

Geração Térmica e Eficiência Energética

19 a 22 de outubro de 2025

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

GEORGE ALVES SOARES

Wagner Ferreira Lima, George Alves Soares, Myrthes Marcelle Farias dos Santos

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em relação aos artigos sobre eficiência energética, os artigos abrangem uma diversidade de temas que refletem tendências atuais no setor elétrico:

Tecnologias emergentes e inteligência artificial : trabalhos como o de ID 73, sobre uso de IA em estratégias energéticas, apontam para a integração de algoritmos preditivos e sistemas inteligentes como ferramentas de apoio à eficiência energética e planejamento de consumo.

Políticas públicas e regulação : artigos ligados ao MME, EPE e ENBPar (ex.: ID 224 e 1132) analisam planos de aplicação, índices mínimos de eficiência e histórico do PROCEL, fornecendo referências de metodologias regulatórias e de avaliação de impacto.

Eficiência energética em edificações e iluminação pública : títulos como os IDs 1284, 1299 e 1344 mostram foco em iluminação LED, parcerias público-privadas e transição tecnológica , com análises econômicas e operacionais aplicáveis a municípios.

Projetos educacionais e culturais : iniciativas como o ID 1622 (“Projeto EnergIF”) exploram metodologias de disseminação da cultura de eficiência energética em instituições de ensino técnico, demonstrando experiências replicáveis.

A partir do conjunto, algumas lacunas e oportunidades podem ser destacadas:

Integração entre IA e regulação : embora apareçam estudos isolados, falta uma abordagem sistemática que una algoritmos inteligentes à formulação de políticas públicas energéticas, especialmente no monitoramento dinâmico de metas de eficiência.

Monitoramento longitudinal em edificações : a transição para LED e eficiência predial é explorada, mas seria interessante aprofundar métodos de medição pós-ocupação, com indicadores padronizados que permitam comparar resultados em escala nacional.

Aspectos socioeconômicos da eficiência energética : poucos trabalhos exploram impactos distributivos, como efeitos em comunidades vulneráveis ou redução de pobreza energética — área estratégica para expansão das políticas.

Análise comparativa internacional : há espaço para ampliar benchmarking com programas de outros países (EUA, UE, Ásia), fortalecendo a adoção de melhores práticas.

Assuntos que requerem atenção especial

Resiliência energética urbana : o crescimento das PPPs em iluminação pública e eficiência operacional urbana indica a necessidade de ampliar estudos sobre resiliência climática e digitalização de redes urbanas.

Formação de profissionais e capacitação : o “Projeto EnergIF” é um exemplo isolado; será crucial multiplicar iniciativas de capacitação técnica em eficiência energética para sustentar a transição tecnológica.

Integração com fontes renováveis : embora eficiência apareça em diversos artigos, há pouca conexão explícita com a expansão de renováveis descentralizadas (solar distribuída, biomassa em pequena escala).

Em relação aos artigos do Geração Térmica, eles revelam grande diversidade de abordagens:

Sensores e novos materiais : trabalhos como o ID 118 (sensor de CO₂ com óxido de grafeno) indicam a adoção de metodologias experimentais para monitoramento ambiental aplicado ao setor elétrico, reforçando a importância da digitalização e controle de emissões.

Inteligência Artificial e monitoramento : o ID 176 utiliza IA para acompanhamento da qualidade do combustível, mostrando aplicação prática de algoritmos de aprendizado de máquina no diagnóstico em tempo real.

Proteção e confiabilidade : estudos como o ID 221 exploram metodologias de proteção contra arco elétrico, essenciais para segurança operacional das redes de transmissão e geração.

Modelagem e ferramentas computacionais : artigos como os IDs 342 e 472 demonstram desenvolvimento de modelos matemáticos e softwares de apoio à operação, reforçando a linha de pesquisa em otimização de ativos energéticos.

Processos químicos e eficiência em plantas industriais : os IDs 497 e 865 relatam experiências práticas com substituição de agentes químicos em sistemas térmicos, evidenciando ganhos ambientais e operacionais.

Gás Natural Liquefeito (GNL) : títulos como os IDs 582 e 656 destacam metodologias de otimização de inventário e modelagem de envelhecimento, apontando para pesquisas relevantes na logística e no uso de combustíveis de transição.

Automação e visão computacional : o ID 651 sobre monitoramento de correias transportadoras ilustra o avanço de métodos digitais para manutenção preditiva.

A partir do conjunto, algumas lacunas e oportunidades podem ser destacadas:

Integração entre IA, sensoriamento e redes inteligentes : aprofundar metodologias de interoperabilidade, unindo sensores avançados, algoritmos preditivos e sistemas SCADA/EMS para maior confiabilidade das operações.

Avaliação de ciclo de vida e sustentabilidade : muitos estudos apresentam soluções técnicas, mas poucos destacam metodologias de avaliação do impacto ambiental e socioeconômico em longo prazo.

Normalização e padronização de ferramentas : as ferramentas computacionais propostas poderiam ser comparadas e alinhadas a protocolos nacionais (ONS, ABNT) e internacionais (IEEE, IEC), ampliando sua aplicabilidade.

Integração GNL e renováveis : os trabalhos sobre GNL indicam maturidade tecnológica, mas seria importante investigar metodologias híbridas com renováveis, contribuindo para estratégias de transição energética.

Aplicações em larga escala de monitoramento automático : a automação em

correias transportadoras deve ser ampliada para outros ativos críticos (transformadores, linhas, turbinas).

Assuntos que requerem atenção especial

Descarbonização e monitoramento de emissões : sensores de CO2 e substituição de químicos sinalizam caminhos iniciais, mas será necessário avançar em metodologias integradas de descarbonização do setor.

Resiliência e cibersegurança em redes inteligentes : o uso crescente de IA e automação exigirá atenção a protocolos de segurança e confiabilidade cibernética.

Formação de capital humano digital : a crescente digitalização requer desenvolvimento de novas competências técnicas em monitoramento, modelagem e automação industrial.

Infraestrutura de gás e transição energética : os estudos com GNL são relevantes, mas será estratégico conectar essa linha a políticas de transição, evitando aprisionamento em soluções fósseis.

Manutenção preditiva expandida : os casos de automação e visão computacional abrem espaço para desenvolver metodologias replicáveis em todo o parque industrial e de transmissão.

2.0 - Classificação dos Informes Técnicos

Em relação aos artigos sobre eficiência energética, os artigos abrangem uma diversidade de temas que refletem tendências atuais no setor elétrico:

Tecnologias emergentes e inteligência artificial : trabalhos como o de ID 73, sobre uso de IA em estratégias energéticas, apontam para a integração de algoritmos preditivos e sistemas inteligentes como ferramentas de apoio à eficiência energética e planejamento de consumo.

Políticas públicas e regulação : artigos ligados ao MME, EPE e ENBPar (ex.: ID 224 e 1132) analisam planos de aplicação, índices mínimos de eficiência e histórico do PROCEL, fornecendo referências de metodologias regulatórias e de avaliação de impacto.

Eficiência energética em edificações e iluminação pública : títulos como os IDs 1284, 1299 e 1344 mostram foco em iluminação LED, parcerias público-privadas e

transição tecnológica , com análises econômicas e operacionais aplicáveis a municípios.

Projetos educacionais e culturais : iniciativas como o ID 1622 (“Projeto EnergiF”) exploram metodologias de disseminação da cultura de eficiência energética em instituições de ensino técnico, demonstrando experiências replicáveis.

A partir do conjunto, algumas lacunas e oportunidades podem ser destacadas:

Integração entre IA e regulação : embora apareçam estudos isolados, falta uma abordagem sistemática que una algoritmos inteligentes à formulação de políticas públicas energéticas, especialmente no monitoramento dinâmico de metas de eficiência.

Monitoramento longitudinal em edificações : a transição para LED e eficiência predial é explorada, mas seria interessante aprofundar métodos de medição pós-ocupação, com indicadores padronizados que permitam comparar resultados em escala nacional.

Aspectos socioeconômicos da eficiência energética : poucos trabalhos exploram impactos distributivos, como efeitos em comunidades vulneráveis ou redução de pobreza energética — área estratégica para expansão das políticas.

Análise comparativa internacional : há espaço para ampliar benchmarking com programas de outros países (EUA, UE, Ásia), fortalecendo a adoção de melhores práticas.

Assuntos que requerem atenção especial

Resiliência energética urbana : o crescimento das PPPs em iluminação pública e eficiência operacional urbana indica a necessidade de ampliar estudos sobre resiliência climática e digitalização de redes urbanas.

Formação de profissionais e capacitação : o “Projeto EnergiF” é um exemplo isolado; será crucial multiplicar iniciativas de capacitação técnica em eficiência energética para sustentar a transição tecnológica.

Integração com fontes renováveis : embora eficiência apareça em diversos artigos, há pouca conexão explícita com a expansão de renováveis descentralizadas (solar distribuída, biomassa em pequena escala).

Em relação aos artigos do Geração Térmica, eles revelam grande diversidade de abordagens:

Sensores e novos materiais : trabalhos como o ID 118 (sensor de CO₂ com óxido de grafeno) indicam a adoção de metodologias experimentais para monitoramento ambiental aplicado ao setor elétrico, reforçando a importância da digitalização e controle de emissões.

Inteligência Artificial e monitoramento : o ID 176 utiliza IA para acompanhamento da qualidade do combustível, mostrando aplicação prática de algoritmos de aprendizado de máquina no diagnóstico em tempo real.

Proteção e confiabilidade : estudos como o ID 221 exploram metodologias de proteção contra arco elétrico, essenciais para segurança operacional das redes de transmissão e geração.

Modelagem e ferramentas computacionais : artigos como os IDs 342 e 472 demonstram desenvolvimento de modelos matemáticos e softwares de apoio à operação, reforçando a linha de pesquisa em otimização de ativos energéticos.

Processos químicos e eficiência em plantas industriais : os IDs 497 e 865 relatam experiências práticas com substituição de agentes químicos em sistemas térmicos, evidenciando ganhos ambientais e operacionais.

Gás Natural Liquefeito (GNL) : títulos como os IDs 582 e 656 destacam metodologias de otimização de inventário e modelagem de envelhecimento, apontando para pesquisas relevantes na logística e no uso de combustíveis de transição.

Automação e visão computacional : o ID 651 sobre monitoramento de correias transportadoras ilustra o avanço de métodos digitais para manutenção preditiva.

A partir do conjunto, algumas lacunas e oportunidades podem ser destacadas:

Integração entre IA, sensoriamento e redes inteligentes : aprofundar metodologias de interoperabilidade, unindo sensores avançados, algoritmos preditivos e sistemas SCADA/EMS para maior confiabilidade das operações.

Avaliação de ciclo de vida e sustentabilidade : muitos estudos apresentam soluções técnicas, mas poucos destacam metodologias de avaliação do impacto ambiental e socioeconômico em longo prazo.

Normalização e padronização de ferramentas : as ferramentas computacionais propostas poderiam ser comparadas e alinhadas a protocolos nacionais (ONS, ABNT) e internacionais (IEEE, IEC), ampliando sua aplicabilidade.

Integração GNL e renováveis : os trabalhos sobre GNL indicam maturidade tecnológica, mas seria importante investigar metodologias híbridas com renováveis, contribuindo para estratégias de transição energética.

Aplicações em larga escala de monitoramento automático : a automação em correias transportadoras deve ser ampliada para outros ativos críticos (transformadores, linhas, turbinas).

Assuntos que requerem atenção especial

Descarbonização e monitoramento de emissões : sensores de CO₂ e substituição de químicos sinalizam caminhos iniciais, mas será necessário avançar em metodologias integradas de descarbonização do setor.

Resiliência e cibersegurança em redes inteligentes : o uso crescente de IA e automação exigirá atenção a protocolos de segurança e confiabilidade cibernética.

Formação de capital humano digital : a crescente digitalização requer desenvolvimento de novas competências técnicas em monitoramento, modelagem e automação industrial.

Infraestrutura de gás e transição energética : os estudos com GNL são relevantes, mas será estratégico conectar essa linha a políticas de transição, evitando aprisionamento em soluções fósseis.

Manutenção preditiva expandida : os casos de automação e visão computacional abrem espaço para desenvolver metodologias replicáveis em todo o parque industrial e de transmissão.

2.1 - Biomassa (uso direto, biodigestores, gaseificadores, álcool, biodiesel, etc.), biogás e resíduos sólidos urbanos, cogeração (bagaço de cana, palha de

arroz, lixo urbano, gás de alto forno etc.) e uso em células a combustível e em sistemas integrados - 1

2.2 - Usinas Termelétricas (UTE) interligadas ao sistema elétrico - gás natural, gás de xisto, carvão e nuclear - 7

2.3 - Modernização, repotenciação de UTE e equipamentos de geração - 1

2.4 - Aspectos associados a máquinas térmicas, compreendendo caldeiras, motores, turbinas, geradores e seus sistemas de proteção, auxiliares e regulação de tensão e de velocidade - 2

2.5 - Aspectos de manutenção e gestão de equipamentos de estruturas térmicas - 1

2.6 - Redução de emissão de CO₂ - 4

2.7 - Aspectos Regulatórios associados à geração térmica - 2

2.8 - Métodos, técnicas e ferramentas técnicas e financeiras visando à ampliação da eficiência energética de edificações, sistemas, processos e produtos - 4

2.9 - Regulação, políticas públicas e programas de eficiência energética inclusive educacional e de capacitação - 9

2.10 - Inovação tecnológica associada à eficiência energética - 3

- Uso da Inteligência Artificial como Estratégia no Gerenciamento de Energia
- Inteligência Artificial para Monitoramento da Qualidade do Combustível em Usinas Termelétricas
- Transformação Digital na Indústria de Energia: Utilização do Projeto Mobilidade no Parque Termelétrico da Petrobras
- Potencial de Eficiência Energética na Iluminação Pública de Municípios Amazônicos
- Avaliação Completa da transição para a Iluminação em LED no Setor Residencial Municipal como estratégia de Eficiência Energética
- O Programa Permanente para o Uso Eficiente dos Recursos Hídricos e Energéticos na Universidade de São Paulo (PUERHE-USP)
- Projeto EnergIF - cultura da eficiência energética a partir da capacitação de servidores da Rede Federal de EPCT
- Levantamento do Panorama Atual dos Sistemas de Iluminação Pública no Brasil: Estudo de Caso dos Municípios Abrangidos pelo Procel Reluz
- Efeitos Comportamentais e Benefícios da Iluminação Pública Eficiente em Pequenos e Médios Municípios: Uma Análise do Programa Procel Reluz
- Eficiência Operacional em PPPs de Iluminação Pública: Avaliação sob o Viés MCDA-C
- Estudo de caso de 25 anos do PROGRAMA PROCEL RELUZ - o maior programa de iluminação pública eficiente do Brasil
- Metodologia do indicador ODEX para monitoramento da eficiência energética no Brasil
- POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO DOS PLANOS DE APLICAÇÃO DE RECURSOS DO PROCEL PARA ALAVANCAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SETORES DE MAIOR IMPACTO NA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL
- Implementação de Índices Mínimos de Eficiência Energética aplicado às Edificações
- O diagnóstico energético como ferramenta de gestão da energia para a redução de emissões de carbono
- Análise de usos e consumos de vetores energéticos seguindo as diretrizes da ISO 50.001:2018: estudo de caso na Universidade Federal de Pernambuco

- Impactos do Encargo de Potência para Reserva de Capacidade: Desafios e Perspectivas Tarifárias
- Do Carbono às Renováveis: O Papel da Descontratação Térmica e os Efeitos na Modicidade Tarifária
- Sensor de CO2 baseado em revestimento de óxido de grafeno em Redes de Período Longo
- Avaliação Técnica de Rotas Tecnológicas para Produção de Combustíveis Sintéticos com Integração de CO2 Biogênico Proveniente de Usina Termoelétrica
- Desenvolvimento de Tecnologia para Adição de Hidrogênio e Oxigênio para a Descarbonização e Redução de Consumo de Combustível em UTEs
- Novo Modo de Controle do TGV na UTE Cubatão
- Monitoramento Automatizada de Correias transportadoras tubulares fazendo uso de IA e Sensoriamento Remoto
- Ganhos com a Implementação de Proteção Contra Arco Elétrico: Análise de Eventos Reais Ocorridos Antes e Depois da Instalação em uma Usina Termoelétrica.
- Aplicação de Tratamento Químico Volátil em Caldeiras de Recuperação da UTE Araucária
- Planta Heliotermica com Torre Central Integrada a Fotovoltaica de Alta Concentração Associada a Ciclo Rankine Orgânico
- Instrumentos de Planejamento Energético e a Valoração do Potencial Energético do Carvão Mineral UTE CANDIOTA III
- Aumento de confiabilidade no controle de nível dos tubulões de alta pressão (HP) das caldeiras de recuperação de calor da Usina termelétrica Baixada Fluminense (UTE-BF).
- Modelagem do Envelhecimento de GNL em uma FSRU e seus ciclos de pressurização e despressurização dos tanques
- Otimização de inventário de GNL em uma Unidade Flutuante de Armazenamento e Regaseificação.
- Antecipação do Suprimento do CRCAP da UTE Termopernambuco: Harmonização de Processos e Integração de Gás Natural e Eletricidade
- Substituição do Cloro por Bromo em Torres de Resfriamento da UTE Araucária: Redução de Riscos Químicos e Melhoria de Eficiência
- FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO ÓTIMA PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENOS REATORES NUCLEARES
- Cômputo e Valoração dos Potenciais Completos (CVPC) de um RELD Sob a Ótica do PIR: Gerenciamento da Demanda Através de UTE a Biomassa

3.0 - Relatório sobre os Informes Técnicos

Título - Cômputo e Valoração dos Potenciais Completos (CVPC) de um RELD Sob a Ótica do PIR: Gerenciamento da Demanda Através de UTE a Biomassa

Entidade(s) - Universidade de São Paulo

Autor(es) - Bruno Ecker Pizani, Andre Luiz Veiga Gimenes, Miguel Edgar Morales Udaeta, Viviane Tavares Nascimento, Vanessa Meloni Massara

Resumo

O planejamento energético contemporâneo exige uma abordagem holística que integre os recursos do lado da oferta e da demanda, com foco em sustentabilidade e eficiência. Neste contexto, este trabalho aplica a metodologia do Planejamento Integrado de Recursos (PIR) ao Gerenciamento do Lado da Demanda (GLD), visando realizar o Cômputo e Valoração de Potenciais Completos (CVPC) de um Recurso Energético pelo Lado da Demanda (RELD) aplicado ao setor industrial. O estudo tem como base uma planta de cogeração que utiliza biomassa na Região Administrativa de Araçatuba, com o objetivo de gerar energia elétrica e térmica de forma simultânea, otimizando o uso de insumos energéticos e promovendo benefícios ambientais, sociais e econômicos. A metodologia do CVPC considera quatro dimensões principais: técnico-econômica, ambiental, social e política. A cogeração com biomassa foi avaliada a partir de atributos como potencial energético teórico, tempo de implantação, economia financeira, investimentos necessários, emissão de gases de efeito estufa (GEEs), uso da água e do solo, geração de empregos e influência no desenvolvimento regional. O estudo identificou que o RELD analisado apresenta um elevado potencial técnico e econômico, com significativa economia na demanda em horários de ponta, além de ganhos na utilização de resíduos agrícolas. Contudo, foram também identificados desafios ambientais, especialmente no que se refere à emissão de GEEs, que é superior à média da geração centralizada no Sistema Interligado Nacional (SIN). O estudo conclui que a cogeração com biomassa é uma alternativa viável para a diversificação da matriz energética brasileira, principalmente em regiões com forte produção agrícola, contribuindo para a postergação de investimentos no setor elétrico e para o desenvolvimento sustentável regional.

