existem iniciativas em curso para o desenvolvimento da energia nuclear, como a do atual presidente do Banco Mundial, Ajay Banga, que está apresentando iniciativas para remover a proibição de empréstimo de dinheiro para projetos relacionados à energia nuclear. Contudo, para que exista um desenvolvimento cada vez maior, além do papel essencial dos governos na redução de risco dos investimentos, é fundamental que as iniciativas privadas entrem com a maior parte desse capital, estando apoiadas por estruturas de financiamento, de forma que sejam capazes de investir na construção de novas usinas ou na extensão da vida útil das usinas já existentes.

Depois disso, Júlian Gadano, Diretor do Programa de Energia Nuclear e Inovação da *Universidad de Tres de Febrero*, menciona que um dos principais desafios para o futuro da indústria nuclear é o modelo de financiamento. Isso porque, após os eventos ocorridos na usina de Fukushima, realizar empréstimos apoiados pelo governo para a realização de contratos de EPC (no qual uma única empresa assume a responsabilidade total pela execução de um projeto, desde a compra de materiais até a construção e entrega final, o que é muito utilizado na construção de infraestruturas de grande porte) tem se tornado um desafio, tendo em vista o atual receio de possíveis ocorrências similares.

Além disso, ele mencionou que outro desafio com relação aos projetos nucleares argentinos tem sido o alto custo de investimento em reatores em grande escala, tendo em vista que o reator Atucha III, que seria o quarto reator desenvolvido, com uma capacidade de 1,2 GW, apresentou um custo real (incluindo financiamento, operação e manutenção) de 13,7 bilhões de dólares nos primeiros 20 anos, e para que ele pudesse se pagar nos primeiros 12 anos de operação, o custo médio de eletricidade deveria ser entre 161 dólares/MWh e 183 dólares/MWh, o que contrasta com o custo médio atual de eletricidade na Argentina, que é por volta de 69 dólares/MWh.

Por conta disso, a ascensão de novas tecnologias, como a de *Small Modular Reactors* (SMRs) tem se tornado cada vez mais interessantes em um ponto de vista financeiro, pois ele não é baseado em empréstimos, e sim em capitais de risco, no qual o desenvolvedor da tecnologia procura um investidor anjo que, por sua vez, fornecerá os recursos necessários para que o desenvolvedor possa atingir novas etapas do seu projeto e, em troca, o investidor anjo receberá participação nas ações e nos lucros desse projeto, o que é um modelo mais barato e viável do que quando se realizam grandes empréstimos em bancos. Por fim, ele ressalta que, tendo em vista a modularidade e a capacidade de industrialização dos reatores SMR, será possível produzir reatores cada vez mais baratos, reduzindo o custo de financiamento dos capitais de risco.

Posteriormente, Hermes Orlando Llanes Rincón, da Rede Nuclear Colombiana, pontuou que a Colômbia tem buscado ativamente desenvolver o setor nuclear no seu país, buscando trazer a energia nuclear como uma das fontes na matriz energética colombiana, principalmente pois, nos dias atuais, 70% da matriz energética do país provém de hidrelétricas e, por conta das mudanças climáticas, a Colômbia tem passado por diversos desafios na manutenção dessas fontes, o que não ocorreria com a utilização da energia nuclear. Contudo, um dos principais entraves na implementação da energia nuclear na Colômbia tem sido a concepção da sociedade acerca desta tecnologia, tendo em vista que acontecimentos como o de Chernobyl ou o de Fukushima ainda são muito recorrentes para a população.

Apesar das dificuldades, Hermes ressalta que a construção de reatores SMR (iniciando na instalação de reatores com capacidade de 300 MW) serão uma possível solução para os desafios na produção de energia elétrica no país, e a melhor forma de implementar essa tecnologia seria estreitando laços com países que estão mais avançados no desenvolvimento dos reatores, como a Argentina e o Brasil. Por fim, ele menciona que a utilização da energia nuclear atenderia diversas demandas, como no setor de óleo e gás e no setor agrícola.

Depois dessa apresentação, o Assessor Sênior para Competitividade Comercial em Energia Nuclear do *Bureau of International Security* Justin Friedman iniciou a sua exposição salientando que os países que investem em energia nuclear estão investindo em segurança energética, e tal benefício justifica o custo, mesmo que o custo nivelado de energia (*Levelized Cost of Energy* - LCOE, definido como o custo médio por unidade de energia ao longo do tempo de vida útil de um projeto de produção de energia, desde os investimentos iniciais até a operação e manutenção) seja um pouco mais alto do que as demais opções.

