

XXVIII SNPTEE - Constatações Técnicas

Grupo I- GERAÇÃO HIDRÁULICA – GGH

- A mudança da matriz elétrica provocou um aumento substancial de ciclos de partida/parada de unidades geradoras hidráulicas. As usinas hidrelétricas são a maior fonte de flexibilidade operativa, porém esse serviço essencial ainda não é valorado na regulação vigente.
- O aproveitamento das usinas hidrelétricas reversíveis representará um recurso estratégico para a flexibilidade operativa no SIN. No entanto, esta materialização dependerá um arcabouço regulatório que remunere de forma adequada este ativo.
- As técnicas de combate ao mexilhão são variáveis e as tecnologias de combate vêm sendo comparadas por diversos agentes. Urge a necessidade de franquias especiais, além da vigente, para reduzir impactos na disponibilidade.
- A sinergia entre a gestão de ativos e o monitoramento preditivo permite decisões baseadas em dados, antecipando falhas e otimizando manutenções. Com sensores inteligentes e análise contínua, garante-se eficiência operacional, a redução de custos e a maior confiabilidade dos ativos.
- Constatou-se a eficácia das manutenções corretivas e preditivas em hidrogeradores, envolvendo substituição de barras, rebobinagem de estatores, inspeções e correção de vazamentos. As ações executadas restauraram o desempenho elétrico e reduziram falhas, custos e tempo de indisponibilidade.
- A monitoração e o diagnóstico de descargas parciais em geradores elétricos destacam-se como ferramentas eficazes para indicar o envelhecimento e a degradação do isolamento estatórico, sendo essenciais à manutenção preditiva, prevenindo falhas e ampliando a confiabilidade e vida útil das máquina.

Grupo II- GERAÇÃO TÉRMICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – GTE

- O consumo setorial de energia elétrica caminha junto com a aplicação de recursos pelo PROCEL. A análise da aplicação, notadamente no setor industrial e em edificações, mostra isso. Além disso, nota-se a aplicação em projetos de impacto social, como os de iluminação pública.
- Os SMRs são promissores para o atendimento da carga e têm características elétricas importantes para o setor, mas apresentam muitas dificuldades de aceitação social e ambiental.
- O Brasil apresenta mais de 60% da iluminação pública com necessidade de substituição. Há grande potencial para efficientização, sobretudo em áreas distantes dos grandes centros,

como a Região Norte/Pará. O PROCEL Reluz tem um papel fundamental para apoio técnico e financeiro aos pequenos municípios.

- O desenvolvimento de ferramentas computacionais, no âmbito do programa de P&D, proporcionou modelar uma unidade flutuante de armazenamento e regaseificação (FSRU), para auxiliar nas tomadas de decisão e melhorar as ações de prevenção de envelhecimento e a produção do *boil-off gas* (BOG).
- A reconstrução de usinas termelétricas em fim de contrato se justifica por uma questão de segurança do fornecimento de energia, com preferência às que utilizam gás natural, que pode ser um combustível intermediário no caminho da transição energética.
- A inserção de H₂ e O₂ tem se mostrado como alternativa para melhorar a eficiência operacional das usinas termelétricas a diesel.
- A utilização de óxido de grafeno para o desenvolvimento de sensores de detecção de CO₂ baseados em fibras ópticas tem se mostrado uma tecnologia em estágio médio de prontidão tecnológica e deve ser incentivada para obter futuros investimentos empresariais.
- O potencial de replicabilidade das ações de eficiência energética nas instituições de ensino superior e pesquisa é muito alto e deve ser objeto de programas governamentais específicos. Além disso, fomenta a formação dos futuros profissionais.
- Constata-se o aumento de soluções inovadoras tanto em geração térmica como em eficiência energética, utilizando ferramentas de IA, digitalização, novos tipos de sensores, tratamentos químicos e novas estratégias de controle, entre outros.
- Indicadores tradicionais, como a intensidade energética, não capturam fielmente a evolução dos ganhos de eficiência energética nos países. Indicadores como o ODEX traduzem melhor a dinâmica das economias no que se refere à eficiência energética.
- As usinas termelétricas têm investido em procedimentos operacionais, como o método de tratamento de fosfato coordenado com tratamento totalmente volátil oxidante (AVT(O)), para aumento da eficiência operacional e, conseqüentemente, redução da emissão de gases de efeito estufa.
- Há necessidade de uma política de incentivo industrial com o objetivo de nacionalizar componentes para soluções de inovação em geração heliotérmica, visando à independência tecnológica e comercial.