Perguntas e Respostas

- **Como a metodologia PIR pode ser adaptada para outros RELDs, como iluminação pública ou edifícios?**
- **Existe intenção de aplicar a metodologia em parceria com concessionárias de energia?**
- **Qual a frequência recomendada para reavaliar os impactos sociais e ambientais dos RELDs implantados?**

- 1. Como a metodologia PIR pode ser adaptada para outros RELDs, como iluminação pública ou gestão de energia?**
- 2. Há planos para aplicar essa metodologia em estudos de casos reais com dados operacionais de UTEs existentes?**
- 3. Quais seriam as barreiras práticas ou regulatórias para a adoção do CVPC em leilões de energia?**

- 1. Como a metodologia PIR pode ser adaptada para outros RELDs, como iluminação pública ou gestão de energia?**

A própria metodologia do PIR já descreve as etapas para replicar os RELDs para qualquer uso final/setor: definir o mapeamento energo-ambiental; ranqueamento por CVPC nas quatro dimensões; plano preferencial de recursos energéticos; plano de ação. Isso significa que devem ser considerados todos os recursos energéticos disponíveis para executar o plano preferencial, inclusive os mencionados.

A adaptação para outros RELDs ocorre principalmente em três pontos, cômputo e valoração de cada atributo, seguida da consequente parametrização, no ajuste dos dados de entrada e na integração nos processos de valoração e planejamento (CVPC). A metodologia não muda em essência, apenas a descrição do recurso e seus parâmetros.

Em outras palavras, a adaptação exige apenas alimentar o PIR com dados e atributos representativos do RELD em questão, respeitando a estrutura comum de análise. Isso garante que o método continue sendo comparável e holístico, garantindo que qualquer recurso de demanda ou oferta seja analisado e comparado sob a mesma ótica (multiobjetivo e multicritério).

2. Há planos para aplicar essa metodologia em estudos de casos reais com dados operacionais de UTEs existentes?

O estudo de caso de cogeração a biomassa foi construído de forma genérica e com parâmetros regionais, tarifários e informações de fabricante, sendo que dados operacionais históricos de UTEs específicas fazem parte da generalização que foi assumida.

Além disso, há evidências da aplicação do PIRnaUSP - modelo denominado pelo Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica (GEPEA) na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - em diversas atividades de aplicação prática na região administrativa de Araçatuba (inventário energo-ambiental, ACC com En-In (parte do CVPC), coleta de dados, ranqueamento e integração), reforçando a vocação aplicada e a continuidade de trabalhos. Embora não haja um cronograma explícito para usinas térmicas existentes, o arcabouço metodológico e os produtos já desenvolvidos indicam que há uma base pronta para realizar estudos de casos com base em dados operacionais.

3. Quais seriam as barreiras práticas ou regulatórias para a adoção do CVPC em leilões de energia?

O CVPC busca fazer uma valoração multidimensional (técnico-econômica, ambiental, social e política), enquanto os leilões de energia costumam se basear apenas em critérios técnico-econômicos. Como algumas barreiras práticas ou regulatórias que precisariam ser contornadas, pode-se citar:

- Objetividade difusa na precificação das dimensões ambiental, social e política: a precificação de custos nessas dimensões é metodologicamente possível no PIRnaUSP, mas envolve complexidade de normatizar através de um leilão.
- Dificuldade de padronização de parâmetros ou atributos para o leilão: o CVPC exige bases comparáveis no espaço e no tempo. Validar isso para todos os competidores demandaria uma interação multicritério no contexto prático para as entidades responsáveis pelo leilão de energia (haja visto que hoje todos os sistemas contam com tecnologias de informação avançadas para auxiliar na análise).
- Aceitação institucional: seria necessária uma mudança estrutural no formato dos leilões, através da verificação e certificação dos En-In (envolvidos e interessados) e ajustes procedimentais por parte da CCEE para considerar as quatro dimensões de análise do CVPC, além de estudar formas de habilitar RELDs como

participantes do certame. Isso não significa que os RELOs devam ficar de fora. O PIR inclui os dois.

Assim, a adoção do CVPC em leilões de energia demandaria não apenas ajustes metodológicos e procedimentais, mas também um processo de alinhamento institucional que viabilize a consideração de externalidades, próprias da definição dos diferentes recursos energéticos (RELOs e RELDs) e a padronização de critérios. Essa transição pode ser desafiadora, mas representa uma oportunidade de tornar os leilões mais aderentes à nova realidade multidimensional do setor elétrico, trazendo mais eficiência e um caráter sustentável nas decisões de investimento.

Título - Instrumentos de Planejamento Energético e a Valoração do Potencial Energético do Carvão Mineral UTE CANDIOTA III

Entidade(s) - Universidade de São Paulo

Autor(es) - BIANCA DE SOUZA, Miguel Edgar Morales Udaeta, Viviane Tavares Nascimento, Vanessa Meloni Massara

Resumo

Este artigo tem como objetivo aprofundar a discussão sobre o planejamento energético integrado e a valoração completa do potencial do carvão mineral, utilizando como estudo de caso a Usina Termelétrica Candiota III. O carvão mineral, uma das fontes de energia mais amplamente utilizadas no mundo, desempenha um papel estratégico na matriz energética de muitos países, incluindo o Brasil. No entanto, seu uso contínuo levanta sérias preocupações ambientais, sobretudo no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes. Assim, torna-se essencial não apenas analisar a oferta e o potencial desse recurso, mas também buscar maneiras de maximizar seu uso de forma responsável e sustentável.

O artigo aborda a UTE Candiota III como problemática central, aplicando o conceito de Planejamento Integrado de Recursos (PIR) em quatro dimensões principais: técnica, econômica, social e ambiental. A metodologia proposta no presente artigo inclui o Cálculo da Valoração dos Potenciais Completos (CVPC), que avalia detalhadamente o valor energético do carvão mineral, levando em consideração tanto os benefícios quanto os impactos associados ao seu uso. No que tange a análise, essa é complementada por uma comparação com modelos internacionais de captura de carbono, como o Carbon Capture and Storage (CCS) nos Estados Unidos, explorando as tecnologias de mitigação de impacto climático e as estratégias para reduzir as emissões na geração de energia a partir de carvão.

Em suma, o artigo conclui que, embora o carvão mineral ainda tenha relevância na matriz energética brasileira, a continuidade de sua utilização deve ser repensada à luz das exigências ambientais globais, e que a adoção de tecnologias inovadoras como o CCS, junto com políticas públicas e incentivos econômicos, será essencial para garantir a sustentabilidade futura de projetos como a UTE Candiota III."

Perguntas e Respostas

- **Como o modelo lida com as perturbações no processo térmico?**
- **O sistema de IA exige re-treinamento frequente?**
- **Foi considerado o uso de combustíveis alternativos no estudo?**

- 1. Quais são os principais entraves para adoção de CCS nas termelétricas brasileiras?**
- 2. A valoração do CVPC indicou viabilidade de continuidade ou transição da UTE?**
- 3. Como a metodologia pode apoiar decisões estratégicas sobre o futuro do carvão no Brasil?**

1. Quais são os principais entraves para adoção de CCS nas termelétricas brasileiras?

A principal barreira para a adoção dessa tecnologia no Brasil tem sido os altos custos de implementação e manutenção, além da necessidade de um arcabouço regulatório e de incentivos financeiros para tornar o CCS viável em usinas de carvão. A falta de incentivos financeiros e regulatórios adequados impede a implementação de CCS em usinas como a UTE Candiota III, onde o custo elevado da tecnologia e a infraestrutura limitada de transporte e armazenamento de CO₂ são obstáculos significativos.

2. A valoração do CVPC indicou viabilidade de continuidade ou transição da UTE?

A aplicação do CVPC oferece uma posição multidimensional e quantitativa para determinar se o uso do carvão na geração de energia é justificável em termos de sustentabilidade e os impactos a longo prazo. Esse processo ajuda os tomadores de decisão possibilitando um planejamento mais responsável e alinhado com as metas ambientais e de desenvolvimento sustentável.

Em suma, o artigo conclui que, embora o carvão mineral ainda tenha relevância na matriz energética brasileira, a continuidade de sua utilização deve ser repensada à luz das exigências ambientais setoriais.

3. Como a metodologia pode apoiar decisões estratégicas sobre o futuro do carvão no Brasil?

A aplicação direta do CVPC no contexto do artigo sobre a Usina Termelétrica Candiota III busca proporcionar uma visão mais ampla e estratégica sobre o uso do carvão, considerando as dimensões técnica, econômica, social e ambiental.

Nesse processo de valoração, o CVPC fornece informações sobre essa valoração completa do carvão mineral com uma base sólida para decisões estratégicas, auxiliando na avaliação de investimentos futuros na UTE e na possível transição para tecnologias mais limpas.

Além disso, a transição energética para fontes mais limpas, como biomassa e energias renováveis, deve ser uma meta de longo prazo para a região de Candiota. Nesse contexto, o PIR e o CVPC são ferramentas essenciais para guiar essa transição de forma estratégica, proporcionando uma visão holística que inclui aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais.

Título - Aumento de confiabilidade no controle de nível dos tubulões de alta pressão (HP) das caldeiras de recuperação de calor da Usina termelétrica Baixada Fluminense (UTE-BF).

Entidade(s) - PETRÓLEO BRASILEIRO S.A.,Petróleo Brasileiro S.A.

Autor(es) - Fernando de Souza Carreira,DIEGO DAS NEVES BEZERRA,Elizeu Mozer Martins

Resumo

Este informe apresenta as soluções encontradas para as perdas de confiabilidade e disponibilidade nas partidas da UTE-BF. A Usina Termelétrica Baixada Fluminense dispõe de 02 turbogeradores à gás GE 7FA, 2 caldeiras de recuperação de calor e 01 turbina a vapor GE D11, com potência instalada de 530MW. A Unidade tinha dificuldades de controle de vazão em dois pontos do sistema de alimentação das caldeiras: Válvulas de controle de nível do tambor de alta pressão das caldeiras e válvulas de recirculação das bombas de alimentação das caldeiras. Essas dificuldades geravam muitos desarmes e indisponibilidades das caldeiras, por perda do controle do nível dos tubulões de alta pressão, especialmente no processo de partida. Durante a partida das caldeiras, essas válvulas de controle de nível operavam com abertura entre 2 e 3%. Nestas condições, o funcionamento da válvula era considerado inadequado, e era percebida alta vibração dos equipamentos e das tubulações adjacentes, que resultava em quebra dos componentes. Durante a operação normal da unidade as válvulas são operadas (somente) com 30% de abertura.

Em virtude das dificuldades de controle de vazão supramencionadas, foram instaladas as válvulas by pass de auxílio a partida (válvulas split range), bem como as respectivas válvulas de bloqueio, em paralelo as válvulas de controle de nível dos tubulões de alta pressão das caldeiras de recuperação da UTE-BF. Essas válvulas são menores e possuem uma malha de controle especialmente desenvolvida, para que durante as partidas das unidades as vazões nos tubulões de alta pressão sejam controladas, e não ocorram distúrbios no processo e vibração nos equipamentos adjacentes.

Perguntas e Respostas

- **Quais foram as dificuldades em implementar o arranjo de 2 válvulas em paralelo?**
- **Desculpa mas não ficou claro para mim, houve a utilização da mesma válvula com melhoria nos parâmetros de sintonia e na estratégia de controle?**
- **No quadro comparativo presente no item 4 não faz menção ao ano de 2021, por que?**

1. Houve alguma análise de custo-benefício formalizada comparando tecnologias alternativas de medição antes da escolha final? 2. Quais foram as dificuldades em implementar o arranjo de 2 válvulas em paralelo? Explique melhor se houve a utilização da mesma válvula com melhoria nos parâmetros de sintonia e na estratégia de controle? 3. Porque o ano 2021 não é mencionado no quadro comparativo presente no item 4? Quais foram os principais desafios enfrentados durante a implantação da tecnologia de pressão diferencial eletrônica em ambiente de alta temperatura e pressão?

1. Houve alguma análise de custo-benefício formalizada comparando tecnologias alternativas de medição antes da escolha final?

Sim, foram realizadas as seguintes análises:

- A aplicação de novos parâmetros de sintonia, porém não resultou em ganhos significativos no desempenho do controlador durante a partida, visto que nesta condição, as válvulas operam prioritariamente seguindo os limites do batente de mínima abertura configurado e imposto pelo próprio fabricante da válvula, sob pena de desgaste prematuro dos internos no caso de não aplicação.
- A proposta para substituição da válvula existente por uma de menor capacidade. A vantagem dessa alternativa da simples substituição da válvula por uma menor seria o aproveitamento da infraestrutura existente, sem necessidade de grandes intervenções. A aquisição de uma válvula menor que a existente e que, no entanto, atenda aos critérios de CV requerido pela folha de dados original (CV = 145), embora possível, continuaria apresentando uma pequena abertura durante a partida. Desta forma, não foi possível afirmar se todas as condições operacionais e de emergência exigidas no projeto seriam atendidas.
- Como as oscilações de controle persistiram após a aplicação e testes com os novos parâmetros de sintonia, e na impossibilidade de substituição por uma válvula de menor capacidade, decidiu-se como melhor alternativa o projeto de um sistema de operação com uma válvula de start-up em paralelo.

2. Quais foram as dificuldades em implementar o arranjo de 2 válvulas em paralelo? Explique melhor se houve a utilização da mesma válvula com melhoria nos parâmetros de sintonia e na estratégia de controle?

- Como havia espaço físico suficiente próximo a válvula original do projeto, não houve dificuldades para instalação de toda infraestrutura para implementação do arranjo de 2 válvulas em paralelo com suas respectivas válvulas de bloqueio.
- A aplicação de novos parâmetros de sintonia utilizando a válvula original, não resultou em ganhos significativos no desempenho do controlador durante a partida, visto que nesta condição, as válvulas operam prioritariamente seguindo os limites do batente de mínima abertura configurado e imposto pelo próprio fabricante da válvula, sob pena de desgaste prematuro dos internos no caso de não aplicação.

3. Porque o ano 2021 não é mencionado no quadro comparativo presente no item 4? Quais foram os principais desafios enfrentados durante a implantação da tecnologia de pressão diferencial eletrônica em ambiente de alta temperatura e pressão?

Em 2021 a UTE-BF não foi despachada pelo ONS, não sendo relevante considerar esse ano para o comparativo de disponibilidade.

Os principais desafios incluem:

- Impacto da temperatura no sensor: A alta temperatura afeta as propriedades dos materiais do sensor, como diafragmas e fluidos internos, e pode alterar a resposta elétrica do componente, levando a erros de medição, desvios de zero e histerese térmica. A calibração precisa e a compensação de temperatura são cruciais para mitigar esses efeitos.
- Pressão estática elevada: Os sensores de pressão diferencial precisam suportar não apenas a diferença de pressão que estão medindo, mas também a alta pressão estática do sistema. É fundamental que os instrumentos tenham alta resistência a sobrecargas para evitar danos.
- Fluido de processo agressivo: Em indústrias, o fluido de processo pode ser

corrosivo ou possuir partículas que causam incrustações. Isso exige que o sensor seja fabricado com materiais especiais e, em muitos casos, que sejam utilizados selos de diafragma. Os selos de diafragma isolam o sensor do fluido de processo, mas podem introduzir erros adicionais e necessitam de uma seleção cuidadosa do fluido de enchimento para garantir a precisão.

- Seleção inadequada do equipamento: A escolha do sensor correto é um desafio por si só. É necessário considerar fatores como a faixa de pressão normal de trabalho, as pressões mais altas e mais baixas esperadas, a precisão necessária para a aplicação (controle, monitoramento ou segurança), e as condições ambientais. Uma seleção errada pode levar a medições instáveis, falhas prematuras e riscos à segurança.

Para superar esses desafios, são empregadas soluções como o uso de selos de diafragma com tubos capilares para afastar o transmissor de áreas de calor extremo e o desenvolvimento de sensores com compensação ativa ou digital que corrigem automaticamente as variações de temperatura.

Título - Modelagem do Envelhecimento de GNL em uma FSRU e seus ciclos de pressurização e despressurização dos tanques

Entidade(s) - RADIX ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE S/A, Radix Engenharia e Desenvolvimento de Software Sa, ENEVA S.A.