Por conta disso, algumas agências, como a *International Energy Agency* (IEA) estão buscando desenvolver modelos diferentes de avaliação de custo/benefício, visto que as usinas nucleares conseguem operar por 80 anos ou até mais. Desse modo, é fundamental estreitar parcerias com empresas do setor nuclear, de forma que os países que irão usufruir da tecnologia possam se desenvolver cada vez mais, gerando mais empregos e, consequentemente, movimentando a economia.

Posteriormente, Carlos Aragão, Diretor da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) mencionou que, atualmente, a FINEP é a financiadora nacional de projetos relacionados à ciência e tecnologia, fornecendo empréstimos ou subsídios para empresas, universidades, centros de pesquisa e instituições de tecnologia. Além disso, ele pontuou que a entidade está voltada no apoio de 10 grandes programas para concentrar recursos e esforços nas áreas que são estratégicas para o país, e o setor nuclear possui muitas oportunidades para esse desenvolvimento.

Além disso, ele reforça que tal financiamento seria essencial para que a energia nuclear possa se desenvolver e, assim, o Brasil seja capaz de diversificar a sua matriz energética. Por fim, ele salienta que diversos ministérios têm interesse no setor nuclear, como o Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério da Agricultura e Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, e o governo brasileiro está empenhado e altamente interessado no desenvolvimento do setor nuclear como um todo.

Após essa apresentação, Carlos Leipner, Conselheiro da ABDAN, reforça que, nos dias atuais, o financiamento do setor nuclear tem sido um desafio, o que tem gerado diversos atrasos e custos extras com o passar do tempo, o que gera incertezas para os desenvolvedores dos projetos. Apesar disso, diversas iniciativas têm sido

tomadas para o desenvolvimento de novas plantas nucleares, viabilizadas por meio dos projetos de grandes reatores, SMRs e até mesmo microrreatores.

Adicionalmente, ele pontua que o atual desafio do desenvolvimento dos reatores nucleares tem sido o de torná-los comercializáveis e, num aspecto global, é importante que se desenvolva uma cadeia de suprimentos estratégica para os projetos, gerindo riscos e inovando em novos modelos de negócio para o setor, com novos contratos. Por fim, ele salienta que é essencial que os governos e os bancos mundiais apoiem as iniciativas nucleares, além de estimular novas iniciativas, como a que foi proposta por um banco internacional destinado a financiar a infraestrutura nuclear, financiando não apenas as usinas, mas qualquer atividade relacionada ao setor nuclear.

Finalizando o painel, o Presidente da ABDAN Celso Cunha menciona que, em agosto de 2024, o Brasil perdeu 2,4 bilhões de reais em um *curtailment* (definido como a redução forçada da geração de energia), por conta das limitações na infraestrutura de transmissão da energia solar e eólica, chegando a um corte de 400.000 horas de geração. Ele também menciona que, atualmente, 65% da matriz energética brasileira é por meio das usinas hidrelétricas. Porém, mais de 40% dessas hidrelétricas possuem mais de 40 anos de operação, e o envelhecimento dos equipamentos poderá gerar futuros desafios para a produção energética no país. Além disso, ele também menciona que o Brasil, para os próximos 10 anos, precisará de trilhões de dólares em investimentos, de forma a garantir a futura demanda de energia necessária até 2050, atingindo, também, as metas de emissões líquidas zero. Por conta disso, é essencial que os promotores do setor nuclear busquem um diálogo com a área financeira para acelerar e viabilizar os financiamentos dos projetos no país, o que permitirá que o país se modernize e atenda às demandas futuras.

11. Minicursos

Além das palestras abordadas nos 10 eixos, o evento também contou com 3 minicursos, que foram ministrados durante os 3 dias do evento. Os 3 minicursos abordados foram: “*Small Modular Reactors (SMRs)*”, “*Tarifas de Energia*” e “*Pitches: quando a pesquisa é um bom negócio*”.

11.1. Minicurso de SMR

O minicurso de SMRs, ministrado durante os 3 dias do evento foi conduzido por especialistas da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), e ele buscou oferecer uma visão sobre os atuais avanços tecnológicos, desafios regulatórios e as atuais oportunidades de mercado dos reatores SMR.

Inicialmente nas apresentações, Vladimir Artisiuk, Vice-Reitor e Diretor, do Departamento de Cooperação Internacional da *Rosatom Central Institute*, a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) estabeleceu a Plataforma sobre Reatores Modulares Pequenos (SMRs) para coordenar esforços globais no apoio à implantação segura e eficaz dessas tecnologias emergentes. A plataforma atua como um mecanismo integrador entre Estados Membros e setores da AIEA, como Energia Nuclear, Segurança, Salvaguardas e Cooperação Técnica, respondendo a demandas específicas dos países interessados por meio de grupos de trabalho e missões técnicas.