Grupo III - LINHAS DE TRANSMISSÃO – GLT

- Os eventos climáticos extremos constituem desafios crescentes para as equipes de manutenção, associados às estratégias de recomposição das linhas de transmissão.

- Há necessidade de aprofundar o desenvolvimento de técnicas de manutenção em linha viva para novas concepções de torres para LTs de alto SIL.
- Foi verificado o desenvolvimento de metodologia para aperfeiçoar projetos de aterramento a partir de campanhas de medição de resistividade do solo com maior precisão para a LT como um todo.
- A avaliação de níveis de poluição em isoladores de corrente contínua requer avanços em pesquisas e experimentos voltados para o adequado dimensionamento das cadeias de isoladores, inclusive com aperfeiçoamento normativo.
- As torres com mísulas isolantes apresentam aspectos de efetiva inovação, exigindo, entretanto, avaliações sobre as técnicas de manutenção em linha viva e atendimento adequado aos prazos de vida útil regulatória, bem como às concessões das LTs.
- As tecnologias de monitoramento para o crescimento da vegetação, na faixa de servidão e proximidades das linhas de transmissão, têm sido largamente desenvolvidas para evitar a indisponibilidade dos ativos, em razão dos desligamentos provocados pela aproximação com os condutores.
- O uso de IA na identificação de anomalias específicas tem caráter efetivamente promissor para o processo de inspeção em LT, necessitando de avanços para propiciar às equipes de manutenção uma avaliação efetiva, sob vários aspectos, das anomalias que requerem ações corretivas.
- Com o aumento de redes subterrâneas, as concessionárias de energia devem dar maior atenção às suas atividades de manutenção, pois, conforme estatísticas de ocorrências em sistemas de cabos isolados, as atividades de terceiros são as principais causas de falhas.
- As pesquisas sobre a corrosão em estacas helicoidais demonstram a necessidade de se levar em conta os aspectos do meio em que são instaladas, sobretudo para o uso do aço patinável.
- A evolução de grandes cidades demanda a construção de novas redes subterrâneas, que estão sendo feitas de forma desordenada. Há necessidade de que um órgão público faça a gestão da ocupação do subsolo para não impactar a construção de LTs subterrâneas, bem como evitar interferências com as existentes.
- A versão de 2024 da norma NBR 5422 apresenta evolução em relação à versão de 1985, necessitando, entretanto, de subsequentes avaliações visando ao constante aperfeiçoamento dos aspectos e parâmetros normatizados.

Grupo IV - ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA – GAT

- A transição energética exige o aprimoramento de ferramentas e modelos que representem fielmente o comportamento dinâmico dos IBRs. A aderência entre modelo e

equipamento depende de testes de campo abrangentes e da integração contínua entre agentes, fabricantes e o Operador do sistema.

- A mitigação de fenômenos de *multi-infeed* em corrente contínua continua sendo uma preocupação. O planejamento de bipolos VSC, STATCOM e compensadores síncronos são possíveis formas de mitigação.
- Com a expansão dos IBRs, desde o último SNPTEE, surgiu a preocupação com problemas associados às oscilações subsíncronas, que devem passar a ser monitoradas, simuladas e mitigadas.

Grupo V - PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – GPC

- Testes apresentados mostraram que o GOOSE Roteável (R-GOOSE) é robusto e viável para utilização em esquemas de teleproteção, com recursos adicionais de flexibilidade e rastreabilidade.
- As proteções virtuais têm como vantagens a redução de custo, a flexibilidade para implantação de novas lógicas, a facilidade para manutenção remota, a escalabilidade e a maior segurança cibernética. Porém, ainda se encontram em fase de testes e desenvolvimento para aplicação em larga escala.
- Os sistemas de proteção virtualizados podem ser implementados em *containers* ou *VMs*; cada um deles apresenta suas vantagens e desafios. Também foi apresentada uma ferramenta para testes durante comissionamentos e manutenções, que pode ser utilizada com hardware dedicado ou equipamento virtual.
- O sistema de monitoramento visa verificar todo o sistema de proteção, e houve consenso sobre a necessidade de sua utilização nas subestações digitais. Entretanto, ainda há discussões sobre como esses sistemas devem ser implementados.
- Foi ressaltado que a utilização apenas das informações provenientes dos IEDs pode não ser suficiente, considerando que nem todos IEDs possuem as funções ou são projetados para fornecer as informações necessárias ao monitoramento.
- Destacou-se a necessidade de planos de teste para validar o sistema de monitoramento em cenários com múltiplos fabricantes, o que também faz parte do escopo de uma brochura do grupo de trabalho GT B5.03 do CIGRÉ.
- Destacou-se a recomendação para que os fabricantes de IEDs caminhem para a padronização dos atributos e parâmetros necessários à implementação dos sistemas de monitoramento.
- A estratégia de investir em subestações digitais também é uma realidade na distribuição. O desempenho observado nas subestações digitais em operação confirma essa diretriz

como acertada. É vislumbrado que a centralização e a virtualização serão caminhos adotados num futuro próximo na distribuição.