Autor(es) - Gabriela Teixeira Justino, Gabriela Carvalho Freitas, Amanda Xavier De Souza Pereira, Bárbara Siqueira Rodrigues, KLEYTON PONTES COTTA, Angelo Marcelino Cordeiro, Hugo Reiser Vieira Portuaita, Tassio Simioni, Kelvis Mendes do Nascimento, Elian Pinheiro da Silva, HILTON DIEGO DOS PASSOS MAGNO, Gabriel Augusto Nunes Nóbrega Diniz, Elias Cordeiro da Silva Júnior

Resumo

O processo de envelhecimento do Gás Natural Liquefeito (GNL) em condições criogênicas é de grande importância para a sua cadeia de fornecimento, e esse deve ser monitorado e previsto de forma confiável. Por ser um líquido criogênico, o GNL evapora naturalmente ao trocar calor com o ambiente, formando um Boil-off Gas (BOG). Esse gás provoca o aumento de pressão nos tanques de armazenamento e, por isso, deve ser descartado por questões de segurança quando a pressão atinge os limites máximos operacionais. Essa variação de pressão nos tanques leva à variação da própria taxa de evaporação, afetando significativamente a evolução da qualidade do GNL armazenado, considerando evaporação prioritária dos seus componentes mais leves. Este trabalho propõe um modelo para prever o envelhecimento do GNL em uma Unidade Flutuante de Armazenamento e Regaseificação (Floating Storage Regasification Unit - FSRU) acompanhando os ciclos de pressurização e despressurização causados pelo descarte intermitente do BOG. Foram adotadas a equação de estado de Peng-Robinson e a hipótese de que as fases líquida e vapor não se encontram em equilíbrio termodinâmico. Para validação do modelo, dados históricos de uma FSRU ligada a uma usina termoeletrônica em Sergipe foram usados. O modelo foi capaz de retratar adequadamente os dados de volume de inventário, temperatura do líquido e pressão, apresentando RMSE relativo de 2,2%, 1,1% e 8,1% respectivamente. A fração molar do metano, principal componente do GNL, apresentou um RMSE de 0,6%. O modelo, ao descrever o comportamento da composição ao longo do tempo, também permite prever com precisão a densidade e o poder calorífico do GNL.

Perguntas e Respostas

- **1. A solução já foi testada sob diferentes condições operacionais e climáticas?**
- **2. O modelo de IA está preparado para novas classes de falhas não previstas?**
- **3. Existe integração com plataformas industriais de gestão (SCADA, CMMS)?**

- 1. O modelo pode ser utilizado para prever o melhor momento de injeção ou descarte do BOG em tempo real?**
- 2. Quais os desafios encontrados ao aplicar o modelo a dados reais de operação com variação temporal e sob diferentes condições ambientais e operacionais?**
- 3. Existe intenção de integrar esse modelo a sistemas de controle automatizados nas FSRUs ou em plataformas industriais de gestão?**

1. O modelo pode ser utilizado para prever o melhor momento de injeção ou descarte do BOG em tempo real?

Uma das principais motivações para a criação do modelo foi justamente avaliar a dinâmica do comportamento do BOG de forma mais próxima ao processo real. Na prática, o BOG não é injetado, sendo utilizado principalmente para a geração de energia consumida pela FSRU e descartado em caso de excedente, o que ocorre com bastante frequência. Portanto, buscou-se investigar a variação na geração de BOG sob diferentes parâmetros operacionais, como pressão máxima e vazão de saída de BOG.

Quanto à possibilidade de aplicação em tempo real, os modelos são capazes de fornecer em apenas alguns minutos, resultados de condições que normalmente levariam dias para se desenvolver em um cenário real, permitindo potencial implementação próxima ao tempo real. Entretanto, vale ressaltar, que o processamento implica necessariamente em um pequeno delay, contudo, considerando que as operações em questão normalmente ocorrem ao longo de horas ou dias, esse delay não impactaria significativamente a tomada de decisão.

2. Quais os desafios encontrados ao aplicar o modelo a dados reais de operação com variação temporal e sob diferentes condições ambientais e operacionais?

Um dos principais desafios encontrados ao aplicar o modelo a dados reais de operação foi que os dados disponíveis não apresentavam o perfil ideal para modelagem e validação, especialmente no que diz respeito ao comportamento das operações. Idealmente, seria necessário dispor de dados de testes exaustivos em diferentes condições de níveis de tanque, carga, pressão e descarte. No entanto, a geração desses dados é inviável devido ao tempo e custo envolvidos. Consequentemente, alguns cenários não puderam ser validados neste estudo, embora se espere que, com o tempo e a disponibilidade de mais dados, o confronto entre realidade e modelo se torne cada vez mais robusto.

Em relação às condições ambientais, buscou-se compreender a influência de dados meteoceanográficos sobre a geração de BOG. Embora a literatura indique essa relação, ela não foi observada nos dados analisados. Acredita-se que, por a FSRU estar estacionária próxima à costa, a influência ambiental seja limitada, diferentemente do que ocorreria em alto-mar. Além disso, a análise histórica dos dados mostrou variações sazonais mínimas, sendo a principal diferença observada entre os períodos de dia e noite, que afetam ligeiramente as temperaturas, porém com variações de apenas alguns graus.

3. Existe intenção de integrar esse modelo a sistemas de controle automatizados nas FSRUs ou em plataformas industriais de gestão?

Atualmente, o modelo encontra-se em fase de avaliação e testes pela equipe da ENEVA, com o objetivo de estudar o comportamento da geração de BOG em diferentes condições e confrontar os resultados com dados reais. No caso da FSRU, que possui cenários operacionais e limites claramente estabelecidos, um estudo dos parâmetros ótimos pode ser suficiente, uma vez que definidos e validados, as condições operacionais tendem a permanecer bastante estáveis.

Por outro lado, os testes e avaliações podem gerar novos insights e ideias não exploradas previamente, o que poderia viabilizar a implementação do modelo em sistemas de controle automatizados. Além disso, essa modelagem tem potencial para ser aplicada em outros setores que não possuam condições operacionais tão bem definidas como as da ENEVA.

Em resumo, a ferramenta foi desenvolvida principalmente para estudo e gestão dos processos, permitindo a identificação de parâmetros ótimos. Embora não haja uma necessidade imediata de automatização, futuros insights e oportunidades podem levar à integração do modelo a sistemas de controle automatizados.

Título - Otimização de inventário de GNL em uma Unidade Flutuante de Armazenamento e Regaseificação.

Entidade(s) - RADIX ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE S/A, Radix Engenharia e Desenvolvimento de Software Sa, ENEVA S.A.

Autor(es) - Amanda Xavier De Souza Pereira, Gabriela Carvalho Freitas, Gabriela Teixeira Justino, Bárbara Siqueira Rodrigues, KLEYTON PONTES COTTA, Angelo Marcelino Cordeiro, Hugo Reiser Vieira Portuita, Kelvis Mendes do Nascimento, Elian Pinheiro da Silva, HILTON DIEGO DOS PASSOS MAGNO, Gabriel Augusto Nunes Nóbrega Diniz, Elias Cordeiro da Silva Júnior, Breno Alves Machado

Resumo

O gás natural é muito importante no cenário energético atual pois as suas características proporcionam eficiência, versatilidade e um menor impacto ambiental quando comparado a outros combustíveis fósseis. Ao lidar com o gás natural é importante ter um bom planejamento e gestão do inventário de maneira que a compra de cargas seja feita em momentos mais estratégicos e garantindo a disponibilidade de gás natural liquefeito (GNL) para a regaseificação quando necessário. A proposta do trabalho é o desenvolvimento de um modelo capaz de auxiliar o planejamento e a tomada de decisão para uma Unidade Flutuante de armazenamento e Regaseificação (FSRU), tanto para o status atual quando para

cenários futuros. O projeto faz parte do programa de P&D ANEEL (PD-11278-0002) para a gestão do controle de inventário de GNL em uma FSRU, supridora de gás natural para a UTE da Eneva, situada em Sergipe.

Perguntas e Respostas

- **O modelo pode ser expandido para incorporar múltiplas FSRUs interconectadas?**
- **Como o sistema se adapta a picos inesperados de consumo?**
- **Há integração do modelo com dados meteorológicos para previsão de demanda?**

- **O modelo pode ser expandido para incorporar múltiplas FSRUs interconectadas?**
- **Como o sistema se adapta a picos inesperados de consumo?**
- **Há integração do modelo com dados meteorológicos para previsão de demanda?**

- 1. O modelo pode ser expandido para incorporar múltiplas FSRUs interconectadas? Como o sistema se adapta a picos inesperados de consumo?**
- 2. Quais adaptações seriam necessárias para aplicar essa ferramenta em terminais onshore?**
- 3. A ferramenta já está sendo usada de forma contínua na operação da FSRU ou ainda está em fase piloto? Se sim, quais os resultados reais?**

- 1. O modelo pode ser expandido para incorporar múltiplas FSRUs interconectadas? Como o sistema se adapta a picos inesperados de consumo?**

Atualmente, o modelo não está preparado para incorporar múltiplas FSRUs, mas pode ser expandido com ajustes nas restrições operacionais e limitações físicas. O sistema permite a simulação a qualquer momento a partir da inserção de uma demanda prevista. Dessa forma é possível simular sempre que houver mudança na expectativa de consumo e o sistema retornará um cenário capaz de atender.

- 2. Quais adaptações seriam necessárias para aplicar essa ferramenta em terminais onshore?**

Possivelmente, serão necessários apenas ajustes em restrições operacionais, como o intervalo entre chegadas de cargas, além da inclusão de novas restrições específicas ao cenário.

De forma geral, não há limitações para a aplicação em offshore, dado que o volume máximo e mínimo são parâmetros de entrada do modelo.

- 3. A ferramenta já está sendo usada de forma contínua na operação da FSRU ou ainda está em fase piloto? Se sim, quais os resultados reais?**

A ferramenta está em fase de testes, sendo avaliada pela equipe com base em desafios operacionais do dia a dia. Tem gerado insights relevantes para o planejamento de compras de cargas e previsão do envelhecimento do GNL armazenado. No entanto, ainda não substituiu completamente o uso de planilhas, que seguem como principal meio de consolidação das informações.

Título - Antecipação do Suprimento do CRCAP da UTE Termopernambuco: Harmonização de Processos e Integração de Gás Natural e Eletricidade

Entidade(s) - Neoenergia S.A., NC Energia SA, Universidade de São Paulo

Autor(es) - Emerson Fernando Marques Barros, Bruno Filipe Ramos Apolinário, David Benavent del Prado, Carolina Safatle Elias Silva, Ísis Blachut e Silva, Claudia Maria Suanno, Leila Tatiana Prazeres Costa

Resumo

O presente trabalho aborda um projeto piloto realizado entre a UTE Termopernambuco, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a empresa supridora de gás Eneva e a empresa transportadora de gás natural TAG. A principal motivação do estudo foi harmonizar os horários de contratação e nominação de gás natural com a Programação Diária da Operação, atendendo aos comandos do ONS. Isso permitiu antecipar o início do suprimento do Contrato de Reserva de Capacidade (CRCAP) da UTE Termopernambuco de julho de 2026 para outubro de 2024, além de atender à flexibilidade operacional exigida pelo CRCAP. Para harmonizar os horários de contratação e nominação de gás natural com a programação diária da operação do ONS, inicialmente, foi elaborado um cronograma denominado "original", consolidando as etapas e obrigações originalmente previstas nos contratos. Ao analisar o horizonte do cronograma original, identificaram-se diversos descasamentos de prazos que inviabilizavam a operação real da usina. Esses descasamentos poderiam implicar em custos adicionais e riscos operacionais, comprometendo a confiabilidade do fornecimento de energia. Dessa forma, foram feitas adaptações no cronograma original, com o objetivo de ajustar etapas, obrigações e prazos, criando um cenário realista para o atendimento dos despachos. As modificações resultaram em um novo cronograma denominado "repactuado", que solucionou não apenas os problemas de descasamento de prazos, mas também representou um trabalho pioneiro no setor elétrico brasileiro. A inovação na integração dos setores de gás natural e eletricidade foi fundamental para garantir a segurança eletroenergética do sistema interligado nacional.

Perguntas e Respostas

- **Quais foram as maiores dificuldades em relação ao cronograma do projeto?**
- **A Termopernambuco precisou fazer adaptações nas suas instalações para começar a atender o contrato de reserva de energia?**
- **Como se deu a redução do tempo de desconservação da UTE Termopernambuco?**

1. Quais foram as maiores dificuldades em relação ao cronograma do projeto? A Termopernambuco precisou fazer adaptações nas suas instalações para começar a atender o contrato de reserva de energia? 2. Como foi feita a

mensuração de ganhos financeiros e operacionais com a antecipação? 3. Como se deu a redução do tempo de desconservação da UTE Termopernambuco?

1. Quais foram as maiores dificuldades em relação ao cronograma do projeto? A Termopernambuco precisou fazer adaptações nas suas instalações para começar a atender o contrato de reserva de energia?

2. Como foi feita a mensuração de ganhos financeiros e operacionais com a antecipação?

3. Como se deu a redução do tempo de desconservação da UTE Termopernambuco?

Título - Substituição do Cloro por Bromo em Torres de Resfriamento da UTE Araucária: Redução de Riscos Químicos e Melhoria de Eficiência

Entidade(s) - UEG ARAUCÁRIA

Autor(es) - LUIZ FERNANDO CORTEZ, MARCOS DE FREITAS, Solange de Fatima da Silva, Anderson José Beber

Resumo

Este artigo apresenta os resultados da aplicação de um biocida oxidante moderado inovador a Cloramina Ativada por Brometo (BAC) — em uma torre de resfriamento de grande porte operando em uma usina termelétrica no sul do Brasil. A torre utiliza água cinza (esgoto doméstico com tratamento terciário) como reposição, o que impõe alta demanda de oxidantes devido à presença de matéria orgânica e amônia. Antes da aplicação do BAC, o controle microbiológico era realizado com hipoclorito de sódio e ácido sulfúrico, com consumo elevado e resultados limitados em termos de eficiência microbiológica, corrosão e ciclos de concentração.

A tecnologia BAC é formada pela reação controlada entre hipoclorito de sódio e brometo de amônio, realizada in situ, produzindo um biocida seletivo e eficaz contra biofilmes. Diferentemente dos oxidantes fortes tradicionais, o BAC atua em faixas mais baixas de ORP (200–300 mV), o que reduz a agressividade química ao sistema metálico, mantendo alta eficiência microbiológica.

O artigo descreve as vantagens dessa abordagem, incluindo a penetração eficiente no biofilme, a redução na formação de subprodutos clorados/bromados e o controle de corrosão. Além disso, a seletividade do BAC permite sua ação mesmo em sistemas com alta carga orgânica, promovendo melhorias operacionais, econômicas e ambientais. A seguir, são apresentados os métodos de aplicação, parâmetros de controle e resultados obtidos na usina estudada.

Perguntas e Respostas

- **Como a aplicação do BAC influenciou a taxa de corrosão do aço inoxidável 316 na usina termelétrica estudada?**
- **Quais foram os principais desafios enfrentados pela usina termelétrica antes da implementação da tecnologia BAC?**
- **Quais foram os resultados observados na torre de resfriamento após a substituição do hipoclorito de sódio pelo BAC?**

- 1. Quais critérios técnicos definem a dosagem ideal do BAC nos diferentes ciclos operacionais?**
- 2. O sistema gerador de BAC é adaptável a outras configurações de torre de resfriamento com menor porte?**
- 3. Foi feita ou se pretende fazer a comparação em longo prazo os índices de corrosão com e sem uso de BAC? Se sim quais os resultados?**

- 1. Como a aplicação do BAC influenciou a taxa de corrosão do aço inoxidável 316 na usina termelétrica estudada?**
- 2. Quais foram os principais desafios enfrentados pela usina termelétrica antes da implementação da tecnologia BAC?**
- 3. Quais foram os resultados observados na torre de resfriamento após a substituição do hipoclorito de sódio pelo BAC?**

- 1. Como a aplicação do BAC influenciou a taxa de corrosão do aço inoxidável 316 na usina termelétrica estudada?**

A redução de taxa de corrosão ocorreu em razão de três condições: menor residual de cloretos; ausência de formação de biofilme (corrosão sob depósito) e faixa operacional de ORP mais baixa.

- 2. Quais foram os principais desafios enfrentados pela usina termelétrica antes da implementação da tecnologia BAC?**

Água de reposição com alta demanda de cloro/hipoclorito; alto consumo de água; dosagem de ácido sulfúrico; dificuldade de manutenção de ORP adequado para controle microbiológico; residual combinado de cloreto + sulfato elevado; presença de biofilme.

- 3. Quais foram os resultados observados na torre de resfriamento após a substituição do hipoclorito de sódio pelo BAC?**

Dosagem zero de ácido sulfúrico; redução de 90% de consumo de hipoclorito de sódio; 42% de redução de residual de sulfato; aumento de ciclo de concentração de 4,5 para 6,5; redução de 50% em taxa de corrosão de aço inoxidável 316; ausência de biofilme em torre, bacia e condensador; redução de consumo de água em ~340000 m³/ano.

Título - FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO ÓTIMA PARA IMPLANTAÇÃO DE PEQUENOS REATORES NUCLEARES

Entidade(s) - Fundação Universidade Federal do ABC

Autor(es) - Mauricio Oliboni Gusmão de Oliveira, Roberto Asano Junior

Resumo

Devido as audaciosas metas de redução de Dióxido de Carbono na atmosfera, que causam eventos climáticos extremos, a busca por fontes renováveis de energia elétrica tornaram-se essenciais para que esses objetivos fossem atendidos, as fontes renováveis solar e eólica, aparentam ser uma boa alternativa, porém as mesmas têm problemas de intermitência e ocupam uma grande área para geração de energia elétrica, então esse trabalho busca analisar a geração nuclear que pode produzir energia com baixa emissão de CO₂ e ainda atender as deficiências das impostas por fontes de geração de energia renováveis. Sendo, assim, uma alternativa que vem se apresentando na literatura vigente são os Pequenos Reatores Modulares Nucleares conhecidos com Small Modular Reactors (SMR's), que podem produzir energia elétrica no próprio local de consumo e utilizar a energia térmica remanescente na geração para processos de aquecimento. Porém como a instalação de um reator nuclear envolve diversos fatores como segurança, socioeconômicos, ambientais e naturais, este trabalho buscará identificar locais aptos no Estado de São Paulo para instalação de uma usina nuclear utilizando SMR's para viabilizar a geração de eletricidade localmente. Destaca-se que o trabalho selecionará, através da aplicação de uma matriz interdisciplinar e utilizando um sistema de informações georreferenciadas, os Municípios Paulistas mais aptos para instalação da tecnologia proposta seguindo o método de avaliação multicritério adotando Combinação Linear Ponderada. Espera-se que a metodologia e os resultados obtidos possam auxiliar os tomadores de decisão a realizar uma avaliação mais abrangente e sustentável no planejamento de incentivos e políticas para benefício da sociedade em geral.