Além disso, na Jordânia, a AIEA apoiou estudos de pré-viabilidade para a implantação de SMRs visando cogeração de energia e dessalinização. Recomendou-se, também, a inclusão de ferramentas de planejamento energético para coordenar o desenvolvimento nuclear com renováveis. Já na Mongólia, a AIEA auxiliou no desenvolvimento da infraestrutura nacional e destacou cinco áreas críticas: posição nacional, envolvimento de partes interessadas, gestão de rejeitos, capacitação de recursos humanos e seleção de sítios.

A plataforma também organiza conferências internacionais e lançou em 2025 as “Escolas SMR” voltadas a tomadores de decisão e formuladores de políticas. Essas escolas abordam tópicos técnicos, regulatórios e econômicos de forma interativa, promovendo o diálogo inter-regional. A iniciativa visa capacitar países em desenvolvimento para tomada de decisão informada sobre SMRs, considerando desde planejamento energético até segurança nuclear, descarte de rejeitos e estrutura legal.

Atualmente, a AIEA estima que, em um cenário otimista, a capacidade instalada de energia nuclear pode atingir 950 GW até 2050, sendo os SMRs responsáveis por cerca de um quarto dessa expansão. A modularidade e a escalabilidade dessas tecnologias se destacam como soluções adaptáveis para redes isoladas, centros de dados, indústrias remotas e transporte marítimo de baixo carbono.

Posteriormente, o Secretário de Ciências da *NHSI Industry Track*, Benoît Lepouzé, dissertou sobre a Iniciativa de Harmonização e Padronização Nuclear (*Nuclear Harmonization and Standardization Initiative - NHSI*), lançada pela AIEA em 2022, que visa eliminar barreiras regulatórias e industriais que dificultam a implantação global de reatores avançados, especialmente os *Small Modular Reactors* (SMRs). Nos dias atuais, a NHSI estrutura-se em dois eixos: trilha industrial e trilha regulatória, ambas operando com grupos de trabalho coordenados e interativos.

Com relação a trilha industrial, os tópicos incluem: harmonização de requisitos de usuários finais (TG1), compartilhamento de normas técnicas (TG2), validação experimental e códigos computacionais de segurança (TG3), e estratégias para acelerar a implantação de infraestrutura nuclear (TG4). A primeira fase produziu três

publicações (uma publicada e duas em revisão), dois consórcios internacionais e seis relatórios de trabalho.

Já na trilha regulatória, os grupos concentram-se na criação de marcos comuns para análises regulatórias: WG1 foca na estrutura de compartilhamento de informações, WG2 em revisões conjuntas multinacionais e WG3 no aproveitamento de análises já conduzidas por outras autoridades nacionais. As abordagens buscam promover revisões paralelas e mútua confiança entre reguladores, reduzindo duplicidade e acelerando aprovações.

Na plenária de 2024, com mais de 150 representantes de 33 países, foram definidas as prioridades da Fase II (2025–2026): aprofundamento técnico em cada grupo, foco em países iniciantes, avaliação de operações avançadas, microreatores e segurança nuclear. A NSHI pretende desenvolver ferramentas e diretrizes que possibilitem uma estrutura comum regulatória, mantendo altos padrões de segurança, porém com menor redundância e maior eficiência. Além disso, a NSHI contribui decisivamente para tornar os SMRs uma alternativa viável, segura e economicamente competitiva em escala global, mediante ações concretas de cooperação regulatória e padronização industrial.

Por fim, Hadid Subki, Líder técnico para desenvolvimento de tecnologia de SMRs na Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), apresentou uma análise abrangente sobre o estado atual do desenvolvimento das tecnologias dos SMRs. Eles são definidos como reatores com potência de até 300 MWe, projetados para serem fabricados em série, transportados em módulos e instalados em campo, reduzindo custos e tempo de construção. Sua atratividade decorre da segurança aprimorada, sustentabilidade, resiliência energética e baixo impacto ambiental.

Atualmente, as tecnologias de SMR são classificadas em seis categorias: reatores refrigerados a água (PWR, BWR, HWR), metálicos rápidos (LFR), gasosos de alta temperatura (HTGR), de sal fundido (MSR), reatores marítimos e microreatores. Em maio de 2025, quatro unidades estavam em operação (na China e Rússia), quatro em construção e dezenas em fase de projeto detalhado ou conceitual. Entre os destaques estão o BWRX-300 (GE-Hitachi), com segurança passiva e custo competitivo com gás natural, e o ACP100 chinês, que integra cogeração e dessalinização com segurança passiva. No campo marítimo, o reator RITM-200M equipa navios e está sendo adaptado para plataformas flutuantes. O projeto sul-coreano BANDI visa fornecer energia limpa a comunidades remotas e a embarcações.