- O processo de engenharia *top-down* requer treinamento, além de adaptações em alguns modelos de dados e adequações nas ferramentas, para permitir sua utilização pelas transmissoras.
- Uma das vantagens do *digital twin* é poder reproduzir o sistema de proteção e suas falhas, possibilitando soluções sem necessidade de manutenção real em campo para investigação. Também pode ser usado para reduzir o tempo de comissionamento, antecipando etapas de testes.
- O uso de LPIT proporciona aplicações combinadas de TC e TP, redução de OPEX e de obras civis, dos riscos de explosão, além da aplicação direta da IEC 61850. Por outro lado, essa tecnologia traz novos desafios, como a necessidade de treinamento e os custos envolvidos.
- Foram apresentadas as conclusões do WGB5.69, com recomendações para implementação de barramentos de processo em subestações. Foi sinalizado que ainda existe uma barreira de custo associada à utilização dessa tecnologia, que envolve implementação, treinamento e equipamentos.
- Foram elencados os impactos das fontes baseadas em inversores nos sistemas de proteção, com destaque para as fontes do tipo *grid forming*. Simulações mostraram diferentes tipos de falhas nas linhas de conexão dessas fontes, utilizando distintas estratégias de controle.
- Constatou-se a necessidade de envidar esforços para o aprimoramento das funções de proteção das linhas de conexão das IBRs, sendo apresentadas propostas de novos algoritmos e funções de proteção mais avançadas.
- É primordial o diálogo contínuo entre todos os agentes impactados pelos problemas das IBRs - como fabricantes de turbinas eólicas e IEDs, transmissoras, distribuidoras, centros de pesquisa, universidades e ONS — em busca de uma operação segura e confiável do sistema.
- Os sistemas especiais de proteção (SEPs), diante da complexidade dos sistemas com alta concentração de fontes com inversores e do envelhecimento da rede, tornam-se cada vez mais necessários.
- Os SEPs são tema de trabalho conjunto dos grupos de estudo C2/B5.46 do CIGRÉ.
- Como exemplo, foi apresentado o SEP implementado na interligação Norte-Sudeste, o maior esquema desse tipo implantado no país, envolvendo 33 subestações distintas. Ele traz como inovação os comandos de rampa de potência nos bipolos da SE Xingu.

- Houve testes em simulador digital em tempo real para definição dos ajustes de proteções sistêmicas, tais como a função de disparo por oscilação de potência e a avaliação de seu desempenho.
- O tronco de interligação em 230 kV do Acre/Rondônia apresenta sazonalidade nos fluxos e proximidade de elo de corrente contínua. Neste tronco, a implementação das proteções sistêmicas foi realizada com os recursos existentes e o uso de filosofias inovadoras.
- Foi proposto um novo método para o cômputo da frequência, baseado em geometria diferencial, visto que a complexidade atual do sistema elétrico — com diversas fontes baseadas em inversores — impõe dificuldades aos métodos usualmente aplicados.
- Foram apresentados testes aplicados ao cômputo da frequência por meio da geometria diferencial, cujos resultados mostraram alta consistência do método.
- Com o crescente uso de reatores a núcleo de ar, foi desenvolvida uma função de proteção para falhas entre espiras, baseada na supervisão de impedância de sequência negativa e grandeza de operação de sequência zero, mostrando-se eficiente nos testes e simulações realizados.
- Foram realizados testes em *merging units*, considerando informações injetadas (SVs) similares às provenientes de LPITs. As respostas foram monitoradas — precisão, erro, perda de pacotes, tempo de processamento, entre outros — comprovando as vantagens do uso de LPITs.
- A análise comparativa mostrou que a solução convencional para proteção diferencial de barramentos apresentou vantagens em custo, tempo de resposta e confiabilidade, enquanto a solução digital se destaca pela velocidade de implantação, interoperabilidade e menor ocupação de espaço físico.
- A definição de projeto entre o uso de proteção diferencial de barramentos com solução convencional ou com barramento de processo exige análise caso a caso.
- Ensaio em RTDS são ferramentas fundamentais para a verificação do desempenho dos sistemas de proteção.
- Nas modernizações das proteções da UHE Itaipu — das barras, linhas e unidades geradoras — foram definidos cerca de 4.000 casos com diferentes cenários, trazendo como inovação a aplicação desse tipo de teste em unidades geradoras de grande porte.
- Os ensaios em RTDS para a modernização das proteções da UHE Itaipu utilizaram 12 amplificadores, 51 canais de corrente e 27 de tensão, além de modelos dinâmicos de reguladores e estabilizadores dos geradores.
- Ainda sobre as unidades geradoras, foi apresentado o resultado do grupo de trabalho B5.04 do CIGRE-Brasil, sobre testes e ensaios de proteções de geradores.