Perguntas e Respostas

- 1. Como o modelo desenvolvido poderia ser adaptado para considerar aspectos sociais, como aceitação pública?**
- 2. Existe intenção de aplicar essa metodologia em estados da região Norte ou Nordeste, com maior carência de geração firme? Existe dificuldade de obter dados dessa regiões?**
- 3. Qual o grau de precisão dos dados cartográficos, da velocidade dos ventos e do risco geohidrológico utilizados e como isso impacta a escolha do local? Foi realizada alguma análise de sensibilidade?**

1. Como o modelo desenvolvido poderia ser adaptado para considerar aspectos sociais, como aceitação pública?

Pode ser adaptado para aspectos sociais, colocando por exemplo, níveis de educação para desenvolver um município com baixa escolaridade e até aceitação pública de uma planta nuclear, todavia esse dado só pode ser apurado através de pesquisas e seria mais prudente escolher primeiro os municípios que atendam outros critérios e depois realizar a pesquisa neles.

2. Existe intenção de aplicar essa metodologia em estados da região Norte ou Nordeste, com maior carência de geração firme? Existe dificuldade de obter dados dessas regiões?

Essa metodologia pode ser aplicada em qualquer região do Brasil e será alvo de trabalhos futuros. Apesar de não termos escolhido um estado do nordeste, entendo que não há grande complexidade em conseguirmos dados como velocidade do vento, proximidade a rodovias e a gasodutos. Os dados de densidade demográfica e inundações que foram mapeados já constam todos estados do Brasil

3. Qual o grau de precisão dos dados cartográficos, da velocidade dos ventos e do risco geohidrológico utilizados e como isso impacta a escolha do local? Foi realizada alguma análise de sensibilidade?

O sistema de rodovias foi extraído da Agência Nacional de Águas (ANA) e de gasodutos fo Projeto MAPBIOMAS, ambas instituições de credibilidade. A velocidade dos ventos foi extraída do Atlas eólico de São Paulo, como o objetivo é comparar locais com maior velocidade de ventos dentro do estado de SP e não saber qual a velocidade exata de cada município, não há necessidade de ter uma precisão com extrema exatidão, pois não se trata de um projeto eólico e sim nuclear, referente aos dados geohidrológicos, foram retirados de análises feitas em 2023 pela Secretaria Adjunta - Recursos Hídricos vinculada ao Ministério da Casa Civil, onde entende-se que os dados tem consistência. Quanto a análise de sensibilidade, não foi feita, pois o propósito da ferramenta é identificar uma lista de locais aptos para que a escolha já possa ser restrita há alguns municípios que posteriormente deverão ser analisados com maior precisão

3. Qual o grau de precisão dos dados cartográficos, da velocidade dos ventos e do risco geohidrológico utilizados e como isso impacta a escolha do local? Foi realizada alguma análise de sensibilidade?

Título - Planta Heliotermica com Torre Central Integrada a Fotovoltaica de Alta Concentração Associada a Ciclo Rankine Orgânico

Entidade(s) - Comapnhia Hidro Elétrica do São Francisco

Autor(es) - José Bione de Melo Filho

Resumo

O aquecimento de processos é a atividade com maior consumo de energia no setor industrial. Os sistemas de aquecimento solar são uma alternativa promissora para fornecer energia térmica renovável a processos industriais. Este processo pode ser potencializado quando associado a sistemas fotovoltaicos de alta concentração, perfazendo a sistema hibrido, gerando energia termica e elétrica em uma mesma planta. Internalizando esta configuração inovadora, a Eletrobras em conjunto com a Schlumberger (SLB) e a Raygen, se associam através de um projeto de P&D ANEEL, que visa instalar uma unidade piloto que permitirá a geração de energia térmica e elétrica combinadas ao mesmo sistema. Esta planta híbrida que combinam duas tecnologias solares: térmica com torre central e a fotovoltaica de alta concentração chegam apresentar um rendimento de 40%, onde cada tecnologia opera em condições que permitem um desempenho geral superior ao das configurações convencionais. Neste informe técnico, discutimos as limitações dos

sistemas propostos quando comparados com os convencionais e o potencial da configuração híbrida. Primeiramente, apresentamos a literatura atual sobre sistemas convencionais e híbridos. Em seguida, analisamos a aplicação de indicadores de desempenho comuns para avaliar configurações híbridas. Finalmente, são discutidas as limitações, vantagens e potenciais aplicações do sistema proposto, que se encontra em fase de instalação no Centro de Referência de Energia Solar de Petrolina (Eletrobras – CRESP). Este trabalho mostra que o sistema inovador é uma alternativa promissora em aplicações industriais e comerciais. Combinando duas fontes de energia de forma a impulsionar sua adoção aos setores.

Perguntas e Respostas

- **Você poderia descrever melhor como é o armazenamento de energia na planta piloto?**
- **Em relação a eficiência, quanto esse sistema oferece em comparação a uma usina solar convencional?**
- **Quais são as maiores perdas desse sistema? Os pontos que precisam ter maiores cuidados.**

1. Poderia descrever melhor como vai ser o armazenamento de energia na planta piloto? 2. Em relação a eficiência, quanto esse sistema oferece em comparação a uma usina solar convencional? Quais são as maiores perdas desse sistema? 3. Qual é o custo estimado do sistema por MWh gerado? A planta piloto já possui previsão de ampliação comercial?

1. Poderia descrever melhor como vai ser o armazenamento de energia na planta piloto?

O armazenamento de energia será realizado via procedimento térmico, ou seja, iremos utilizar água para realizar o armazenamento, como se trata de uma planta piloto, devemos condicionar em tanques térmicos a uma temperatura de aproximadamente 95° C, contudo, para uma planta comercial, deveremos adotar reservatórios no solo.

2. Em relação a eficiência, quanto esse sistema oferece em comparação a uma usina solar convencional? Quais são as maiores perdas desse sistema?

Esta planta é uma hibridização entre uma heliotermica e uma fotovoltaica de heterojunção, esperamos atingir a valores entre 40% a 50% de eficiência, pois é uma planta de multiestágios, podendo ser implantada de forma modular, esta particularidade permite um alto grau de flexibilidade operacional, permitindo que possa ser implantada em diversas situações.

Quanto as perdas, os estudos iniciais indicam o armazenamento térmico como um dos pontos mais críticos do sistema.

3. Qual é o custo estimado do sistema por MWh gerado? A planta piloto já possui previsão de ampliação comercial?

Este custo estimado para o Brasil ainda é um ponto de estudo, pois estamos tentando nacionalizar esta tecnologia, fator que vai demandar ainda muita pesquisa, mas se tratando de P&D e planta piloto, o valor ficou em torno de 40 milhões / 1

MW.

Já estamos estudando a sua ampliação para uma escala comercial de 30 MW, este é um dos desafios deste projeto.

Título - Ganhos com a Implementação de Proteção Contra Arco Elétrico: Análise de Eventos Reais Ocorridos Antes e Depois da Instalação em uma Usina Termoeletrica.

Entidade(s) - Diamante Geração de Energia, SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES COMERCIAL LTDA

Autor(es) - Grégori Felisberto Darós, Douglas de Oliveira Brunismann, Gilberto Dagostim Uggioni, Luis Henrique Rech

Resumo

O Complexo Termoeletrico Jorge Lacerda é o maior complexo termoeletrico a carvão da América do Sul. Como tal, possui um vasto serviço auxiliar para alimentar todo o processamento do carvão.

Assim como o serviço auxiliar de toda usina síncrona, devido à proximidade com a fonte e ao nível de tensão, o nível de curto-circuito do serviço auxiliar é bastante elevado, o que representa um risco aos operadores pela alta energia incidente.

Em 2017, ocorreu um evento de arco elétrico ocasionado por um curto-circuito no setor de 6,3 kV do serviço auxiliar. Este evento foi detectado e isolado pela proteção convencional de sobrecorrente temporizada, o que causou uma operação lenta e maiores danos ao sistema de potência.

Em 2021, ocorreu um evento similar, também no setor de 6,3 kV do serviço auxiliar, porém, o sistema de proteção havia sido modernizado e oferecia funções específicas para detecção de arco elétrico em alta velocidade. O novo sistema de proteção proporcionou uma detecção e isolamento rápido da falta, reduzindo drasticamente a energia incidente e os danos ao sistema, permitindo o retorno mais rápido e seguro à operação.

Este artigo tem como objetivo principal apresentar os resultados práticos da proteção contra arco elétrico, demonstrando os danos causados por uma falta eliminada pela proteção de sobrecorrente convencional e por uma falta similar detectada por um sistema de proteção com funções específicas para detecção de arco elétrico. São apresentados registros fotográficos mostrando os danos aos cubículos em ambos os cenários e por fim são apresentados outros benefícios que foram obtidos com a modernização do sistema de proteção.

Perguntas e Respostas

- **Há planos de estender o sistema de proteção para outras áreas críticas do complexo?**
- **Qual foi o custo-benefício estimado da modernização do sistema de proteção?**
- **Foram observados impactos indiretos na operação ou manutenção após a instalação dos novos relés?**

1. Considerando o custo da implantação da proteção contra arco, qual foi o retorno sobre o investimento observado na planta? Foram observados impactos indiretos na operação ou manutenção após a instalação dos novos relés?

- 2. Os sensores ópticos utilizados exigem manutenção frequente? Qual sua confiabilidade operacional?**
- 3. Há planos de estender o sistema de proteção para outras áreas críticas do complexo?**

1. Considerando o custo da implantação da proteção contra arco, qual foi o retorno sobre o investimento observado na planta? Foram observados impactos indiretos na operação ou manutenção após a instalação dos novos relés?

Principais Retornos:

- Ganhos com SEGURANÇA operacional e para os colaboradores;
- DISPONIBILIDADE: Na atuação de dezembro de 2021, onde foi detectado um arco elétrico, o tempo de manutenção foi apenas para revisão dos equipamentos e posterior liberação para operação.
- Ganho na velocidade de atuação da proteção, pois conseguiu-se ajustar a função de proteção instantânea mesmo em alimentadores que contém barramentos à jusante (sistema radial);

Impactos observados:

- Antecipação à falhas: com as lógicas de monitoramento implementadas nos IEDs, consegue-se antever possíveis falhas de acionamento nos disjuntores, por exemplo: Intertravamentos de micro chaves (inserido, posição teste, extraído, etc.), saúde das bobinas de fechamento e abertura e, em tempo real, acompanhar o tempo restante para atuação da proteção com o motor operando em sobrecarga. Eram recorrentes as falhas de acionamento, principalmente de fechamento, tendo em vista que estes disjuntores são manobrados (extraídos/inseridos) com uma certa frequência.

2. Os sensores ópticos utilizados exigem manutenção frequente? Qual sua confiabilidade operacional?

Os IED possuem rotina de autodiagnóstico que verifica a saúde de todo o sistema de detecção de arco continuamente.

3. Há planos de estender o sistema de proteção para outras áreas críticas do complexo?

Sim. Para curto prazo, foram adquiridos novos sistemas com IEDs e fibras de detecção de arco que serão instalados nos barramentos 6,3kV das Unidades 1 e 2 do CTJL. Previsão: Outubro de 2025.

Título - Aplicação de Tratamento Químico Volátil em Caldeiras de Recuperação da UTE Araucária

Entidade(s) - UEG ARAUCÁRIA

Autor(es) - LUIZ FERNANDO CORTEZ, MARCOS DE FREITAS, Solange de Fatima da Silva, Anderson José Beber

Resumo

A Usina Termelétrica Araucária, com 484 MW instalados em ciclo combinado, possui duas turbinas a gás Siemens 501FD2, uma turbina a vapor Alstom DKZ2-2N34 e dois geradores de vapor de recuperação de calor (HRSG) Aalborg, com vazão de vapor de 500.000 lb/h e pressões de 1537 psig/95 psig. A usina está localizada na região sul de Curitiba, capital do Estado do Paraná. A data de entrada

em operação comercial (COD) foi em 2006.

Durante o primeiro ano de operação da usina, foi adotado como tratamento químico das caldeiras o método de fosfato congruente, conforme recomendado pelos fabricantes técnicos e por ser o mais consagrado até aquele momento, além de estar em conformidade com as determinações da GE Water & Process Technologies [1].

Com o passar dos anos, notou-se a necessidade de alterar a metodologia de tratamento da água das caldeiras, principalmente devido ao arraste de fosfato em pressões mais baixas e ao risco de corrosão por fluxo acelerado (FAC). Esse novo método está de acordo com a empresa de consultoria HRST Inc. [2].

Este artigo apresenta os principais aspectos da mudança do método de tratamento de fosfato coordenado para o tratamento totalmente volátil oxidante (AVT(O)) nos HRSGs da Araucária. Fazem parte deste artigo os resultados obtidos com o tratamento AVT(O), em 32.936 e 32.707 horas de operação contínua nos HRSG1 e HRSG2, respectivamente. Os HRSG1 e HRSG2 totalizam 45382 e 48895 EOH (Horas Equivalentes de Operação).

Perguntas e Respostas

- **Gostaria de saber se vocês têm casos de falhas por FAC na planta termelétrica e se existe algum sistema de monitoramento nos pontos críticos.**
 - **Quais foram os resultados obtidos com a implementação do método AVT(O) na Usina Termelétrica Araucária em termos de qualidade da água e integridade dos componentes metálicos?**
 - **Como a presença de componentes de cobre no ciclo de vapor pode influenciar a aplicação do tratamento AVT(O)?**
-
- **Qual foi o impacto financeiro da mudança para o tratamento AVT(O)?**
 - **Existem limitações quanto a materiais dos HRSGs para adoção do novo método?**
 - **O método foi testado sob diferentes regimes de carga e parada?**

- 1. Existem casos de falhas por FAC na planta termelétrica e se existe algum sistema de monitoramento nos pontos críticos.**
- 2. Quais foram os resultados obtidos com a implementação do método AVT(O) na Usina Termelétrica Araucária em termos de qualidade da água e integridade dos componentes metálicos?**
- 3. Como a presença de componentes de cobre no ciclo de vapor pode influenciar a aplicação do tratamento AVT(O)?**

- 1. Existem casos de falhas por FAC na planta termelétrica? Se sim, existe algum sistema de monitoramento nos pontos críticos?**

Hoje com o AVT(O) não tivemos progressão de FAC, mas em toda inspeção completa é realizado além da medição de espessura, boroscopia nos pontos mais críticos e suscetíveis a FAC.

2. Quais foram os resultados obtidos com a implementação do método AVT(O) na Usina Termelétrica Araucária em termos de qualidade da água e integridade dos componentes metálicos?

A camada de hematita de cor avermelhada foi se dissolvendo e agora temos uma camada cinza e protetiva de magnetita bem presente, o controle da água é mais fino e não permite contaminações, uma vez que não existe mais o tampão químico realizado pelo Fosfato.

3. Como a presença de componentes de cobre no ciclo de vapor pode influenciar a aplicação do tratamento AVT(O)?

Para a implantação do sistema de tratamento AVT(O) deve se garantir ter um sistema puramente de aços ferrosos, a presença de oxigênio estabiliza a camada de magnetita mas causa a dissolução de latão e cobre. Dessa forma em sistemas com cobre no ciclo água vapor o recomendado é trabalhar com agente redutor ou fosfato congruente.

Título - Monitoramento Automatizada de Correias transportadoras tubulares fazendo uso de IA e Sensoriamento Remoto

Entidade(s) - Pix Force Tecnologia Ltda

Autor(es) - Klysman Ramos Hoentsch, Andressa Ullmann Duarte Heberle, Flavia Manica Siviero, Luciane Calabria, Daniel Rodrigues Moura

Resumo

A realização de inspeções periódicas em processos industriais permite identificar falhas e anomalias antes que elas se tornem grandes problemas, garantindo a segurança dos colaboradores e evitando interrupções inesperadas. O objetivo principal desse estudo foi desenvolver um sistema automatizado, aplicável e escalável, para verificação de anomalias em correias transportadoras tubulares, possibilitando manutenções preventivas, priorizando a segurança dos envolvidos no processo e a redução de custos devido a interrupções não programadas. Para tanto, uma correia de aproximadamente 4 quilômetros de extensão e com mais de 24 mil roletes foi o objeto do estudo. Para otimizar o processo atual de inspeção, que acontece de forma manual, foi proposto um conjunto de hardware e software, composto por um drone equipado com uma câmera com dois sensores capazes de obter informações do espectro eletromagnético nos comprimentos de onda visível (RGB) e infravermelho termal, e um sistema de reconhecimento e classificação das imagens capturadas para análise e apontamento de possíveis falhas. O projeto foi segmentado em quatro etapas de desenvolvimento: aplicativo para automatizar o voo do drone; algoritmos de identificação de roletes superaquecidos; algoritmos de identificação da posição do overlap; e plataforma online para visualização dos resultados. O sistema proposto identificou de forma rápida e precisa roletes superaquecidos e falhas de overlap na correia, graças à integração dos sensores com algoritmos de visão computacional. O uso de drone automatizado reduziu o tempo de inspeção e aumentou a segurança da equipe, eliminando deslocamentos em terrenos acidentados. A plataforma com rotas de voo otimizadas facilitou o

planejamento, controle e análise das missões, e os modelos de redes neurais apresentaram alta acurácia, mesmo em condições adversas.