No segmento de alta temperatura, o HTR-PM chinês e o Xe-100 norte-americano oferecem flexibilidade para cogeração e produção de hidrogênio, utilizando combustível *Tri-Structural Isotropic* (TRISO). Os reatores de sal fundido, como o KP-FHR, combinam elevada eficiência térmica com segurança intrínseca.

Por fim, a apresentação reforça o potencial competitivo dos SMRs frente a fontes fósseis, especialmente com a crescente necessidade de flexibilidade de carga, segurança digital e integração com fontes renováveis. A AIEA atualiza seu Roteiro Tecnológico para SMRs com base nas tendências de desenvolvimento, visando orientar a adoção global dessa tecnologia promissora.

11.2. Minicurso de Tarifas de Energia

O minicurso de Tarifas de Energia, ministrado pelo palestrante Donato da Silva Filho, diretor da Volt Robotics, discutiu sobre as tarifas cobradas no Brasil, abordando os principais fundamentos, o cálculo tarifário que é feito na distribuição de energia (juntamente com os componentes que o compõem) e, por fim, as perspectivas futuras e as suas implicações para os seus consumidores. O minicurso teve dois dias de duração, iniciando no segundo dia e finalizando no terceiro.



Figura 17: Foto do palestrante Donato Filho, no minicurso “Tarifas de Energia”

Inicialmente, Donato mencionou que cada uma das 105 empresas de fornecimento de energia (Light, Enel, Neoenergia, entre outros, no qual todas respondem à Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL), cobra um valor de tarifa diferente, o que varia de acordo com a forma com que elas compram essa energia e de onde se conectam na rede de transmissão.

Além disso, ele pontua que é muito importante que se saiba qual é a tendência do valor da tarifa, para que os consumidores interessados, principalmente as indústrias, possam avaliar se a construção ou manutenção de determinada forma de produção de energia é economicamente viável ou não (pois a receita da energia produzida varia de acordo com as tarifas) e, com isso, planejar e se antecipar aos custos futuros. Ele também menciona que, para que a energia chegue até uma lâmpada, permitindo a iluminação de um local, é exigido uma grande quantidade de investimento sendo feito, com a construção de usinas, linhas de transmissão, postes e todo o aparato elétrico para a distribuição, e suprir tais investimentos pode ser um desafio pois nem todos os consumidores pagam pela luz utilizada. Por conta disso, as empresas precisam se tornar cada vez mais competitivas (apesar de não atuarem na mesma região), entregando cada vez mais energia gastando o mínimo possível. Depois disso, ele ressalta que é essencial que a empresa de fornecimento de energia saiba o quanto ela precisará para que possa honrar os seus compromissos (pagando gerador, transmissor, distribuidor e encargos) e, também, que se saiba como os consumidores pagarão a energia consumida, pois alguns grandes consumidores pagam a energia por demanda, o que diminui o preço que ele precisará pagar. Todos os fatores, somados, podem contribuir para a variação da tarifa.

Posteriormente, ele abordou sobre os componentes tarifários, explicando que os gastos são divididos em parcela A e parcela B. Define-se a parcela A como os custos não gerenciáveis, sendo estes os custos que os consumidores pagam para a tarifa, mas que a distribuidora repassa para outros (como a transmissora ou a empresa que cuida dos encargos, por exemplo). Estima-se que aproximadamente 80% de todo o dinheiro arrecadado se encontra como parcela A. Contudo, os outros 20%, definidos como parcela B, representam o dinheiro que a distribuidora mantém para si e que ela utiliza para os seus gastos, como os investimentos na rede, pagamento de pessoal, manutenção das lojas, entre outros. A parcela A é reavaliada ano a ano, de forma que, caso a empresa consiga se tornar mais eficiente no seu processo, ela é descontada no cálculo final.

Ele menciona também que, atualmente, os principais encargos que geram mais gastos para a empresa e elevam os custos para o consumidor final são divididos em 3, sendo eles o custo para subsidiar as termelétricas dos sistemas isolados, chamados de Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), além do desconto dado ao consumidor que compra energia de fonte incentivada (como energia eólica e solar) e, também, os consumidores de baixa renda que consomem até determinado limite, recebendo descontos no pagamento final. Mais especificamente, ele menciona o caso de Angra I e Angra II, e pontua que rateamento das despesas era realizado somente com os consumidores cativos (ou seja, que são obrigados a comprar energia na distribuidora da sua região). Contudo, com a assinatura de uma nova Medida

Provisória em 2025, elas precisarão realizar o rateamento com os consumidores livres também, o que poderá aumentar as despesas com energia para eles.