- O GT B5.04 criou um banco de dados de oscilografias que representam falhas no sistema e nos geradores — energização, perda de excitação, perda de sincronismo, entre outras condições — utilizando modelos típicos de geradores.
- Foi mostrado um dispositivo FACTS (M-SSSC) para controle de fluxo de potência, considerando a presença das IBRs e a entrada de *datacenters*, que sobrecarregam as linhas de transmissão.
- O FACTS (M-SSSC) é inserido em série com a linha, modificando sua impedância. É composto por filtros, sistemas de *bypass* e conversores. Testes e simulações mostraram a eficiência do dispositivo, sem impactos nos sistemas de proteção.
- Foram apresentadas metodologias de sincronização para sistemas de PMUs em subestações convencionais e digitais.
- A preocupação com a capacitação de pessoal em subestações digitais levou à criação de metodologias de treinamento e métricas para avaliação.
- A metodologia proposta pela GE Vernova tem como pilares a avaliação da satisfação dos participantes, o aumento do conhecimento adquirido e o foco nos resultados obtidos.
- A Hitachi, em parceria com o SENAI, montou o laboratório *Grid 4.0*, integrando a TI à formação em engenharia elétrica.
- Em razão das novas diretrizes de engenharia e com o objetivo de suprir as demandas de proteção e controle, a Universidade Federal Fluminense (UFF) propôs a modernização do currículo da engenharia elétrica.
- A modernização do currículo de engenharia elétrica da UFF considerou novas competências em temas como digitalização, fontes renováveis e segurança cibernética, entre outros.

Grupo VI - COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DO MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA – GCR

- Segurança e monitoramento prudencial: os trabalhos reforçaram a evolução dos mecanismos de controle de risco sistêmico no mercado livre, destacando a importância de metodologias quantitativas robustas para mitigação de inadimplência e avaliação de alavancagem.
- Integração de novas fronteiras: ficou evidente o crescimento do interesse por mercados de hidrogênio verde e eletromobilidade, ambos exigindo adaptações regulatórias e planejamento de infraestrutura para garantir a inserção eficiente no setor elétrico.
- Modelagem e precificação: constatou-se a possibilidade de avanços metodológicos e na base de dados nos processos de operação e formação de preço, sobretudo com aplicações

no modelo DESSEM. Isso aponta para maior sofisticação da regulação de preços no curto prazo.

- Hidrelétricas e regulação de atributos: os debates destacaram que a adequada valoração de atributos de flexibilidade, armazenamento e confiabilidade das usinas hidrelétricas é condição essencial para manter a competitividade do SIN frente ao crescimento das renováveis.
- Integração tecnológica: identificaram-se propostas promissoras para usinas reversíveis e armazenamento por baterias, com foco em superar barreiras regulatórias e tributárias que ainda limitam a expansão dessas soluções no Brasil.
- Inovação em modelagem e operações: houve constatações sobre novas formas de precificação e estratégias de arbitragem em tempo real (BESS e *reinforcement learning*), que abrem caminho para maior previsibilidade e eficiência nos mercados de energia, além de contribuir para análises de impactos regulatórios.
- Integração regional e internacionalização: os ITS reforçaram o papel estratégico do Brasil na liderança da integração elétrica no Cone Sul, evidenciando desafios regulatórios e oportunidades para maior liquidez e segurança regional.
- Digitalização e medição avançada: constatou-se que medidores inteligentes e o avanço da digitalização são indispensáveis para a modernização do mercado, sobretudo para resposta da demanda e novos modelos de participação dos consumidores.
- *Curtailment* e resposta da demanda: verificou-se consenso sobre a necessidade de novos instrumentos regulatórios para lidar com o *curtailment* e viabilizar mecanismos de resposta da demanda mais sofisticados, incluindo *sandboxes* regulatórios e estratégias de equilíbrio de mercado.
- Carbono e transição energética: destacou-se a urgência de considerar a precificação de carbono e seus impactos econômicos nos projetos de geração, consolidando o papel das políticas climáticas na evolução da regulação do setor elétrico.
- Aprimoramentos de tomada de decisão: verificaram-se oportunidades de melhores tomadas de decisão para planejamento e otimização da operação do sistema elétrico, bem como para a comercialização de energia elétrica, a partir de inovações metodológicas.
- O Brasil avança para modelos de precificação cada vez mais granulares e aderentes à realidade operacional, associados a mecanismos prudenciais para mitigação de riscos sistêmicos. Esse progresso é fundamental para dar segurança à expansão do mercado livre e proteger a liquidez do sistema.
- As propostas sobre usinas reversíveis, sistemas de baterias e hidrelétricas multifuncionais confirmaram que a regulação brasileira precisa acelerar a adequação de marcos normativos e tributários para viabilizar o papel dessas tecnologias como amortecedores da variabilidade das fontes renováveis.