Perguntas e Respostas

- 1. Como foi feita a validação dos algoritmos de IA em campo para diferentes condições climáticas?**
- 2. Há planos de ampliar a aplicação da tecnologia para outras partes da planta além das correias transportadoras?**
- 3. Qual o tempo médio entre a detecção de falha e a tomada de ação corretiva com o sistema proposto?**

1. Como foi feita a validação dos algoritmos de IA em campo para diferentes condições climáticas?

2. Há planos de ampliar a aplicação da tecnologia para outras partes da planta além das correias transportadoras?

3. Qual o tempo médio entre a detecção de falha e a tomada de ação corretiva com o sistema proposto?

Título - Sensor de CO₂ baseado em revestimento de óxido de grafeno em Redes de Período Longo

Entidade(s) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA UFJF, Universidade Federal de Juiz de Fora

Autor(es) - Renato Luiz Faraco Filho, FELIPE OLIVEIRA BARINO, Anne Caroline de Paula Fernandes

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e caracterização de um sensor óptico baseado em Rede de Período Longo (LPFG) revestida com óxido de grafeno (GO) para detecção de CO₂ em aplicações termelétricas. O sensor foi fabricado mediante técnica de arco elétrico (período de 545 μm) e funcionalizado com GO através de processo de silanização com APTES. Análises por espectroscopia Raman e MEV confirmaram a estrutura oxidada e morfologia rugosa do GO, essenciais para adsorção de CO₂. Os testes demonstraram sensibilidade de 0,0643 nm/% (adsorção) e 0,0629 nm/% (dessorção) na faixa operacional de 20-55% CO₂, com excelente linearidade ($R^2 > 0,96$) e baixa histerese. O sistema mostrou imunidade a interferências eletromagnéticas e capacidade de integração com redes de monitoramento remoto, oferecendo uma solução robusta para controle de emissões em usinas termelétricas, com custo 18-22% inferior a sensores NDIR convencionais.

Perguntas e Respostas

- Há planos para validar o sensor em ambiente industrial real?**
- Existe interesse em ampliar a detecção para outros gases como NO_x e SO_x?**

- **Como a estabilidade do sensor se comporta em uso contínuo ao longo de meses?**

1. Há intenção de adaptar o sensor para faixas mais baixas de concentração de CO₂, compatíveis com ambientes urbanos ou interiores?

2. O sensor foi testado em condições ambientais variáveis (temperatura, umidade)? Como foi o comportamento do sensor ao longo dos meses em termos de manutenção de características?

3. Existe algum plano de escalonamento para aplicação prática em usinas reais ou parcerias com a indústria?

1. Há intenção de adaptar o sensor para faixas mais baixas de concentração de CO₂, compatíveis com ambientes urbanos ou interiores?

Sim. Os testes iniciais foram conduzidos em altas concentrações de CO₂ com o objetivo de validar o princípio de funcionamento e a resposta espectral do sensor. No entanto, reconhecemos a importância de adaptar o dispositivo para faixas mais baixas, típicas de ambientes urbanos ou interiores (400–5.000 ppm). Trabalhos futuros incluirão a otimização do revestimento de GO, redução do ruído espectral e melhorias no sistema de leitura para aumentar a sensibilidade e permitir detecção precisa nessas concentrações mais baixas.

2. O sensor foi testado em condições ambientais variáveis (temperatura, umidade)? Como foi o comportamento do sensor ao longo dos meses em termos de manutenção de características?

Neste estudo inicial, os testes foram conduzidos em condições controladas de temperatura (25°C) e umidade mínima, com purga prévia da câmara com argônio. A influência de fatores ambientais como temperatura e umidade ainda não foi avaliada sistematicamente. Da mesma forma, a estabilidade a longo prazo do sensor não foi monitorada ao longo de meses. Essas etapas estão previstas para trabalhos futuros, incluindo testes acelerados de envelhecimento e variações ambientais, visando validar o sensor para aplicações reais em campo.

3. Existe algum plano de escalonamento para aplicação prática em usinas reais ou parcerias com a indústria?

Ainda não há parcerias formalizadas com a indústria ou testes em usinas reais. No entanto, o objetivo do projeto é justamente avançar em direção a aplicações práticas, e estamos abertos a colaborações com empresas do setor para validar o sensor em ambientes operacionais reais. O próximo passo envolve otimizar a sensibilidade do dispositivo para faixas de interesse industrial e avaliar sua estabilidade em longo prazo, como etapa preliminar para possíveis escalonamentos e integrações em sistemas de monitoramento ambiental.

Título - Avaliação Técnica de Rotas Tecnológicas para Produção de Combustíveis Sintéticos com Integração de CO₂ Biogênico Proveniente de Usina Termoeletrica

Entidade(s) - SENAI CIMATEC, SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, ENGIE BRASIL ENERGIA S.A, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI)

Autor(es) - Danielly Norberto Araujo, Vinicius Caleffi, Vinícius Bastos Resende, Lucas Neves Peiter, MARIA FERNANDA RAMOS ZENI, Felipe Godoy Righetto, Ricardo Cerqueira Medrado

Resumo

A crescente demanda por soluções energéticas sustentáveis destaca os combustíveis sintéticos neutros em carbono como opções promissoras para descarbonizar setores diversos. Esses combustíveis podem ser produzidos a partir de hidrogênio verde e carbono capturado de fontes biogênicas, promovendo um ciclo fechado de carbono. A produção em larga escala desses combustíveis enfrenta diversos desafios, incluindo eficiência e integração tecnológica. Este estudo avaliou, por meio de simulações no software EES (Engineering Equation Solver), o desempenho energético de duas rotas tecnológicas para produção de metanol utilizando dióxido de carbono (CO₂) biogênico de uma Usina Termoeletrica (UTE) movida a biomassa. Na rota A, o CO₂ é capturado por absorção química em pós-combustão e o metanol é produzido por hidrotreatamento. Na rota B, utiliza-se o método da oxidação para aumentar a concentração de CO₂ nos gases de exaustão, seguido de captura criogênica e a síntese de metanol por Fischer-Tropsch. Ambas as rotas empregam eletrolisadores alcalinos para produção de hidrogênio, tendo o oxigênio como subproduto. A rota A consome 137 kg de H₂ e 9,8 MWh de energia para produzir 530 kg de metanol por tonelada de CO₂, com eficiência energética de 29,8% para o produto final e eficiência total de 56,9% considerando os subprodutos. A rota B requer 146 kg de H₂ e 10,6 MWh de energia para produzir 444 kg de metanol, com eficiência energética do produto final de 23,1% e total de 48,5%. Assim, os resultados indicam que, apesar do elevado consumo energético, há oportunidades de otimização e integração de tecnologias de captura de carbono e produção de hidrogênio para produção de combustíveis sintéticos.

Perguntas e Respostas

- **A tecnologia está em fase piloto ou já operacional em escala comercial?**
- **Quais resíduos apresentaram melhor desempenho energético?**
- **O projeto está alinhado com os planos municipais de resíduos sólidos?**

- 1. Existe viabilidade técnica e econômica de implantar a Rota A ou B em escala industrial na atual estrutura das UTEs brasileiras?**
- 2. Considerando o alto consumo energético dos eletrolisadores, há perspectivas de adoção de outras tecnologias mais eficientes?**
- 3. Há planos para realizar análises experimentais ou testes em planta piloto para validar os resultados das simulações?**

- 1. Existe viabilidade técnica e econômica de implantar a Rota A ou B em escala industrial na atual estrutura das UTEs brasileiras?**

Do ponto de vista técnico, é possível adaptar as UTEs brasileiras para integrar sistemas de eletrólise e de captura de CO₂, viabilizando a produção de e-fuels. No entanto, como se trata de uma tecnologia ainda em fase de consolidação global, o aprimoramento da eficiência dos processos, a integração sistêmica e a operação em escala industrial demandam investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) para reduzir os riscos associados à escalabilidade.

Do lado econômico, os custos de implantação ainda são elevados, principalmente em relação aos eletrolisadores, aos sistemas de captura de CO₂ e à síntese de combustíveis. Contudo, espera-se uma redução progressiva desses custos com o avanço da indústria e possíveis incentivos ligados à transição energética. Além disso, políticas públicas e mecanismos de financiamento podem aumentar a viabilidade desses projetos nos próximos anos.

Adicionalmente, é possível adotar uma abordagem incremental, implementando uma rota que capture apenas uma fração do CO₂ gerado pela UTE. Essa estratégia reduz tanto os investimentos iniciais (CAPEX) quanto os custos operacionais (OPEX), tornando o projeto mais viável economicamente em uma fase inicial. Ainda assim, contribui para a descarbonização parcial da planta e permite a produção de combustíveis sintéticos, criando um caminho gradual para expansão futura conforme houver evolução tecnológica e melhores condições de mercado.

2. Considerando o alto consumo energético dos eletrolisadores, há perspectivas de adoção de outras tecnologias mais eficientes?

Transformar água em hidrogênio não é uma tarefa fácil. O processo não apenas concentra uma grande quantidade de energia no produto final, mas também confere a ele uma energia de alta qualidade, exergia, o que torna o hidrogênio um vetor energético particularmente interessante. De fato, os eletrolisadores atuais apresentam uma eficiência energética em torno de 60%, ainda distante do ideal. No entanto, existem perspectivas para a adoção de tecnologias mais eficientes. Embora os eletrolisadores alcalinos e os de membrana de troca de prótons (PEM) sejam os mais maduros comercialmente, alternativas como a eletrólise de óxido sólido têm ganhado destaque pelo potencial de maior eficiência, especialmente quando integradas a fontes de calor residual, como as existentes nas UTEs.

Além da eletrólise convencional, também existem outras rotas alternativas em desenvolvimento, como a fotocatalise, a bioconversão e a plasmólise da água, embora todas ainda estejam em estágios iniciais de pesquisa. Outras formas de produzir hidrogênio, como a reforma a vapor de hidrocarbonetos (como etanol e biometano) e a pirólise do bagaço de cana, também foram consideradas. Embora essas alternativas apresentem vantagens energéticas, elas resultam na emissão de carbono durante o processo, o que não ocorre com os eletrolisadores. Essas tecnologias foram analisadas e discutidas, mas optou-se por seguir com a eletrólise para este projeto.

3. Há planos para realizar análises experimentais ou testes em planta piloto para validar os resultados das simulações?

Os resultados obtidos com o projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) intitulado “PD 00403-0058/2024 - Rotas Tecnológicas para Produção de Combustíveis Sintéticos”, que serviu como base para a elaboração deste artigo, apontaram para a viabilidade técnica de se produzir combustíveis sintéticos a partir de CO₂ biogênico capturado de uma UTE movida a biomassa e hidrogênio verde produzido por eletrólise da água. No entanto, o alto consumo energético das rotas

avaliadas e a baixa eficiência nos processos de produção do combustível sintético evidenciam os desafios tecnológicos existentes para reduzir o impacto ambiental e tornar essas soluções economicamente viáveis. A ENGIE Brasil Energia entende que, antes de avançar para uma etapa de testes em planta piloto, será necessário desenvolver processos mais eficientes e que permitam a sua escalabilidade, que podem ser aprimorados com mais investimentos em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Título - Desenvolvimento de Tecnologia para Adição de Hidrogênio e Oxigênio para a Descarbonização e Redução de Consumo de Combustível em UTEs

Entidade(s) - Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação

Autor(es) - LUCIANO TAVARES BARBOSA, Paulo Henrique Ramalho Pereira Gama, Robson do Carmelo Santos Barreiros, Bruno Nunes Guedes, FLAVIO WILSON BARREIROS DE OLIVEIRA, Flávia Cristiani de Araújo, Elias Amancio de Siqueira Filho, Gabriel Neves da Motta Silveira, Mirna Dimenstein

Resumo

O artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema modular de geração de hidrogênio e oxigênio por eletrólise para aplicação em motores de combustão interna, visando a descarbonização parcial e o aumento da eficiência energética. A proposta consiste em injetar pequenas quantidades de H₂ e O₂ no duto de admissão do motor, otimizando a combustão e reduzindo a formação de gases poluentes como CO, HC e material particulado. A tecnologia desenvolvida é composta por uma célula eletrolítica alimentada por água deionizada e energia elétrica da própria bateria do motor. O sistema é autônomo, portátil e pode ser instalado em veículos leves e geradores estacionários. Os gases gerados são imediatamente consumidos no processo de combustão, não havendo necessidade de armazenamento. Os testes foram realizados em dinamômetro de bancada com motor ciclo Otto a gasolina e em gerador diesel de pequeno porte. Os resultados indicaram melhora na eficiência de combustão, com aumento da potência específica e redução de até 70% nas emissões de CO. Também foi observada economia de combustível de 8% em média, variando conforme a carga aplicada. O controle do sistema é realizado por microcontroladores que monitoram tensão, corrente, fluxo de gás e temperatura, garantindo segurança operacional. Além disso, a célula eletrolítica possui sistema de limpeza automática e vida útil estimada superior a 2 mil horas. O estudo defende que essa tecnologia pode ser uma solução de transição para a descarbonização de motores convencionais, com custo de implementação relativamente baixo e potencial de replicação em frotas industriais e sistemas off-grid.

Perguntas e Respostas

- Poderia explicar com melhor detalhamento o esquema experimental do paper presente na Figura 1?
- Como foram feitas as medições de consumo de combustível?
- Quais os desafios que você vê para implementar essa metodologia em campo?

- 1. A tecnologia já foi testada em escala real fora do ambiente laboratorial?**
Explorar cenários de escalabilidade: adaptação para grandes UTEs, navios ou caminhões pesados
- 2. Quais seriam as barreiras regulatórias e logísticas para implementação em larga escala?**
- 3. Quais motores apresentam maior compatibilidade com o sistema desenvolvido?**

- 1. A tecnologia já foi testada em escala real fora do ambiente laboratorial?**
Explorar cenários de escalabilidade: adaptação para grandes UTEs, navios ou caminhões pesados

A tecnologia não foi aplicada em escala real, no entanto, o ambiente em laboratório possui uma infraestrutura com motogeradores a diesel e gás natural capaz de ser caracterizado como ambiente relevante. A tecnologia está em fase de negociação para aplicação em escala de MW para UTEs e aplicação marítima.

- 2. Quais seriam as barreiras regulatórias e logísticas para implementação em larga escala?**

Não há barreiras regulatórias ou logísticas uma vez que a tecnologia não trata de substituição de combustível, mas sim de melhoria da combustão. A tecnologia embarcada é completamente dominada pela equipe desenvolvedora e capaz de ser implementada de forma 100% nacional.

- 3. Quais motores apresentam maior compatibilidade com o sistema desenvolvido?**

Motores dos ciclos Otto e Diesel de grande porte que atendam UTEs e motores marítimos que utilizem derivados de petróleo líquidos, gás natural, e biocombustíveis.

Título - Novo Modo de Controle do TGV na UTE Cubatão

Entidade(s) - Petróleo Brasileiro S.A.

Autor(es) - Tiago Machado da Silva, Fábio Marcelino de Paula Santos

Resumo

O presente informe técnico apresenta o resultado de uma implementação de melhoria executada na turbina a vapor da UTE Cubatão (usina de cogeração de propriedade da Petrobras) gerada a partir de um estudo realizado sobre o desempenho do equipamento, observado sob os diferentes regimes de operação da usina. Através das análises realizadas foi desenvolvido um novo modo de controle para a operação da turbina com o objetivo de melhorar a sua confiabilidade e a sua eficiência operacional, bem como reduzir o consumo de água doce, de gás natural e as emissões de CO₂ da usina. São também apresentados os resultados que já foram obtidos com a melhoria implementada e quais as potencialidades para ganhos futuros.

Perguntas e Respostas

- **Quais os desafios que esse novo modo de controle para ser implementado?**
- **É possível adotar esse novo modelo em outras plantas? Qual sua recomendação?**
- **Quais foram as recomendações mais significativas que o fabricante prestou para essa mudança?**

1. Quais os desafios deste novo modo de controle para ser implementado em outras plantas? Qual sua recomendação? • Quais foram as recomendações mais significativas que o fabricante prestou para essa mudança? É possível adotar esse novo modelo em outras plantas? Qual sua recomendação? • Quais foram as recomendações mais significativas que o fabricante prestou para essa mudança?

- 1. Quais os maiores desafios na implementação desse novo modo de controle? E quais seriam em outras plantas?**
- 2. Descreva melhor os critérios técnicos utilizados para definir a lógica do novo controle do TGV?**
- 3. Os ganhos apresentados e a redução de emissões obtida foram acompanhados por algum estudo de impacto ambiental e/ou empresarial?**

1. Quais os maiores desafios na implementação desse novo modo de controle? E quais seriam em outras plantas?

Inicialmente o maior desafio foi conseguir transmitir a equipe de engenharia do fabricante da turbina a real necessidade da equipe de operação da UTE, pois não se trata de uma solução padrão e sim uma muito particular para o cenário de operação em cogeração da UTE Cubatão. A viabilidade para implementação em outras plantas, e as dificuldades associadas, dependeriam muito da situação operacional de cada uma delas, visto que a solução é muito particular e feita sob medida para a UTE Cubatão.

2. Descreva melhor os critérios técnicos utilizados para definir a lógica do novo controle do TGV?

O principal critério técnico era que a vazão de vapor entrando na turbina deveria ficar o mais estável possível, de forma a não provocar variações significativas na carga das caldeiras auxiliares (e consequentemente na pressão do vapor de alta pressão). Partindo dessa premissa optou-se por utilizar a pressão na câmara de roda para esse controle, visto que essa pressão já era usada pelo sistema de controle/proteção da turbina, ela tem uma variação linear com a vazão de vapor e não existe instrumento de medição direta da vazão de vapor na entrada da turbina.

3. Os ganhos apresentados e a redução de emissões obtida foram acompanhados por algum estudo de impacto ambiental e/ou empresarial?

Os ganhos apresentados são acompanhados através do resultado dos respectivos indicadores de desempenho da UTE, sendo que esse projeto em específico foi

selecionado com um dos destaques no seguimento de Gás e Energia da Petrobras em 2024.

Título - Impactos do Encargo de Potência para Reserva de Capacidade: Desafios e Perspectivas Tarifárias

Entidade(s) - Universidade Federal de Itajuba, TR SOLUCOES EPP

Autor(es) - Rodrigo Luiz Mendes Mota, Gabriel Marins Lemos, Fabiano de Almeida Dias

Resumo

Este artigo analisa os impactos regulatórios e tarifários decorrentes da criação do Encargo de Potência para Reserva de Capacidade (ERCAP), instituído como resposta à necessidade de garantir a confiabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN), diante da desconstrução de termelétricas e do aumento da participação de fontes renováveis intermitentes. O estudo explora a evolução normativa dos Leilões de Reserva de Capacidade (LRCAP), os critérios técnicos e regulatórios que fundamentam a contratação de potência e os efeitos esperados sobre as tarifas de energia elétrica. A partir de uma revisão das discussões regulatórias e dos resultados do primeiro LRCAP, realizado em 2021, são analisados os desafios associados à definição de critérios de confiabilidade e à alocação do encargo entre os diferentes perfis de consumo. Com base em dados públicos do consumo horário e em cenários simulados, o trabalho avalia os efeitos tarifários e distributivos de quatro alternativas de rateio do ERCAP, considerando distintos recortes temporais e segmentações entre consumidores regulados, livres, autoprodutores e exportadores. Também se examina o impacto potencial de critérios mais exigentes de confiabilidade, propostos em consulta pública recente, com base em estimativas de aumento da receita fixa e do montante de potência contratada. Os resultados destacam que a metodologia de rateio escolhida afeta de forma significativa a sinalização econômica e a distribuição do encargo entre os agentes. Conclui-se que o sucesso do ERCAP requer critérios técnicos bem fundamentados, transparência regulatória e mecanismos que assegurem equilíbrio entre segurança do suprimento e modicidade tarifária.