Por fim, ele menciona que, com o desenvolvimento dos *Small Modular Reactors*, será possível encurtar o tempo de construção, o que tornará a energia cada vez mais competitiva e poderá impactar positivamente, visto que ela é capaz de atender a demanda crescente durante a manhã, tarde e principalmente durante a noite, no qual a demanda energética é maior, diferentemente de energias como a energia solar que, por conta da sua intermitência, não consegue suprir eficientemente a demanda vespertina e noturna.

11.3. Pitches: Quando a pesquisa é um bom negócio.

Durante o NT2E, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) organizou um evento paralelo, versando sobre Pitches e abordando sobre como a pesquisa possui o potencial de gerar inovação, competitividade e autonomia estratégica para o Brasil. O evento expôs as soluções de ponta que foram desenvolvidas nas instituições públicas e que já resultam em ganhos com eficiência, sustentabilidade, segurança e saúde. Durante o evento, foram abordados os temas “Unidade Móvel com Acelerador de Elétrons: Tecnologia Sustentável para Tratamento de Efluentes Industriais”, “Biorrefinaria Azul: Economia Circular a partir de Resíduos Marinhos”, “Radionuclídeos Contra o Câncer: Medicina Nuclear Precisa e Personalizada”, “Nanossensores para Detecção Precoce de Câncer Colorretal com Diagnóstico de Alta Precisão”, “Nuclear Microreactor: Inteligência Energética para um Futuro Sustentável”, “Ímãs de Alto Desempenho: Tecnologia Estratégica para o Brasil” e “Treinamento e Simulação com Realidade Virtual”.

11.3.1. Unidade Móvel com Acelerador de Elétrons: Tecnologia Sustentável para Tratamento de Efluentes Industriais

Para o tema inicial, a palestra de Wilson Aparecido Parejo Calvo, Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), disserta sobre o desenvolvimento de uma unidade móvel equipada com um acelerador de elétrons, produzida pela CNEN, como solução tecnológica sustentável e eficiente para o tratamento de efluentes industriais, com o objetivo de diminuir os impactos da poluição hídrica no Brasil. O país enfrenta o despejo diário de mais de 5.500 toneladas de efluentes não tratados nos rios e lagos, contendo metais pesados, solventes, microrganismos e poluentes orgânicos persistentes, o que compromete a saúde pública e os ecossistemas aquáticos.

A proposta da unidade móvel utiliza radiação ionizante, por meio de um feixe de elétrons, para promover a degradação de contaminantes orgânicos e desinfecção microbiológica, sem necessidade de adição de produtos químicos. Essa abordagem

baseia-se na geração de radicais livres altamente reativos, como o radical hidroxila, que destrói compostos tóxicos e patogênicos. A aplicação resulta na remoção de cor, odor, sólidos suspensos, compostos orgânicos, compostos com origem endócrina e fármacos, como fluoxetina, metformina e antibióticos, além de toxinas de cianobactérias.

É possível perceber que, para os casos internacionais de sucesso, como as estações na Coreia e na China, fica demonstrada a viabilidade da tecnologia em larga escala, tratando até 30 milhões de litros por dia. No Brasil, a CNEN já validou o processo em estudos com águas contaminadas por indústrias químicas e farmacêuticas. Além disso, a unidade móvel brasileira encontra-se em nível de maturidade tecnológica (do inglês, TRL) em TRL 6-7, o que indica que a tecnologia está em um estágio avançado de desenvolvimento, com o protótipo aplicado em um ambiente relevante (TRL 6) e, posteriormente, demonstrado em um ambiente operacional (TRL 7), com patente registrada e premiações internacionais. Durante o desenvolvimento, o projeto contou com parcerias estratégicas, incluindo a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), a empresa Truckvan (fabricante de Unidades Móveis) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), com mais de US\$ 1 milhão mobilizados. A implementação dessa solução representa uma ferramenta escalável para enfrentar o déficit de saneamento industrial do país, aliando inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e impacto social positivo.

11.3.2. Biorrefinaria Azul: Economia Circular a partir de Resíduos Marinhos

Para o próximo tema, a apresentação do Dr. Sumair Gouveia de Araújo, Tecnologista Sênior do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), dissertou sobre o projeto Biorrefinaria Azul, proposto pelo IPEN, e que tem como objetivo minimizar o descarte anual de até 500 mil toneladas de resíduos da indústria pesqueira, como cascas de camarão, ostras, peixes, entre outros, o que representa perdas econômicas, um significativo impacto ambiental e risco à saúde pública. Por meio dessa biorrefinaria, é possível transformar esses resíduos em produtos de alto valor agregado, utilizando a radiação eletromagnética na faixa de micro-ondas.

Além disso, a tecnologia desenvolvida permite um aquecimento seletivo, rápido e volumétrico, de forma a otimizar a conversão de resíduos em insumos, como o biodiesel, a glicerina, a quitina e a quitosana. Esta última, por sua vez, possui aplicações amplas nas indústrias médica, cosmética, farmacêutica, agroindustrial e de construção civil.