- Destacaram-se avanços no tratamento regulatório do *curtailment*, na valorização da resposta da demanda e na adoção de medidores inteligentes, somados a discussões sobre hidrogênio e precificação de carbono. O mercado está em transição, integrado com a agenda climática e digital, e o consumidor é o protagonista.

Grupo VII - PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GPL

- A relação entre o crescimento dos recursos inflexíveis e a demanda por flexibilidade traz a necessidade de adaptação do setor elétrico brasileiro a um novo contexto, com foco em descarbonização e segurança do suprimento.
- A flexibilidade operativa é uma questão central para o SIN e possui desafios em todas as esferas — planejamento, operação, comercialização e regulação.
- O acesso de grandes cargas requer o aprimoramento de aspectos técnicos e regulatórios da conexão. Vislumbra-se a possibilidade de que essas grandes cargas possam contribuir para a solução de problemáticas já existentes.
- Aspectos ambientais e climáticos tornam-se cada vez mais relevantes no planejamento dos sistemas elétricos, envolvendo tanto a preparação para os eventos quanto a mitigação das emissões de GEE.
- Conclui-se pela relevância da busca por metodologias de diagnóstico e soluções de expansão de rede que tragam maior eficiência, de modo a fazer frente ao aumento da integração de renováveis — questão que se relaciona com um dos principais desafios atuais do setor, o *curtailment* de geração renovável.
- O desenvolvimento tecnológico tem possibilitado novos modelos de negócio tanto nas infraestruturas elétrica e de gás natural quanto na produção de energia.
- Os estudos de planejamento da expansão da transmissão em áreas sensíveis, do ponto de vista socioambiental, requerem análises multidisciplinares abrangentes, de modo a cobrir os diversos aspectos da expansão e as especificidades locais.
- A utilização de novas tecnologias de transmissão, como cabos especiais e dispositivos FACTS, mostra-se uma alternativa promissora para solucionar os desafios da expansão da transmissão.
- As novas características do parque gerador exigem maior assertividade na previsão de recursos para operação e na estimativa de sua contribuição ao sistema no médio e longo prazo.
- As ferramentas de gestão de ativos têm ganhado grande relevância no setor e se mostram essenciais para os processos de planejamento, operação e programação de manutenções e intervenções nos sistemas elétricos de potência.

- A intensificação da sinalização locacional das tarifas de uso do sistema de transmissão requer uma discussão setorial, visando aprimorar questões metodológicas, regulatórias e de alocação de custos.
- A adaptação da forma de representação e previsão da carga tem crescido em importância frente às mudanças climáticas.

Grupo VIII - SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO – GSE

- A gestão de ativos atingiu um patamar de maturidade, com soluções que combinam o uso de BIM, associado ao monitoramento contínuo e a indicadores de condição, com forte integração entre sistemas, viabilizando ambientes comuns de dados e aplicação efetiva em projetos, construção, operação e manutenção.
- Foram apresentadas iniciativas para o aumento da confiabilidade, destacando-se soluções de engenharia para *retrofit*, análise de condições críticas de manobra e práticas de campo e comissionamento, que influenciam diretamente o desempenho dos equipamentos.
- Observam-se avanços tecnológicos e metodológicos voltados à transformação digital, segurança e resiliência das subestações e equipamentos, impactando na operação, inspeção e projeto, com o objetivo de elevar sua eficiência e sustentabilidade.
- O uso de inteligência artificial, aliado à instrumentação, permite antecipar falhas em sistemas isolantes a partir de medições em campo, além de auxiliar em projetos, com impacto significativo na redução de erros e tempo de modelagem.
- A integração entre ciência dos materiais e inteligência artificial se habilita como motor da evolução tecnológica das subestações, contribuindo para o desenvolvimento de equipamentos mais inteligentes e resilientes.
- Foi sugerida a criação de um grupo de trabalho sobre obras civis em subestações, especialmente para buscar soluções resilientes frente aos eventos climáticos extremos.