Perguntas e Respostas

- **Quais foram as providências para antecipar o início de suprimento da UTE Termopernambuco para outubro de 2024?**
- **Por que o Loss of Load Probability (LOLP) e o Conditional Value at Risk (CVaR) foram os escolhidos como critérios para o planejamento? Existem outros critérios que sejam mais confiáveis?**
- **Na Tabela 1 (Estimativa de potência contratada e receita fixa a ser paga nos LRCAP), por que os anos de 2024 a 2026 não sofre alterações nos seus valores de CVaR e LOLP em 5 e 3%?**

1. O artigo assume o rateio nacionalizado. Quais seriam os impactos tarifários esperados se, futuramente, a metodologia de rateio do ERCAP passasse a considerar dinâmicas regionais ou submercados, especialmente em relação aos consumidores cativos?

2. Existe uma avaliação concreta dos efeitos do ERCAP sobre o

comportamento de consumo dos agentes, sobretudo no mercado livre, desde o início de sua cobrança em outubro de 2024?

3. Diante da judicialização recente que levou ao cancelamento do LRCAP de 2025, quais recomendações os autores fariam para aumentar a previsibilidade e segurança jurídica dos próximos certames? Quais seriam as alternativas para compatibilizar confiabilidade com modicidade tarifária?

1. O artigo assume o rateio nacionalizado. Quais seriam os impactos tarifários esperados se, futuramente, a metodologia de rateio do ERCAP passasse a considerar dinâmicas regionais ou submercados, especialmente em relação aos consumidores cativos?

2. Existe uma avaliação concreta dos efeitos do ERCAP sobre o comportamento de consumo dos agentes, sobretudo no mercado livre, desde o início de sua cobrança em outubro de 2024?

3. Diante da judicialização recente que levou ao cancelamento do LRCAP de 2025, quais recomendações os autores fariam para aumentar a previsibilidade e segurança jurídica dos próximos certames? Quais seriam as alternativas para compatibilizar confiabilidade com modicidade tarifária?

1. O artigo assume o rateio nacionalizado. Quais seriam os impactos tarifários esperados se, futuramente, a metodologia de rateio do ERCAP passasse a considerar dinâmicas regionais ou submercados, especialmente em relação aos consumidores cativos?

A metodologia de rateio do ERCAP baseada em dinâmicas regionais ou submercados introduziria impactos tarifários distintos, dependendo das regras específicas adotadas. Com base nas análises do artigo, considerando a classe de consumo Distribuição, os impactos potenciais seriam:

Opção 1 (Rateio pelo Consumo Bruto): A maior parcela do pagamento seria do Sudeste (55%-57%), seguido por Nordeste (17%-19,3%), Sul (15,3%-19,5%) e Norte (7,5%-10,5%). Esta distribuição reflete diretamente a participação de cada região no consumo total do SIN.

Opção 2 (Rateio pelo Consumo Máximo Horário do Mês): Nesta opção, adotada pela regulação, o Sudeste ainda manteria a maior participação (54,8%-57,9%). No entanto, haveria uma diminuição do encargo no Nordeste (15,6%-17,2%) e no Norte (6,8%-8,9%), enquanto o Sul veria um aumento (17,8%-21,3%). Isso sugere perfis de demanda de pico distintos entre as regiões, impactando o peso relativo de cada uma.

Outras Opções (3a, 3b e 4): As demais opções de rateio analisadas no artigo resultariam em valores percentuais de participação regional para o segmento de Distribuição muito próximos aos observados na Opção 1, com diferenças marginais. No caso da Opção 4, essa similaridade ocorre porque o fator de rateio envolve uma divisão inicial por mercado, mas a segunda etapa de rateio pelo consumo líquido (ou bruto) acaba por aproximar os resultados da Opção 1 para o setor de Distribuição.

É crucial ressaltar que a análise dos impactos tarifários regionais ou por submercado

é complexa. Caso a metodologia de rateio considerasse outros aspectos, como a carga líquida de cada região, o local de geração do custo devido à necessidade de potência, ou mesmo a carga líquida por agente, os resultados seriam certamente diferentes e com grande variabilidade. Cada um desses cenários demandaria um estudo aprofundado específico, dada a granularidade e as particularidades de cada abordagem.

2. Existe uma avaliação concreta dos efeitos do ERCAP sobre o comportamento de consumo dos agentes, sobretudo no mercado livre, desde o início de sua cobrança em outubro de 2024?

Até a realização do estudo, o custo do encargo não pareceu relevante suficientemente para análise. Além disso, ainda não havia disponibilidade de informação da cobrança do encargo por um período suficiente para uma comparação adequada.

3. Diante da judicialização recente que levou ao cancelamento do LRCAP de 2025, quais recomendações os autores fariam para aumentar a previsibilidade e segurança jurídica dos próximos certames? Quais seriam as alternativas para compatibilizar confiabilidade com modicidade tarifária?

A consulta pública é um instrumento fundamental que, além de conferir transparência ao certame, permite que os interessados contribuam ativamente para o debate. Isso proporciona a incorporação de múltiplas visões sobre o assunto, o que se traduz em maior previsibilidade do entendimento e comportamento dos agentes, reduzindo potenciais contestações futuras. Adicionalmente, a clareza e a estabilidade dos critérios técnicos e econômicos desde as fases iniciais são cruciais para evitar interpretações diversas e litígios. A modicidade tarifária é mais efetivamente alcançada através da ampla concorrência, sem reserva de mercado, que incentiva a eficiência e a redução de custos. Já a confiabilidade está intrinsecamente associada ao rigor técnico e científico dos processos regulatórios, que devem garantir a contratação apenas dos atributos que o sistema de fato necessita. É fundamental que as metodologias de cálculo de potência e de risco sejam transparentes e bem fundamentadas, e que as regras de rateio do encargo deem o sinal econômico correto para a otimização do uso da infraestrutura existente, evitando sobrecustos desnecessários

Título - Do Carbono às Renováveis: O Papel da Descontratação Térmica e os Efeitos na Modicidade Tarifária

Entidade(s) - Universidade Federal de Itajuba, TR SOLUCOES EPP

Autor(es) - Gabriel Marins Lemos, Rodrigo Luiz Mendes Mota, Fabiano de Almeida Dias

Resumo

Este artigo analisa a evolução do portfólio contratual das concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil, com foco na substituição gradual de usinas térmicas fósseis por fontes renováveis. A partir de dados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) entre 2005 e 2024 e projeções até 2030, estima-se a descontratação de cerca de 4 GW de usinas térmicas contratadas por disponibilidade e pelo Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT), refletindo mudanças relevantes nos custos e nas emissões do setor. A análise tarifária indica uma redução de até R\$ 20/MWh no custo médio dos contratos,

considerando o encerramento de contratos antigos e a reconfiguração do portfólio. Se considerada a hipótese de recontração dessa energia a R\$ 200/MWh, a economia total poderia chegar a R\$ 36/MWh, representando uma redução de 14% em relação ao preço médio praticado em 2024. No aspecto ambiental, a descontração térmica pode gerar uma redução estimada de 24 milhões de toneladas de CO₂ por ano associada ao montante contratual das usinas, contribuindo para o cumprimento das metas brasileiras no âmbito do Acordo de Paris e da Contribuição Nacional Determinada (NDC). O estudo também discute o risco de retrocessos associados à adoção de medidas legais e regulatórias que priorizam térmicas inflexíveis. Conclui-se que os resultados demonstram o potencial de ganho econômico e ambiental com o encerramento desses contratos, desde que eventuais novas contratações estejam alinhadas a critérios de sustentabilidade, eficiência e segurança energética de longo prazo.

Perguntas e Respostas

- **Quais são os principais benefícios econômicos e ambientais da descontração de usinas térmicas fósseis em favor de fontes renováveis?**
 - **Como o Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT) influenciou a matriz energética brasileira e quais foram os desafios enfrentados para a implementação das usinas previstas?**
 - **Quais são as metas estabelecidas pela Contribuição Nacional Determinada (NDC) do Brasil para a redução de emissões de gases de efeito estufa até 2030 e como a descontração térmica contribui para o cumprimento dessas metas?**
-
- **Como a sazonalidade da biomassa foi considerada no estudo?**
 - **Existe intenção de validar o modelo em planta piloto?**
 - **Como os custos de logística da biomassa influenciam a competitividade?**

- 1. Ressalte os principais benefícios econômicos e ambientais da descontração de usinas térmicas fósseis em favor de fontes renováveis?**
- 2. Qual o impacto da baixa implantação de usinas previstas no Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT)? O montante de potencia prevista na portaria não era necessária ao país?**
- 3. Quais as contribuições esperadas em termos de emissão de CO₂ da descontração térmica para o cumprimento das metas do NDC em 2030 e do objetivo de net zero em 2050?**

- 1. Ressalte os principais benefícios econômicos e ambientais da descontração de usinas térmicas fósseis em favor de fontes renováveis?**
A descontração das usinas térmicas que se utilizam de combustível fóssil para geração de energia elétrica traz benefícios tanto econômicos quanto para o meio ambiente. Os principais benefícios econômicos estão associados a descontração de uma energia cara. Em valor presente o preço médio do mix de contratos das

distribuidoras cai de 264 R\$/MWh para 244 R\$/MWh. Em um cenário otimista onde a energia descontratada é substituída por fontes renováveis de menor custo (estimado em 200 R\$/MWh), a economia passaria de 20 R\$/MWh para 36 R\$/MWh, representando uma redução de 14% no preço médio de contratos. Já em relação aos benefícios ambientais, o encerramento desses contratos poderá evitar a emissão de 24 MtCO₂ por ano, considerando a geração integral das usinas em relação ao montante contratado. A fim de comparação, esse montante representa 31% das emissões anuais do setor elétrico. Assim a redução das emissões contribuem para o cumprimento das metas do Brasil no acordo de Paris oque reforça o compromisso com a descarbonização da matriz elétrica.

2. Qual o impacto da baixa implantação de usinas previstas no Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT)? O montante de potencia prevista na portaria não era necessária ao país?

O PPT foi uma resposta a uma crise iminente pela qual o setor estava passando. A baixa implantação das usinas pode ter prolongado a sensação de insegurança energética no curto prazo. No entanto, o modelo de contratação de energia via leilão supriu a necessidade sistêmica de contração existente. A avaliação da necessidade de potência prevista, ou mesmo o impacto da baixa implantação de usinas do programa, são subjetivas. Acredito que para avaliação desses pontos seria necessário um outro estudo levando em consideração pontos como: Caso o programa tivesse sido instituído anteriormente à publicação do decreto do PPT, haveria prazo hábil para que as usinas contratadas evitassem o racionamento de 2001? Qual seria o impacto de uma maior contratação de usinas térmicas na formação do preço dos anos subsequentes, com e sem crises hídricas?

3. Quais as contribuições esperadas em termos de emissão de CO₂ da descontração térmica para o cumprimento das metas do NDC em 2030 e do objetivo de net zero em 2050?

É estimado que a descontração de 4 GWmed de usinas térmicas fósseis pode contribuir com uma redução de 24 MtCO₂ associadas à energia contratada, representando 31% das emissões anuais do setor elétrico. O caderno de Meio Ambiente e Energia do PDE 2034 aponta ser necessária a redução da emissão líquida de 1,2 GtCO₂ até 2030. A descontração pode representar 2% da meta de 2030. Já em relação à meta do NetZero em 2050, a análise depende de outros fatores, mas ao se considerar a meta de 2030 representa uma redução de 53%, a contribuição dessa descontração não deve alcançar 1%.

Título - POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO DOS PLANOS DE APLICAÇÃO DE RECURSOS DO PROCEL PARA ALAVANCAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SETORES DE MAIOR IMPACTO NA MATRIZ ELÉTRICA NACIONAL

Entidade(s) - MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA

Autor(es) - Alexandra Albuquerque Maciel, Samira Sana Fernandes de Sousa Carmo

Resumo

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel, criado em 1985, é responsável pela promoção de ações de eficiência energética em múltiplos setores da economia. Em 2016, com a publicação da Lei nº 13.280, que alterou a Lei nº 9.991, garantiu-se recursos específicos para o programa e tornou-se obrigatória a

elaboração de um Plano Anual de Aplicação dos Recursos- PAR, baseada em uma estrutura de governança bem estabelecida. Para o avanço e aprimoramento do processo, foi realizada uma avaliação de cada um dos PARs já aprovados e seus respectivos projetos no âmbito de cada subprograma do Procel, verificando tendências e potencial perfil. A partir da identificação dos subprogramas de maior relevância em cada ciclo, observa-se que o Programa Procel Reluz é o programa de destaque em todos os ciclos. Isso demonstra uma consistência na política de investimento para melhoria da iluminação pública, mantida e coordenada pelo Procel. Os demais projetos de destaque identificados permitiram que houvesse uma caracterização do perfil setorial de cada PAR, sendo o 1º e 2º PAR caracterizados pelo perfil Industrial e o 3º a 4º PAR pelo perfil Edificações. Verificou-se uma relação de causalidade entre os perfis identificados e o perfil participação setorial no consumo e demanda de energia elétrica do país e as projeções dos Planos Decenais de Expansão do Setor Elétrico, demonstrando alinhamento com a conjuntura nacional sob a ótica de um desenvolvimento sustentável para o setor elétrico .

Perguntas e Respostas

- **Quais foram os principais desafios enfrentados para consolidação dos dados dos diferentes PARs?**
- **Há intenção de desenvolver um planejamento de médio prazo com base nessa análise?**
- **Como os resultados estão sendo usados para a formulação dos próximos ciclos do Procel?**

1. Quais foram os principais desafios enfrentados para o direcionamento e alinhamento entre os setores estratégicos e os projetos dos diferentes PARs? E qual o papel dos projetos estruturantes?

2. Há intenção de desenvolver um planejamento de médio prazo com base nessa análise?

3. Como os resultados estão sendo usados para a formulação dos próximos ciclos do Procel?

1. Quais foram os principais desafios enfrentados para o direcionamento e alinhamento entre os setores estratégicos e os projetos dos diferentes PARs? E qual o papel dos projetos estruturantes?

A ausência de um instrumento de planejamento de médio prazo para a área de eficiência energética, indicando as medidas a serem consideradas prioritárias para o setor, dificulta uma definição do que poderia ser considerado como “perfil” de cada PAR, para indução do mercado. Os projetos estruturantes receberam recursos significativos no 2º e 3º ciclo do PAR, sob a ótica de viabilizar os investimentos em eficiência energética pelos setores público e privado.

2. Há intenção de desenvolver um planejamento de médio prazo com base nessa análise?

Essa avaliação pode contribuir não só para a construção de uma metodologia de priorização de projetos como para avaliação de resultados e impacto.

3. Como os resultados estão sendo usados para a formulação dos próximos ciclos do Procel?

Acredito que os resultados desse estudo serão utilizados no processo de discussão e aprimoramento da dinâmica de elaboração do PAR/Procel. Com o início do debate para a construção do 6º PAR/Procel tenho a expectativa de que essa avaliação seja trazida a discussão para que possamos estabelecer as relações de causalidade e sinergias com os instrumentos de planejamento do setor elétrico e assim, possamos apontar de forma mais objetiva os segmentos que serão foco daquele ciclo.

Título - Implementação de Índices Mínimos de Eficiência Energética aplicado às Edificações

Entidade(s) - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA

Autor(es) - ANA CRISTINA BRAGA MAIA, Gustavo Daou Palladini

Resumo

No Brasil, as edificações representam por quase a metade do consumo de eletricidade do País, aproximadamente 48% (EPE, 2024a). Desse total, o setor residencial representa 27%, enquanto os setores comercial, serviços e os edifícios públicos com 21% (EPE, 2024a). As projeções do Plano Decenal de Energia para 2034, estima que o consumo da eletricidade nas edificações em 10 anos, cresça 4% ao ano e atinja um potencial de eficiência energética para as edificações de 27 TWh ou 66% do total, em 2034 (EPE, 2024b).

A adoção de práticas eficientes reduz o consumo de energia, tanto elétrico quanto de combustíveis, além de diminuir os custos operacionais. Adicionalmente, a eficiência energética contribui para o conforto térmico e lumínico dos ambientes, gerando impactos positivos para o meio ambiente. Com a redução da demanda, a eficiência energética pode reduzir as necessidades de oferta, sendo esta, reconhecida como a primeira fonte e a mais barata.

Com relação aos marcos legais, o Brasil dispõe de uma histórica política pública em eficiência energética que será abordada com mais detalhes a seguir. Para o segmento de edificações, a principal política para avaliação da conformidade e classificação da eficiência energética das edificações foi desenvolvida no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações- PBE Edifica, criado em 2009. O PBE Edifica avalia e classifica o nível de eficiência energética das edificações, sendo aplicada ao projeto e depois na edificação concluída.

Perguntas e Respostas

1. Qual a estratégia de comunicação prevista para garantir a adesão do setor da construção civil aos novos IMEE?

2. Como os dados do PBE Edifica foram integrados ao cálculo dos índices mínimos?

3. Há estimativas sobre o custo incremental da construção eficiente em relação à convencional com base nos IMEE?

1. Qual a estratégia de comunicação prevista para garantir a adesão do setor da construção civil aos novos IMEE?

O processo do AIR foi um processo participativo que, contou vários workshops. Atualmente, está em fase de elaboração ações de suporte à implementação, para promover e assegurar o cumprimento da regulamentação, com o Plano de Comunicação e Conscientização. O setor privado que compreende: residencial, comercial e de serviços, deverá atender o mínimo que é o C, ou seja, a norma 15575.