Adicionalmente, é possível perceber que o destaque econômico está na valorização da quitosana, cujo preço pode chegar a US\$ 90.000 por tonelada na forma médica, frente a um custo de matéria-prima de apenas US\$ 75 por tonelada de

quitina. Essa rentabilidade é potencializada pelo uso de micro-ondas, que reduzem o tempo de seu processamento e o seu consumo energético.

Atualmente, a equipe do IPEN acumula experiência realizando projetos em conjunto com a empresa Petrobras, com o desenvolvimento de unidades de hidrotratamento para remoção de enxofre e nitrogênio em diesel. Valendo-se de uma infraestrutura laboratorial avançada, o grupo busca parceiros para implantar projetos-piloto e viabilizar a produção em escala. A proposta se insere na lógica da economia circular, reaproveitando resíduos e gerando novos fluxos econômicos sustentáveis.

11.3.3. Radionuclídeos Contra o Câncer: Medicina Nuclear Precisa e Personalizada

No próximo tema, a apresentação de Daniel Alexandre Baptista Bonifacio, Pesquisador do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), abordou-se a necessidade de personalizar terapias com radionuclídeos, especialmente em casos de câncer de tireoide, em que a dosagem fixa pode causar subtratamento ou efeitos colaterais severos. A necessidade se mostra cada vez mais prioritária pois, em 2022, foram registrados mais de 821 mil casos de câncer de tireoide no mundo, sendo 31 mil no Brasil, onde cerca de 70% dos pacientes recebem terapia com radioiodo, cuja eficácia e segurança dependem da dosimetria personalizada.

Por conta disso, o IPEN desenvolveu o sistema IRDose, uma ferramenta web de Dosimetria Individualizada, uma solução baseada em web e inteligência artificial, que integra imagens de diagnóstico por imagem que utilizam diferentes tecnologias para visualizar o corpo humano, por meio do PET/SPECT, sendo PET, Tomografia por Emissão de Pósitrons, e SPECT, Tomografia Computadorizada por Emissão de Fóton Único, e também da CT, Tomografia Computadorizada. O laudo médico desses exames, somado aos dados biocinéticos do paciente é possível calcular a dose absorvida com precisão. A proposta é automatizar o fluxo de trabalho da dosimetria, reduzir efeitos colaterais, otimizar recursos hospitalares e elevar as taxas de cura e sobrevida.

Complementarmente, foi criado um dosímetro portátil IoT para monitoramento em tempo real, com baixo custo, calibragem automática e impacto mínimo na rotina clínica. O modelo de negócios providencia o serviço por meio da assinatura do IRDose e a cessão do dosímetro, oferecendo suporte técnico e treinamento internacional.

Além da terapia com radioiodo, o sistema tem aplicabilidade com outros radionuclídeos (Lu-177, Y-90, Ra-223, Sm-153), ampliando sua relevância para diferentes tipos de câncer. O IPEN articula parcerias com hospitais nacionais e internacionais, e alinha-se às regulamentações da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), da Comissão Europeia e da Comissão Reguladora Nuclear dos

Estados Unidos, consolidando um diferencial competitivo no mercado de medicina nuclear personalizada.

11.3.4. Nanosensores para Detecção Precoce de Câncer Colorretal com Diagnóstico de Alta Precisão

Inicialmente, Alice Versiani, Pesquisadora do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) apresentou a pesquisa liderada pelo CDTN, no qual foi proposta uma solução nanotecnológica para o diagnóstico precoce do câncer colorretal (CCR), o segundo tipo de câncer mais prevalente e letal no Brasil. O método tradicional, como a colonoscopia, é invasivo, oneroso e socialmente estigmatizado, além de ter baixa adesão populacional. Entretanto, métodos alternativos com biomarcadores, como o Antígeno Carcinoembrionário (CEA), possuem limitações em sensibilidade, especificidade e custo.

Por conta disso, o projeto desenvolveu um nanosensor baseado em grafeno funcionalizado com aptâmeros, altamente sensível à proteína CEA e com desempenho superior aos kits comerciais de *Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay* (ELISA). O nanosensor detecta concentrações ultra-baixas de CEA, possui maior especificidade, menor tempo de análise (1h30 vs. 5h), e utiliza equipamentos de rotina laboratorial, dispensando treinamentos adicionais.

Por conta disso, torna-se possível reduzir significativamente os custos por paciente, indo de R\$ 72,00 para cerca de R\$ 1,00, com potencial de economia anual expressiva para o SUS. A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) estima um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 60 milhões em 20 anos apenas para o mercado brasileiro de CCR.