Grupo IX - OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GOP

- Várias análises abordam a mitigação do *curtailment* e a necessidade de maior flexibilidade dos recursos despacháveis, especialmente das hidrelétricas.
- Foram evidenciadas iniciativas de otimização de manutenção e operação de ativos, permitindo maior eficácia na detecção prematura de falhas incipientes.
- As ações implementadas de digitalização e automação da operação, com uso de IA e processamento em nuvem, já são uma realidade, demonstrando ganhos em resiliência, escalabilidade e capacidade de processamento.

- A gestão de riscos climáticos vem sendo cada vez mais integrada à operação em tempo real, com aprimoramentos no uso de ferramentas de IA.
- Com relação às inovações tecnológicas e digitalização abordadas nos artigos, destacam-se os seguintes pontos: o uso de aprendizado de máquina (ML) e de Inteligência Artificial (IA) para manutenção preditiva; a otimização de sistemas de armazenamento por baterias (BESS); e a melhoria dos sistemas de comunicação e monitoramento da rede.

Grupo X – DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS

- Nota-se uma grande preocupação com a representação de equivalentes de rede para estudos de transitórios eletromagnéticos, porém sem resultados que indiquem grandes avanços em relação à metodologia atual.
- Constata-se uma tendência em estudar situações não convencionais nas análises de descargas atmosféricas, como, por exemplo, o impacto da elevação do terreno e a transposição de fases na ocorrência de múltiplos *backflashover* em LTs de circuito duplo.
- Com relação a surtos de manobra, observa-se uma crescente preocupação em analisar manobras de reatores *shunt* e a reignição dos disjuntores associados, com vistas a quantificar os impactos nos disjuntores e, especialmente, nos reatores.
- Na manobra de energização de grandes unidades transformadoras, tem-se preferido o uso de resistores de pré-inserção em vez de sincronizadores, visto que o primeiro tem se mostrado mais confiável que o segundo.
- Há um desafio atual em utilizar, na mesma subestação, para-raios de tensões nominais diferentes.
- Embora haja novas tecnologias e uma evolução nos procedimentos de análise de qualidade de energia elétrica, envolvidos na medição e gestão de harmônicos no SIN, ainda há vários desafios relacionados à regulação de harmônicos na rede que precisam ser superados.

Grupo XI – DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GMA

- Estudos mostram a importância e a necessidade de ampliar o envolvimento das comunidades na fase de planejamento e operação dos empreendimentos.
- Oportunidade de ampliação do uso de IA e *Big Data* para análises preditivas de riscos ambientais.
- Fortalecimento da biodiversidade e abordagem ecossistêmica como aspectos materiais e estratégicos para o negócio de GTD, com incorporação de soluções baseadas na natureza e práticas que valorizam os serviços ecossistêmicos e promovem a conservação.

- Desafio futuro na padronização e na mensuração de indicadores de serviços ecossistêmicos, para garantir comparabilidade, efetividade e valoração dos benefícios.
- Aumento na digitalização da gestão socioambiental, com a expansão do uso de tecnologias avançadas — como a crescente aplicação de geoprocessamento, modelagens, IoT, IA e outras ferramentas digitais — para monitoramento e planejamento ambiental, com o desafio de integrar plataformas e capacitar equipes.
- O SEB avança na análise e incorporação de riscos climáticos e na definição de medidas de adaptação e resiliência. É um desafio incorporar esses cenários à premente preocupação com a transição energética justa, à atenção à ACV, ao uso de minerais críticos e à garantia de energia acessível e confiável.
- Os padrões IFRS (*International Financial Reporting Standards*) marcam uma nova fase para o reporte ESG e têm impulsionado a necessidade de revisão dos processos e fluxos de gestão ambiental e de responsabilidade social nas empresas.

Grupo XII - SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO – GDI

- Os recursos energéticos distribuídos constituem um novo paradigma para o planejamento e operação dos sistemas de distribuição, possibilitando flexibilidade operacional para os centros de operação, a partir do provimento de serviços de suporte à rede, serviços ancilares e novos modelos de negócios.
- A configuração de microrredes de energia, formadas por recursos energéticos distribuídos e cargas controláveis, constitui um novo modelo de negócios aplicável tanto às unidades consumidoras (*behind-the-meter microgrids*) quanto às empresas de distribuição (*utility-scale microgrids*).
- A penetração de veículos elétricos é ainda incipiente, mas com um gradiente de crescimento. O planejamento da operação das redes de distribuição, associados à agenda regulatória, precisam endereçar a característica dinâmica desse tipo de carga. Futuramente, os VEs podem evoluir como REDs.
- A elevada dispersão de recursos energéticos distribuídos (RED) já tem afetado a operação do sistema interligado, perceptível pela alteração das curvas de carga líquida, variação do fluxo de potência nas barras de fronteira e operação do ERAC. A discussão de modelos de integração TSO–DSO deve ser ampliada.
- A resiliência das redes de distribuição frente a eventos climáticos extremos demanda o emprego de tecnologias e processos para implementar ações preditivas e corretivas, sugerindo novos modelos na operação das redes de distribuição.