2. Como os dados do PBE Edifica foram integrados ao cálculo dos índices mínimos?

Os dados da etiqueta ENCE do PBE Edifica foram fundamentais para a definição dos índices mínimos obrigatórios de eficiência energética — fornecendo simulações, métodos avaliativos e critérios referenciais, assim como os estudos técnicos e os dados do Selo Procel.

3. Há estimativas sobre o custo incremental da construção eficiente em relação à convencional com base nos IMEE?

Segundo dados do Procel (2012), o investimento para adequação da classe D para a classe B estaria na ordem de menos de 1% do valor total da obra, sendo as economias de energia na faixa de 15 a 20%.

Estudos técnicos do LABEEE (2021), apontam que para as HIS, um acréscimo médio de 5% a 8% no custo inicial da construção e uma economia média no consumo de eletricidade de 8% a 15% , além de outros benefícios, como o conforto térmico .

Título - O diagnóstico energético como ferramenta de gestão da energia para o redução de emissões de carbono

Entidade(s) - Petróleo Brasileiro S.A.

Autor(es) - Leonardo F Leucas, Thiago Loiola de Souza, Paulo Henrique Fernandes Ferreira, Patricia Naomi Sakai

Resumo

Este trabalho apresenta a metodologia adotada pela Petrobras em seu setor de usinas termelétricas (TERM) para a criação de ferramenta de gestão energética buscando redução das emissões de carbono. Toda a metodologia é baseada na série de normas ISO 50001 e EVO, partindo do compromisso voluntário da Petrobras de redução de 25% em suas emissões totais até 2025 considerando o patamar de 2015 e a busca pelo carbono neutro até 2050.

São descritos os passos do roadmap estabelecidos, sendo o primeiro deles a definição correta de indicadores que possam representar o processo. Assim, conseguimos diagnosticar os pontos de melhoria e estabelecendo ações para atingimento de metas.

Também foram apresentados os diferentes métodos de quantificação da eficiência energética apresentando vantagens e desvantagens de cada um. Este projeto

propôs novo método mais adequado à realidade de usinas termelétricas e a comparação deste com os demais consegue fornecer informação para direcionamento estratégico.

Além disso a necessidade de instalação de instrumentação voltada para o cálculo de eficiência energética levou a concepção de kits IoT portáteis para medição de variáveis não contempladas pela instrumentação original da planta.

Perguntas e Respostas

- **Como a ISSO 50009 conseguiu na elaboração dos indicadores?**
- **Poderia explicar melhor as diferenças entre os métodos de avaliação de eficiência energética segundo a Figura 2.**
- **Gostaria de saber se essa nova metodologia com os indicadores já foi implementada em alguma planta da Petrobras.**

- **Como a ISSO 50009 conseguiu auxiliar na elaboração dos indicadores?**
- **Poderia explicar melhor as diferenças entre os métodos de avaliação de eficiência energética segundo a Figura 2.**
- **Gostaria de saber se essa nova metodologia com os indicadores já foi implementada em alguma planta da Petrobras.**

- **Como a ISO 50009 conseguiu auxiliar na elaboração dos indicadores?**
- **Poderia explicar melhor as diferenças entre os métodos de avaliação de eficiência energética segundo a Figura 2.**
- **Gostaria de saber se essa nova metodologia com os indicadores já foi implementada em alguma planta da Petrobras.**

- 1. Como a metodologia da ISO 50009 auxiliou na elaboração dos indicadores?**
- 2. Poderia explicar melhor as diferenças entre os métodos de avaliação de eficiência energética segundo a Figura 2. O método indireto baseado na saída de energia foi validado em alguma unidade específica da Petrobras? Quais foram os principais aprendizados práticos dessa aplicação?**
- 3. Qual é a previsão de resultados concretos (em termos de redução percentual de consumo ou emissões) com a adoção plena dos kits de instrumentação IoT nas UTEs da Petrobras?**

1. Como a metodologia da ISO 50009 auxiliou na elaboração dos indicadores?

A ISO 50009 orienta como conciliar os indicadores de sistemas de gestão da energia entre empresas/divisões para poderem ser acompanhados de uma forma consolidada por um nível superior. Pois cada empresa/divisão tem atividades e equipamentos diferentes, o que exigem indicadores específicos. A ISO 50.009 nos inspirou para organizar um hierarquia de indicadores, mas não indicou como implementar.

2. Poderia explicar melhor as diferenças entre os métodos de avaliação de eficiência energética segundo a Figura 2. O método indireto baseado na saída de energia foi validado em alguma unidade específica da Petrobras?

A diferença entre as metodologias de avaliação de eficiência energética é devido a disponibilidade de informações para realizar a avaliação. Como nas usinas termoeletricas há uma confiança maior na medição de saída de energia é uma forma de implementar o acompanhamento. Ela ainda não foi validada, mas com o kit IoT deve nos auxiliar e aumentar a confiança nas medições das instalações.

3. Qual é a previsão de resultados concretos (em termos de redução percentual de consumo ou emissões) com a adoção plena dos kits de instrumentação IoT nas UTEs da Petrobras?

A previsão de resultado de sistemas de gestão da energia são baseadas em previsões de peers, que podem chegar a 3,5 a 10%. Não são kits para todas as unidades, mas a intenção é para que seja um kit itinerante para auxiliar na validação de instrumentações existentes e o batteryless já um para diagnóstico de perdas de vapor, que podem trazer ganhos de 5 a 15% de redução de vapor e condensado, afetando 1-3% o desempenho global de uma usina termoeletrica.

Título - Análise de usos e consumos de vetores energéticos seguindo as diretrizes da ISO 50.001:2018: estudo de caso na Universidade Federal de Pernambuco

Entidade(s) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO, SM Gestão Energética

Autor(es) - Solluan da Silva Marçal Nunes

Resumo

A compreensão da eficiência energética em instituições públicas, especialmente em campus universitários, e a apresentação de soluções para reduzir gastos com energia elétrica são essenciais. Ações para aumentar a eficiência energética são fundamentais para reduzir custos, demanda e descarbonizar a matriz energética. Universidades são cruciais para demonstrar a importância dessas iniciativas e seus impactos positivos.

O trabalho apresenta uma revisão energética conforme a norma NBR ABNT ISO 50.001:2018. O estudo de caso foi realizado no campus Recife da UFPE, com dados de setembro de 2018 a agosto de 2019.

A eletricidade foi identificada como o principal vetor energético. Os maiores pontos de consumo são os setores atendidos pelas cabines 1 e 2, correspondendo a 80% do consumo total. Os laboratórios foram priorizados nos planos de eficiência energética sendo um grupo considerado como áreas de Uso Significativo de Energia (USEs) e, portanto, foram elas as áreas priorizadas nos planos de eficiência energética.

Foi avaliado também o Departamento de Energia Nuclear da UFPE, devido à maior disponibilidade de informações que corroboraram para a construção de um inventário, visando a comparação entre este inventário e os dados de consumo. Onde verificou-se a existência de um consumo à maior no departamento de mais de 46 MWh/ano, representando uma perda demais de Dezoito mil reais por ano.

Utilizando como referência o comportamento do consumo energético necessário versus o real identificado no Departamento e partindo da premissa de que o comportamento do consumo nos laboratórios alimentados pelas Cabines 1 e 2 era semelhante, temos que há um potencial redução de desperdício na ordem de 30 GWh/ano, o que equivaleria a mais de Quatro Milhões de Reais anuais de economia.

Perguntas e Respostas

1. A UFPE parou na revisão energética ou fez todo ciclo de PDCA preconizado pela ISO 50.001 ? Se sim, a UFPE pretende buscar a certificação formal na norma com base neste trabalho?

2. Quais barreiras institucionais foram identificadas como mais críticas para a implementação de um SGE completo? Houve implementações efetivas de medidas de eficiência energética?

3. Há planos para expandir a metodologia para campi avançados ou outras universidades federais em rede?

1. A UFPE parou na revisão energética ou fez todo ciclo de PDCA preconizado pela ISO 50.001 ? Se sim, a UFPE pretende buscar a certificação formal na norma com base neste trabalho?

Todo o desenvolvimento da instituição foi interrompido na revisão energética. Ainda é proposta futura para a busca de certificação ao menos no Departamento de Energia Nuclear como ponto de partida.

2. Quais barreiras institucionais foram identificadas como mais críticas para a implementação de um SGE completo? Houve implementações efetivas de medidas de eficiência energética?

Seria bastante útil a disponibilização de recursos para obtenção de medidores individualizados a fim de realizar as medições por laboratório e iniciar este mapeamento mais minucioso, de certeza e essa era uma barreira institucional enfrentada no ato do projeto. As medidas implementadas de eficiência energética foi a substituição de lâmpadas de todo o campi por lâmpada LED e a automação do processo de iluminação das vias da Universidade a fim de reduzir os lúmens de toda a universidade em horários específicos, sendo essas as únicas iniciativas que identifiquei.

3. Há planos para expandir a metodologia para campi avançados ou outras universidades federais em rede?

Há um enorme interesse do autor em desenvolver essa metodologia completa, não só a revisão energética como também todo o ciclo PDCA e a obtenção da certificação, porém é algo que analiso para longo prazo, visto que não existe linha de pesquisa com esta frente na Universidade e aparentemente será mais fácil implementar a metodologia ou em outros órgãos públicos ou no setor privado.

Título - Potencial de Eficiência Energética na Iluminação Pública de Municípios Amazônicos

Entidade(s) - EAMAZONIA - ENERGIA SUSTENTAVEL E INOVACAO,CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS

Autor(es) - Aline Santana Gallina,Nadine da Fonseca Araujo dos Santos ,Caroline Luiza Vieira da Costa,Ricardo de Oliveira

Resumo

A Iluminação Pública (IP) está passando por mudanças com a popularização da tecnologia LED e dos sistemas de controle a distância. Diante disso, é essencial que os gestores públicos se mantenham atualizados. No entanto, a maioria dos municípios, especialmente na Região Norte, carece de estrutura técnica e recursos para gerenciar e manter todo o parque de IP. Com foco na realidade dos municípios amazônicos com menos de 200 mil habitantes, este trabalho tem o intuito de verificar o potencial de eficiência energética dos parques de IP. Foram selecionados os dois estados mais populosos da Amazônia Legal: Pará e Amazonas. Contudo, devido ao programa Ilumina+ Amazonas, que visa modernizar toda a IP do estado até 2025, a análise restringiu-se a 139 municípios do Pará, excluindo os 5 municípios que possuem mais de 200 mil habitantes. Os dados foram coletados a partir da Aneel, que disponibiliza os pontos de IP existentes no sistema de distribuição destes municípios em 2023, e dos portais das prefeituras, buscando informações sobre licitações, convênios e contratos relacionados à eficiência energética entre 2019 e 2024. Os resultados indicam um grande potencial de efficientização: 11,51% dos municípios precisam realizar o retrofit completo, 33,09% estão em processo de conclusão e 51,08% já possuem parques eficientes. Esses dados reforçam a necessidade de investimentos e políticas públicas para superar os desafios técnicos e financeiros, garantindo a modernização da IP e seus benefícios para a segurança e qualidade de vida nas cidades amazônicas.

Perguntas e Respostas

1. Há planos para ampliar a análise para outros estados da Amazônia Legal, como Rondônia e Acre?

2. Que tipo de apoio técnico e financeiro seria mais eficaz para viabilizar os retrofits em municípios com baixa capacidade institucional?

3. Considerando os avanços em telegestão, o estudo prevê incorporar essa dimensão em futuras análises de eficiência energética em IP?

1. Há planos para ampliar a análise para outros estados da Amazônia Legal, como Rondônia e Acre?

Sim, a análise já foi realizada para o estado do Acre, só não foi possível inserir no informe técnico a tempo.

2. Que tipo de apoio técnico e financeiro seria mais eficaz para viabilizar os retrofits em municípios com baixa capacidade institucional?

O apoio técnico a estes municípios deve ser um trabalho desenvolvido em conjunto com a equipe local, possibilitando o aprendizado e facilitando a participação nas possibilidades de apoio financeiro. Compreendo que uma opção certa para pequenos municípios isolados é um financiamento que possibilite um acompanhamento técnico desde o desenvolvimento da proposta de projeto até a finalização da ação.

3. Considerando os avanços em telegestão, o estudo prevê incorporar essa dimensão em futuras análises de eficiência energética em IP?

Como a telegestão é relativamente nova e pouco conhecida na região Amazônica, não foi inserida nas análises deste momento, mas entendo que quando esta ferramenta for uma realidade para os municípios da região deverá sim ser incluída como um diferencial na análise de eficiência energética em IP.

Título - Avaliação Completa da transição para a Iluminação em LED no Setor Residencial Municipal como estratégia de Eficiência Energética

Entidade(s) - Universidade de São Paulo

Autor(es) - Beatriz Cristina Medeiros Costa, Vanessa Meloni Massara, Miguel Edgar Morales Udaeta, Viviane Tavares Nascimento, Andre Luiz Veiga Gimenes

Resumo

Este trabalho avalia o impacto da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LED (Light Emitting Diode – diodo emissor de luz) no setor residencial do município de Birigui, utilizando a metodologia de Cômputo e Valoração de Potenciais Completos (CVPC) no contexto do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos, uma das ferramentas do PIRnaUSP (Udaeta, 2012). A abordagem visa integrar aspectos técnico-econômicos, sociais, ambientais e políticos no planejamento energético, com o objetivo de otimizar o uso de recursos locais e promover o desenvolvimento sustentável. Essa metodologia permite uma análise holística dos recursos energéticos disponíveis, sendo a substituição para lâmpadas de LED uma medida de gerenciamento do lado da demanda.

O estudo de caso em Birigui concentra-se na troca de lâmpadas fluorescentes por iluminação em LED no setor residencial. Em 2023, o setor residencial no estado de São Paulo respondeu por aproximadamente 31,9% do consumo total de energia elétrica, o que demonstra a relevância do setor. A escolha dessa tecnologia foi motivada pelos benefícios associados à eficiência energética, à economia de custos e à mitigação de impactos ambientais. Para avaliar esses impactos, é utilizada uma abordagem bottom-up baseada nos dados demográficos e de consumo disponíveis, considerando uma média de 3,5 lâmpadas fluorescentes compactas por residência e uma estimativa de 39.546 domicílios no município.

A transição para lâmpadas LED, neste contexto, representa uma estratégia eficiente e sustentável dentro do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos para Birigui, reforçando os compromissos de longo prazo com a resiliência energética e o desenvolvimento sustentável. A medida não apenas atende à demanda por eficiência energética, mas também promove um ambiente econômico, social e ambiental mais equilibrado, alinhando-se com as metas globais de sustentabilidade e as necessidades locais.

Perguntas e Respostas

1. O estudo utiliza muitos dados que são estimados ou médios. Qual é o impacto na variação do número de lâmpadas, emprego gerado e outras variáveis críticas. Foi realizada alguma análise de sensibilidade? 100% de nacionalização é uma hipótese que pode ser inviável, qual o impacto se esta hipótese seja difícil de ser alcançada, como por exemplo, houver a nacionalização de apenas 10%?

- 2. A substituição de 100% das lâmpadas fluorescentes por LEDs foi considerada tecnicamente viável do ponto de vista de adesão popular e logística municipal? Houve análise de sensibilidade para cenários com diferentes taxas de adesão?**
- 3. Existe intenção de aplicar o CVPC de forma comparativa com outros recursos do lado da demanda (ex: refrigeradores, ar-condicionado), a fim de priorizar investimentos públicos em eficiência energética residencial?**

1. O estudo utiliza muitos dados que são estimados ou médios. Qual é o impacto na variação do número de lâmpadas, emprego gerado e outras variáveis críticas. Foi realizada alguma análise de sensibilidade? 100% de nacionalização é uma hipótese que pode ser inviável, qual o impacto se esta hipótese seja difícil de ser alcançada, como por exemplo, houver a nacionalização de apenas 10%?

O estudo busca demonstrar a funcionalidade do CVPC no PIR Municipal, utilizando dados estimados como referência para uma análise de sensibilidade tanto quantitativa quanto qualitativa das variáveis, denominadas atributos no PIRnaUSP. Reconhece-se que variáveis como o grau de nacionalização influenciam diretamente os resultados, e a adoção do cenário de 100% de nacionalização visa ilustrar o potencial máximo de impacto. Caso esse percentual seja menor, como 10%, os efeitos sobre geração de empregos e estímulo à indústria nacional seriam reduzidos. A incorporação de dados obtidos por meio de pesquisa de campo é recomendada em etapas futuras, com uma verificação ao longo de um horizonte de tempo pré-definido e na geografia específica, a fim de ampliar a precisão das estimativas e permitir simulações mais aderentes à realidade local.

2. A substituição de 100% das lâmpadas fluorescentes por LEDs foi considerada tecnicamente viável do ponto de vista de adesão popular e logística municipal? Houve análise de sensibilidade para cenários com diferentes taxas de adesão?

O percentual de 100% considerado no estudo é metodológico e sistêmico do PIRnaUSP. Como este recurso seria posteriormente comparado com outros no PIR completo, é necessário considerar o cenário limite para a avaliação completa dos custos. Ou seja, trata-se de uma ferramenta para comparação de recursos, não aplicação final.

3. Existe intenção de aplicar o CVPC de forma comparativa com outros recursos do lado da demanda (ex: refrigeradores, ar-condicionado), a fim de priorizar investimentos públicos em eficiência energética residencial?

Sim, no contexto do Planejamento Integrado de Recursos Energéticos, o CVPC é utilizado como instrumento para comparar numericamente diferentes recursos, neste caso, do lado da demanda. Os passos seguintes seriam fazer a Avaliação dos Custos Completos (ACC) dos recursos computados, isto é, colocar o que foi calculado numa escala comparável para, então, os recursos serem ranqueados na ótica das dimensões analisadas ao longo do horizonte de tempo. Afinal, um recurso que hoje pode não parecer relevante pode ganhar relevância pelo avanço tecnológico ou disponibilidade do recurso. Com a comparação completa, poderia ser

indicado para a gestão pública um plano preferencial, buscando o menor custo completo (não só técnico-econômico, mas também ambiental, social e político).