Atualmente, a equipe multidisciplinar do desenvolvimento do projeto conta com mais de 20 pesquisadores, 7 patentes e colaborações com instituições como a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e o Instituto Mário Penna. A tecnologia se encontra em fase de validação clínica, com amostras humanas de sangue, urina e soro, e busca parcerias para escalonamento, certificação pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e comercialização de kits diagnósticos.

11.3.5. “Nuclear Microreactor: Inteligência Energética para um Futuro Sustentável”

De início, constata-se que, de acordo com a palestra de DSc. Adolfo Braid da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o crescimento acelerado da demanda energética global impõe desafios à sustentabilidade e à segurança

energética. Além disso, a eletrificação da frota veicular e a expansão de *data centers* e as aplicações em inteligência artificial projetam um consumo de energia que pode dobrar até 2030. Nos Estados Unidos, por exemplo, a substituição completa de veículos comuns pelos elétricos, exigiria até 50% mais eletricidade, enquanto os *data centers* já consomem de 1% a 2% da energia mundial, podendo chegar a 4% ao fim da década.

Dante desse cenário, a CNEN propõe o desenvolvimento de Microreatores Nucleares (do inglês, NMRs) como solução segura, limpa e autônoma. O NMR apresenta características únicas: potência de até 5 MWe, instalação em contêiner de 40 pés, ciclo de combustível superior a 10 anos, vida útil superior a 60 anos e operação independente de água. Pode ser projetado, fabricado e operado integralmente no Brasil, respeitando as normas de licenciamento nuclear e ambiental.

O principal objetivo dos Microreatores é de atender demandas descentralizadas, especialmente em locais remotos ou com infraestrutura elétrica limitada, como mineradoras, indústrias isoladas, bases militares, sistemas de comunicação, *data centers* e centros de computação de alto desempenho. O projeto também oferece resposta a críticas de grandes empreendimentos tecnológicos em áreas sensíveis, como o caso da comunidade Cumbe, um quilombo localizado no município de Aracati, no litoral leste do Ceará, abordando preocupações ambientais e sociais.

O projeto recebeu aprovação unânime da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) em 2024, com nota máxima, assegurando R\$ 30 milhões para o desenvolvimento de tecnologias críticas. Parceiros com as empresas Diamante, Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e Terminus aportaram R\$ 20 milhões adicionais. Atualmente, a execução prevê um cronograma de oito anos, dividido em fases que abrangem desde o início do projeto e do sistema de potência até a conclusão do protótipo e da “bateria nuclear”. O plano contempla ainda o desenvolvimento de uma cadeia de suprimentos nacional para materiais estratégicos, incluindo produção de combustível nuclear avançado, como o *High Assay Low Enriched Uranium* (HALEU), frações combustíveis, tubos *HIPe*, óxido de berílio e grafite, posicionando o Brasil na vanguarda da inovação em energia nuclear modular, com impacto direto na segurança energética, na sustentabilidade ambiental e na competitividade tecnológica.

11.3.6. Ímãs de Alto Desempenho: Tecnologia Estratégica para o Brasil

Durante a sua palestra, o Dr. Armindo Santos, Pesquisador do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), se concentrou na dependência do Brasil por ímãs permanentes de alto desempenho, fundamentais para setores estratégicos como energia, defesa, mobilidade e medicina, o que compromete a

soberania tecnológica e expõe o país a entraves logísticas e econômicas por riscos externos.

Por conta disso, o CDTN propõe a nacionalização do processo de fabricação da matéria-prima baseada em NdFeB (neodímio-ferro-boro), por meio de rota inovadora no Laboratório de Tecnologia Sol-Gel (LTSGEL). O processo permite a obtenção de nanomateriais esferoidizados com composição personalizada, capazes de atender aos requisitos específicos de superímãs industriais.

Atualmente, a rota LTSGEL possui diferenciais relevantes em comparação com os processos industriais convencionais. Utiliza matérias-primas diversas, incluindo sais, óxidos e materiais reciclados. Além disso, emprega o processo Hidrogenação-Desproporcionamento-Dessorção-Recombinação (HDDR), com temperatura máxima de 1250°C, e viabiliza a produção escalonável de material poroso micronizável *in situ*. E, ainda, requer montagem simplificada e de baixo custo.

Constatou-se que o projeto já demonstrou prova de conceito com a produção de microesferas de NdFeB (~150 µm) e apresenta forte potencial para redução de custos, eliminação de riscos logísticos, estimulando a inovação e o fornecimento de processos confiáveis. A aplicação da tecnologia LTSGEL pode impulsionar a indústria nacional e reduzir drasticamente a dependência externa.