Grupo XIII - TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES – GTM

- A definição do *hot spot* mostra-se um desafio, considerando as diferenças construtivas e pontos operativos com diferentes DTH, principalmente para transformadores associados a fontes alternativas de geração. A capitalização de perdas merece uma discussão aprofundada pelo setor elétrico.
- Reatores saturáveis estão sendo estudados e poderão ser uma boa alternativa para regulação da tensão no sistema elétrico.
- Estratégias para redução ou definição de perdas, regulação de tensão e melhorias na eficiência de projetos de transformadores podem agregar ao desempenho do sistema.
- O monitoramento de transformadores e reatores e a aplicação de inteligência artificial, embora bastante utilizadas, necessitam de prospecção.
- Destaca-se a importância do estudo da interação entre disjuntores e transformadores quanto aos transitórios eletromagnéticos e da modelagem adequada dos transformadores.
- Há incentivo para ampliar o uso da medição e monitoramento de DPS em equipamentos no campo, apesar de haver maior dificuldade no domínio da técnica, reconhecendo-se que a técnica é uma das mais sensíveis.
- Uma melhor avaliação dos equipamentos pode ser obtida com o uso de várias técnicas de medição, análise e monitoramento.
- A medição de resposta em frequência é uma ferramenta muito importante para avaliação mecânica e dielétrica, bem como para a obtenção de modelos.

Grupo XIV - GERAÇÃO EÓLICA, SOLAR E DEMAIS RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUÍDOS – GES

- Importância de método matemático para aumento da vida útil. Necessidade de utilizar os dados apresentados para tomada de decisão na gestão de ativos, a fim de otimizar as intervenções. O CMA torna-se uma realidade diante da perda de garantias dos ativos, porém requer uma mudança de cultura e internalização.
- O Brasil carece de infraestrutura para viabilizar a produção e o armazenamento de H₂. O alto custo dos materiais do sistema de armazenamento em alta pressão e a não universalização do eletrolisador são barreiras para o H₂ no país. No transporte pesado, foi apresentada uma opção usando H₂ + diesel.
- A viabilização do uso do BESS está vinculada à definição da regulação, do modelo de negócio e das receitas atreladas não só à energia, mas também aos serviços ancilares.

Projetos agrovoltáicos ainda estão em fase embrionária, sem maturidade suficiente para aplicação em larga escala.

- Aplicação de BESS em serviços auxiliares de subestações, *curtailment* e hibridização junto com reversíveis, para melhorar a resposta às variações de carga. Destaca-se a importância da disponibilidade de dados meteorológicos confiáveis, acessíveis e precisos para as previsões de geração e carga.
- A necessidade de desenvolvimento da indústria eólica *offshore* no Brasil ainda passa por grandes desafios regulatórios, técnicos e de infraestrutura de integração. Os trabalhos apresentados demonstraram a necessidade de soluções para essas questões e de melhoria na gestão de ativos dos equipamentos eólicos em operação.
- Foram apresentadas novas tecnologias de produção e armazenamento de H₂ em estado sólido. Adicionalmente, destacou-se um *case* de inovação na produção de H₂ a partir de eletrólise microbiana.
- Métodos de detecção antecipada de problemas em aerogeradores reduzem o prazo de intervenção e a indisponibilidade, permitindo o planejamento de manutenções preditiva e preventiva. Foi apresentado também um modelo de verificação da velocidade do vento para parques eólicos combinado com afluência hídrica.
- A bateria tem várias aplicações no setor e depende da regulamentação atrelada ao modelo de negócio. Foram apresentados dois tipos de aplicação: um na geração, para evitar o *curtailment*, e outro na transmissão, que evitou a construção de uma nova LT. Isso demonstra a versatilidade do BESS.
- O impacto da geração distribuída nas distribuidoras tornou-se muito relevante, criando a necessidade de reforços nas redes e no controle da geração. Verifica-se a necessidade de criação, pela regulação, da figura do Operador do Sistema de Distribuição (DSO).

Grupo XV - SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS – GTL

- Ambientes simulados, *digital twins* e modelos LLM foram amplamente discutidos, especialmente em aplicações de análise preditiva, com potencial para enfrentar desafios no setor elétrico.
- A cibersegurança permanece em destaque, com trabalhos focados em aplicações práticas para sistemas de grande porte.
- O MPLS-TP se consolidou como a tecnologia mais aderente aos requisitos de missão crítica, ao garantir transporte determinístico, proteção rápida e comutação ininterrupta (*hitless*). Ademais, o uso do 5G em grandes áreas tem se mostrado funcional, oferecendo baixa latência para aplicações operativas.

- A partir dos trabalhos e apresentações, é possível constatar uma convergência no setor elétrico em direção à aplicação de inteligência artificial (IA). Observa-se que a IA tem sido empregada não apenas como uma ferramenta de automação, mas como um meio de aprimorar processos críticos, auxiliando a operação, a manutenção e a proteção do sistema. O uso de algoritmos de aprendizado de máquina, redes neurais e sistemas baseados em inteligência orientada por aplicações se mostra uma tendência na melhoria da eficiência, redução de custos operacionais e na elevação da confiabilidade dos ativos.
- A crescente adoção da IA no desenvolvimento de modelos preditivos que incorporam, de forma simultânea, as etapas de previsão e decisão é uma observação importante. Essa abordagem pode representar uma evolução significativa, permitindo que os sistemas operem de maneira mais alinhada às condições reais do sistema elétrico. Seja na identificação de anomalias operativas, na previsão de comportamentos de ativos ou na melhoria dos tempos de atuação de equipamentos críticos, a IA se mostra uma tendência de aborda estratégica para apoiar as decisões no setor.
- Outra constatação relevante diz respeito ao fortalecimento das discussões e práticas relacionadas à segurança cibernética aplicada às infraestruturas críticas do setor elétrico. Os trabalhos analisados apontam para uma evolução clara na maturidade das abordagens, com destaque para a aplicação de normas internacionais, como IEC 62443, e de metodologias baseadas na segmentação de redes, na arquitetura de defesa em profundidade e na adoção de práticas de segurança desde a concepção dos projetos. Nesse contexto, destaca-se também o surgimento de soluções de IA aplicadas à cibersegurança, tanto no monitoramento quanto na detecção de ameaças, evidenciando uma tendência de integração entre tecnologia operacional (TO) e inteligência artificial.
- Verifica-se ainda que, embora haja avanços significativos, ainda persistem desafios expressivos, especialmente no que tange à proteção de ambientes que operam com sistemas legados, gestão de vulnerabilidades e integração segura de novas tecnologias como redes 5G privadas, IoT e sistemas de automação cada vez mais interconectados. A análise dos trabalhos evidencia que o setor caminha na direção da digitalização, orientada por inovações tecnológicas, com a IA assumindo papel central nesse processo como vetor de eficiência.
- Do ponto de vista de redes, temos avanço e aplicações concretas da tecnologia 5G. O 5G é visto como alicerce essencial para a modernização das redes elétricas. Há um movimento de avaliação técnica e econômica comparando 5G com outras tecnologias sem fio (LTE, WiFi6). Contudo, faltam trabalhos que trazem práticas mais efetivas unindo equipamentos reais de SEs, como IEDs, e rede reais de operadoras 5G.
- O treinamento, a formação técnica e o suporte à operação estão sendo transformados por tecnologias imersivas e assistentes inteligentes e gamificação.
- Os jogos digitais, as tecnologias imersivas e a gamificação no setor elétrico representam uma inovação na educação corporativa e têm ganhado espaço em projetos, principalmente

aqueles com riscos e com necessidade de acontecer de forma presencial, reduzindo custos e aumentando a eficiência operacional.

Grupo XVI - ASPECTOS EMPRESARIAIS, INOVAÇÃO, P&D E REGULAÇÃO SETORIAL – GAE

- Gestão de ativos como pilar de eficiência e valor: a gestão de ativos consolida-se entre os agentes do SIN como prática essencial para a eficiência operativa, a sustentabilidade dos negócios e a maximização de resultados no setor elétrico.
- Inteligência artificial: eficiência com responsabilidade. A aplicação da IA em engenharia, operação e gestão traz ganhos expressivos de produtividade, mas requer critérios técnicos e governança para assegurar a confiabilidade e a coerência dos resultados.
- ESG como diferencial estratégico: a integração de princípios ESG às práticas corporativas das empresas de energia já é uma realidade, fortalecendo a governança, a reputação e a criação de valor sustentável.
- Regulação para um setor mais ágil e eficiente: os processos de conexão de novos agentes e de alocação de receitas para melhorias e reforços na rede básica e na geração ainda demandam aperfeiçoamentos que ampliem a eficiência e a flexibilidade regulatória.