Com um mercado global de superímãs estimado em mais de US\$ 15 bilhões, o CDTN busca parceiros para investir na implantação de projeto-piloto e consolidar a produção em escala industrial, além de tornar o Brasil um protagonista na cadeia global de materiais magnéticos estratégicos.

11.3.7. Treinamento e Simulação com Realidade Virtual

Para a apresentação do tema, os palestrantes Antônio Carlos Mól (Chefe da Divisão de Ensino) e Eugênio Marins, (Tecnologista) do Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), contaram que, desde 2005, estão sendo desenvolvidas tecnologias de realidade virtual (do inglês, *Virtual Reality - VR*) no IEN, que são aplicadas ao treinamento profissional em ambientes de risco e de alta complexidade. A proposta responde à crescente demanda por métodos eficazes, seguros e economicamente viáveis para a capacitação técnica e educacional. O Laboratório de Realidade Virtual do IEN oferece soluções para simulação de segurança radiológica, operação de instalações nucleares, resposta a emergências, treinamento de forças de segurança em grandes eventos, ensino de energia nuclear, ergonomia e procedimentos em medicina nuclear.

Estudos comparativos demonstram que a VR supera os métodos tradicionais de treinamento em vários indicadores. A eficácia da VR em comportamentos, habilidades e experiências foi, respectivamente, 0,593, 0,432 e 0,777 superior aos métodos convencionais. A retenção de conhecimento apresentou um p-valor de

0,0016, demonstrando forte significância estatística. Ademais, os trainees demonstraram reações positivas e ganhos mensuráveis em segurança e tempo de aprendizado.

Suas aplicações incluem setores como as indústrias nuclear, de petróleo e gás, de construção civil, de mineração, de química e de saúde. A pesquisa conta com mais de 15 teses de doutorado, 70 dissertações de mestrado, 13 softwares patenteados e mais de 100 artigos científicos. As ferramentas desenvolvidas se provaram como facilitadoras de um aprendizado mais imersivo, seguro e replicável, ampliando a capacitação em áreas relevantes do conhecimento técnico-científico nacional.

Conclusão

O evento Nuclear Trade & Technology Exchange (NT2E), realizado nos dias 20, 21 e 22 de maio de 2025, consolidou-se como uma plataforma estratégica de articulação entre os principais atores do setor nuclear. Reuniu stakeholders a partir de palestras de profissionais de referência de instituições de pesquisa, órgãos reguladores, representantes governamentais e da Marinha do Brasil e empresas privadas e mistas, para apresentações de alta relevância em assuntos como, por exemplo, os avanços tecnológicos, a análise de cenários regulatórios e debates sobre desafios estruturais e oportunidades emergentes nos diversos segmentos da produção da cadeia nuclear.

Desse modo, foi possível concluir, por meio do evento, que há a necessidade de discutir a política nuclear no Brasil, debatendo sobre a descarbonização e as atuais políticas climáticas, reforçando a necessidade de transição energética e a importância do desenvolvimento do programa nuclear brasileiro, de forma a promover a revolução da energia limpa por meio da descarbonização da matriz energética e de outros setores, tal como o de transporte terrestre e marinho. Isso pode ser feito por meio da modernização dos marcos regulatórios no Brasil e também pelo fomento ao empreendedorismo dentro do setor de energia nuclear, integrando novas tecnologias como a Inteligência Artificial. Adicionalmente, torna-se necessário o fortalecimento das relações entre o setor público e privado, de forma que novos projetos no setor possam ser financiados.

Além disso, tal mudança pode ser usufruída pelas gerações atuais e perpetuada para as futuras gerações por meio da gestão do conhecimento, identificando, mapeando e disseminando o conhecimento para a geração sistêmica de memória coletiva das corporações. Além disso, é fundamental uma maior integração entre a academia e a indústria, captando os profissionais formados para a área. Ademais, é evidente que a energia nuclear vai além da geração nucleoelétrica.

Nesse sentido, foi interessante discutir os diversos usos da radiação ionizante em benefício da sociedade, abordando a produção dos radiofármacos e, também, os

benefícios dos diagnósticos e tratamento de doenças como o câncer. Por fim, por meio dos minicursos, foi possível desenvolver ferramentas para que novos candidatos pudessem inovar dentro do setor nuclear, criando Pitches, entendendo os marcos regulatórios, inovações tecnológicas e estudos de caso atuais dos reatores SMR, muito em voga nos dias atuais e, também, desenvolvendo uma visão mais ampla do comércio por meio do funcionamento das tarifas, o que auxiliará na consolidação dos esforços do país para ser uma referência no setor nuclear mundial, atingindo as metas de sustentabilidade, produção de energia limpa e desenvolvendo cada vez mais o setor médico.

ABDAN

Relatório do NT2E - 2025