Título - O Programa Permanente para o Uso Eficiente dos Recursos Hídricos e Energéticos na Universidade de São Paulo (PUERHE-USP)

Entidade(s) - Universidade de São Paulo

Autor(es) - Jose Aquiles Baesso Grimoni, Jose Sidnei Colombo Martini

Resumo

O artigo pretende apresentar as ações e resultados obtidos do Programa Permanente para o Uso Eficiente dos Recursos Hídricos e Energéticos na Universidade de São Paulo (PUERHE-USP), órgão ligado a Superintendência de Espaço Físico - SEF da USP.

O Programa Permanente para o Uso Eficiente dos Recursos Hídricos e Energéticos na Universidade de São Paulo (PUERHE-USP) estabelece diretrizes, propõe atuações, avalia e gerencia a utilização dos recursos hídricos e energéticos nas Unidades e nos Órgãos da USP, de modo a incrementar a eficiência do uso e reduzir o consumo deles, por meio de ações de caráter tecnológico e comportamental. Ficam integrados ao PUERHE-USP as Unidades e os Órgãos da Universidade, por meio de seus docentes, funcionários e usuários.

O PUERHE foi criado em 2015 com a fusão do Programa de Uso Racional de Água - PURA e do Programa de Uso Racional de Energia- PURE da USP criados no final da década de 1990, no mesmo período que foi também criado o programa USP-Recicla. Os programas PURE e PURA desenvolveram diversas várias ações de eficiência do uso de energia elétrica e de água, reduzindo assim os consumos da USP nos últimos 26 anos. O Instituto de Energia e Ambiente - IEE e a Escola Politécnica - EPUSP participaram de edital especial de Pesquisa e Desenvolvimento - P&D e de Eficiência Energética - PEE da Aneel que permitiu viabilizou a instalação de novas usinas fotovoltaicas no campus e a troca de lâmpadas, no Hospital Universitário e outra no prédio do Ciclo Básico da POLI EPUSP e de um sistema de biodigestor no IEE.

Em 2023, a Reitoria da USP criou um grupo de trabalho de transição energética que propôs ampliar a geração de energia própria, realizar a migração para o mercado livre de energia do campus Butantã, em São Paulo, implementar um retrofit da rede do campus Butantã com ampliação do número de alimentadores e criação de possibilidades de socorro, fazer um retrofit do sistema de Iluminação Pública atual do campus Butantã, concluir o sistema de monitoramento de consumo de energia das unidades do campus Butantã, implantar um posto de produção de hidrogênio, a partir de etanol, no campus Butantã, que será utilizado para alimentar ônibus e carros e implementar um inventário de Gases de Efeito Estufa(GEE).

Perguntas e Respostas

1. Considerando o objetivo de atingir 20% de autossuficiência energética com fontes renováveis, quais são os principais desafios técnicos e financeiros enfrentados para expandir as usinas fotovoltaicas nos campi da USP? Como foi planejada a integração das ações de eficiência energética com geração

distribuída?

2. Há algum tipo de articulação institucional com outras universidades públicas para replicação do modelo PUERHE? Caso sim, como tem sido essa colaboração?

3. Quais foram os principais indicadores utilizados para medir o sucesso do PUERHE-USP? Como o sistema de monitoramento de energia implantado na USP tem influenciado na tomada de decisão administrativa das unidades em relação ao uso racional de energia?

1. Considerando o objetivo de atingir 20% de autossuficiência energética com fontes renováveis, quais são os principais desafios técnicos e financeiros enfrentados para expandir as usinas fotovoltaicas nos campi da USP? . Como foi planejada a integração das ações de eficiência energética com geração distribuída?

Os principais desafios para atingir 20% de autossuficiência energética com fontes renováveis são a garantia do recurso para o investimento, a montagem dos editais, a escolha da empresa e o acompanhamento da obra e a operação ,manutenção e monitoramento da produção integrada das usinas FV.

A USP tem um programa de gestão de energia desde 1998 que tem feito ações constantes de conservação , uso racional e eficiência energética nos edifícios dos diversos campi na universidade com recurso próprios e com recursos do PEE da Aneel.

2. Há algum tipo de articulação institucional com outras universidades públicas para replicação do modelo PUERHE? Caso sim, como tem sido essa colaboração?

A Superintendencia de Gestão Ambiental(SGA) da USP publicou um livro(hospedado no link https://sites.usp.br/sga2023/wp-content/uploads/sites/1254/sgaold/2021/02/livro_univ_rumo_sustentab_jan2020_tfm.pdf

) em 2019 com uma compilação de capítulos descrevendo ações de sustentabilidade de várias universidades.

O capítulo 18 trata da experiência do PUERHE-USP.

Um livro editado pela Unicamp sobre os projetos do Programa de Eficiência Energética(PEE) e o de Pesquisa de Desenvolvimento(P&D)do edital da Chamada 1/2016 da Aneel do Projeto Prioritário e Estratégico intitulado “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior” mostra os projetos de troca de lâmpadas e das usinas fotovoltaicas da Escola Politécnica da USP e do Hospital Universitario e do biodigestor do IEE - USP.

A USP através da SGA(<https://sga.usp.br/ui-greenmetric/>) participa do Green Metrics, que é um ranking internacional de sustentabilidade de universidades. No ranking de 2024 ficou em 5o lugar entre as universidades mais sustentáveis (<https://greenmetric.ui.ac.id/>)

3. Quais foram os principais indicadores utilizados para medir o sucesso do PUERHE-USP? Como o sistema de monitoramento de energia implantado na

USP tem influenciado na tomada de decisão administrativa das unidades em relação ao uso racional de energia?

O PUERHE utiliza indicadores de energia consumida, energia por área e pela população que trabalha e estuda na USP por ponto de medição (alunos, servidores administrativos e técnicos e de professores) em seus diversos campi. Outro indicador importante é a porcentagem da produção de energia própria em relação ao total da energia consumida, depois das implementações das usinas fotovoltaicas, principalmente, além de outras formas de produção de energia, como a oriunda do gás produzido a partir da biodigestão de resíduo orgânico.

As ações institucionais de projetos e as campanhas educativas feitas sobre conservação, uso racional e eficiência energética tem criado uma cultura na universidade que influencia os funcionários, alunos e docentes a replicar ações em suas casas e incorporar os conceitos de sustentabilidade nas ações diárias das pessoas.

Na prefeitura do campus (PUSP) do Butantã temos um central de monitoramento em implantação, que permitirá acompanhar através de sistema supervisorio os consumos das unidades e as gerações próprias de energia. Estamos também numa campanha de migração para o mercado livre de energia nos diversos campi da USP, onde é possível e viável.

Título - Projeto EnergIF - cultura da eficiência energética a partir da capacitação de servidores da Rede Federal de EPCT

Entidade(s) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A.

Autor(es) - Cláudia Regina Silveira, Ricardo Luiz Alves, Marcelo Luiz Braga Maia, James Silveira, Douglas Deni Alves

Resumo

Este Informativo Técnico descreve a implementação do Treinamento de Multiplicadores em Eficiência Energética no âmbito do Projeto EnergIF, que faz parte do Programa EnergIFE (S etec /MEC), com foco na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (RFEPCT). O objetivo principal foi capacitar servidores para disseminar práticas de Eficiência Energética em Edificações e na Indústria, promovendo a sustentabilidade e a inovação na área de Educação Tecnológica. A metodologia utilizada envolveu cursos com carga horária de 80 horas, oferecidos entre 2023 e 2024, em dez edições regionais, com aulas teóricas e práticas baseadas em materiais didáticos próprios do Projeto e, também, em laboratórios qualificados. A seleção dos participantes aconteceu por meio de Chamadas Públicas, e alcançou 35 dos 38 Institutos Federais existentes. Os resultados apontam que 325 servidores foram capacitados, o que ultrapassou a meta inicial de 200, impactando cerca de 92% dos Institutos Federais da RFEPCT. Esses profissionais se encontram aptos para desenvolver cursos e aplicar boas práticas, contribuindo para a redução do consumo de energia nos campi e, ainda, para o fortalecimento da pesquisa aplicada. Conclui-se que o Projeto foi bem-sucedido, pois promoveu importante mudança cultural nas instituições envolvidas e contribuiu com as metas previstas no Plano Nacional de Eficiência Energética. O impacto educacional está relacionado com a criação de novos cursos e a maior conscientização dos envolvidos, enquanto os benefícios institucionais incluem economia financeira, bem como, sustentabilidade. O Projeto EnergIF

reforça a ideia de que a Educação Tecnológica é uma ferramenta muito importante para o desenvolvimento sustentável do Brasil.

Perguntas e Respostas

1. O projeto EnergIF prevê a criação de indicadores permanentes para mensurar o impacto das ações de capacitação nos campi a médio e longo prazo?

2. O artigo fala de mudança cultural, considerando o ambiente acadêmico, na sua opinião, porque os servidores e alunos não tinha a consciência do uso eficiente da energia? Foi realizada alguma pesquisa para subsidiar a resposta a esta questão?

3. Como o EnergIF tem integra do os resultados obtidos com as políticas nacionais de educação e eficiência energética em termos institucionais e regulatórios?

1. O projeto EnergIF prevê a criação de indicadores permanentes para mensurar o impacto das ações de capacitação nos campi a médio e longo prazo?

O Projeto EnergIF foi concebido com o propósito de induzir mudanças estruturais e culturais na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica (RFEPC), por meio da formação de servidores como multiplicadores e disseminadores de conhecimentos em eficiência energética. Os resultados alcançados — com 325 capacitações efetivadas em 92% dos Institutos Federais — evidenciam o impacto imediato da iniciativa no fortalecimento da educação tecnológica voltada à sustentabilidade.

No que se refere à mensuração dos impactos em médio e longo prazo, o Projeto não estabeleceu, em sua fase inicial, um sistema formalizado de indicadores permanentes. Contudo, sua própria arquitetura metodológica prevê desde a concepção mecanismos indiretos de monitoramento, como a exigência de contrapartidas institucionais (criação cursos de qualificação, disciplinas ou programas de extensão) e a disponibilização de laboratórios estruturados para ensino e pesquisa aplicada. Tais mecanismos permitem acompanhar a difusão dos conteúdos trabalhados, bem como a incorporação de práticas de eficiência energética nos câmpus da Rede Federal.

Diante da relevância estratégica do tema, recomenda-se, após término do projeto, a institucionalização de um sistema de avaliação contínua, capaz de consolidar indicadores quantitativos e qualitativos. Entre os potenciais indicadores destacam-se:

- número de cursos, disciplinas e projetos de extensão implementados em decorrência da formação;
- grau de utilização pedagógica e técnica dos laboratórios implantados;
- estimativas de redução do consumo energético nas instituições participantes (monitoradas pelo PGEN);
- alcance das práticas de eficiência energética junto à comunidade acadêmica e às redes de ensino locais.

Portanto, embora ainda não exista um conjunto de indicadores permanentes formalmente estabelecido, o Projeto EnergIF dispõe de bases sólidas para a construção desse modelo avaliativo. A adoção de métricas consistentes permitirá não apenas verificar a sustentabilidade dos resultados já obtidos, mas também

dimensionar o papel da educação tecnológica como vetor estruturante das políticas nacionais de eficiência energética.

2. O artigo fala de mudança cultural, considerando o ambiente acadêmico, na sua opinião, porque os servidores e alunos não tinham a consciência do uso eficiente da energia? Foi realizada alguma pesquisa para subsidiar a resposta a esta questão?

A discussão acerca da mudança cultural em eficiência energética no ambiente acadêmico parte do pressuposto de que tanto servidores quanto estudantes, historicamente, não dispunham de uma formação sistemática que integrasse práticas de uso racional da energia ao cotidiano institucional. Essa lacuna decorre de fatores estruturais, tais como:

1. Ausência de conteúdos curriculares consolidados voltados à eficiência energética, seja na educação básica, seja no ensino técnico e superior, o que limita a sensibilização desde as etapas iniciais de formação;
2. Baixa visibilidade do tema no debate público e institucional, em comparação a outras agendas ambientais mais amplamente discutidas, como reciclagem ou mudanças climáticas;
3. Predominância de uma cultura de abundância energética no Brasil, marcada historicamente pela forte matriz hidrelétrica, que contribuiu para a percepção de que a energia seria um recurso praticamente inesgotável;
4. Carência de políticas institucionais de monitoramento e gestão energética, o que dificultava a associação entre comportamento individual, custos institucionais e impactos ambientais.

No âmbito do Projeto EnergIF, não foi realizada, até o momento, uma pesquisa sistemática de linha de base destinada a mapear a percepção de servidores e estudantes antes da implementação das ações. Entretanto, os resultados obtidos nos cursos, bem como os relatos dos participantes, indicam a existência de lacunas significativas de conscientização e de práticas pedagógicas relacionadas à eficiência energética.

Esse cenário reforça a importância de iniciativas formativas como o EnergIF, que não apenas transmitem conhecimentos técnicos, mas também têm potencial de transformar a cultura institucional, estimulando comportamentos mais conscientes e a integração do tema nos currículos, nos projetos de extensão e na gestão dos câmpus.

3. Como o EnergIF tem integrado os resultados obtidos com as políticas nacionais de educação e eficiência energética em termos institucionais e regulatórios?

O Projeto EnergIF apresenta uma integração estratégica com as políticas nacionais de educação e de eficiência energética, tanto no plano institucional quanto regulatório. No campo educacional, suas ações estão alinhadas às diretrizes do Plano Nacional de Educação (PNE) e, de forma mais específica, ao Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que estabelece como prioridade a formação de recursos humanos e a promoção de uma mudança cultural em relação ao uso da energia.

Além disso, o EnergIF faz articulação com outras políticas, tais como o PNLD e a BNCC, uma vez que os materiais didáticos produzidos (que trabalham temáticas específicas como Eficiência Energética em Edificações, Eficiência Energética na Indústria, Biogás/Biometano, Biocombustíveis, Eletromobilidade, Energia

Fotovoltaica, Energia Eólica) dialogam com a Base Nacional Comum Curricular e com as Diretrizes Nacionais Curriculares, fortalecendo questões voltadas à sustentabilidade e à formação cidadã integral. Outra integração constante do EnergIF acontece com as políticas educacionais da Educação Profissional e Tecnológica (EPT) e do Programa Nacional de Integração da Educação profissional com a Educação Básica na Modalidade de Educação de Jovens e Adultos (PROEJA), uma vez que oferta cursos aplicados diretamente para a formação técnica em áreas diversificadas.

Ao capacitar servidores da Rede Federal Educação Profissional, Científica e Tecnológica (RFEPCT) como multiplicadores, o EnergIF contribui para a internalização dessas diretrizes nos currículos e práticas pedagógicas, promovendo a transversalidade da sustentabilidade nos processos formativos, além de garantir que os institutos se mantenham atualizados tecnologicamente em consonâncias com as políticas nacionais.

Do ponto de vista regulatório, o Projeto ancora-se no marco estabelecido pela Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (Lei n.º 10.295/2001) e encontra suporte institucional no Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). A parceria com a ENBPar e a interveniência da FEESC conferem legitimidade administrativa e financeira às suas ações, garantindo aderência às normas de fomento público e ampliando a capacidade de replicação das iniciativas.

Institucionalmente, o EnergIF fortalece a papel da Rede Federal como agente de inovação e transformação social, criando condições para que os Institutos Federais incorporem a eficiência energética como eixo estruturante de sua atuação em ensino, pesquisa e extensão. Ao exigir contrapartidas das instituições participantes — como a criação de novos cursos, disciplinas ou qualificações profissionais —, o Projeto assegura que seus resultados não permaneçam circunscritos às capacitações pontuais, mas se traduzam em políticas institucionais permanentes com potencial de induzir mudanças de médio e longo prazo.

Nesse sentido, o EnergIF atua como um elo entre as políticas nacionais e a prática institucional, contribuindo para consolidar a eficiência energética não apenas como tema técnico, mas como dimensão estruturante da educação tecnológica e da agenda de sustentabilidade no Brasil.

Título - Levantamento do Panorama Atual dos Sistemas de Iluminação Pública no Brasil: Estudo de Caso dos Municípios Abrangidos pelo Procel Reluz

Entidade(s) - Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A.

Autor(es) - Leonardo Gaspar Barreto, Letícia Costa Nascimento

Resumo

Os Sistemas de Iluminação Pública, utilizados para iluminar as cidades, vias, passeios, praças e demais espaços públicos possuem um papel fundamental para a qualidade de vida da população em centros urbanos, já que interferem diretamente na garantia da segurança, acesso e ocupação de espaços públicos em períodos noturnos.

Os parques de iluminação pública brasileiros apresentam características distintas e muitas vezes precárias, sendo esse um reflexo de fatores como desigualdades regionais, dificuldade de acesso a recursos e financiamentos, falta de capacidade técnica e administrativa na gestão dos municípios, entre outros.

O Procel Reluz, um dos principais programas de eficiência energética no âmbito da iluminação pública do Brasil, atua de maneira relevante na promoção da eficiência associada a qualidade da iluminação. Promove a substituição de luminárias convencionais pela tecnologia LED, maximizando a eficiência energética e atribuindo níveis de iluminação compatíveis com as vias.

Ao acompanhar o desenvolvimento da implementação dos projetos do Procel Reluz, observou-se que grande parte dos parques de iluminação antigos não atendiam os índices mínimos de qualidade da iluminação, devido ao mau dimensionamento dos sistemas.

Nesse contexto, esse estudo faz a avaliação do panorama atual dos sistemas de iluminação pública em municípios abrangidos pela Chamada Pública do Procel Reluz, avaliando os resultados alcançados a partir da comparação entre os sistemas antigos passíveis de ajustes de linha de base.

O objetivo central desse estudo é mapear e apresentar dados relevantes que poderão subsidiar a formulação de políticas públicas mais efetivas para a iluminação pública, fornecendo insumos para gestores públicos. A análise detalhada dos dados coletados permite a identificação de boas práticas, lacunas e potenciais para aprimoramento, contribuindo para a implementação de sistemas de iluminação mais eficientes, seguros e alinhados às exigências da NBR 5101.

Perguntas e Respostas

1. Os dados obtidos no estudo influenciaram as decisões da 4ª Chamada Pública do Procel Reluz? Houve a integração de critérios sociais e técnicos simultaneamente?

2. Dado que a economia de energia real foi inferior à virtual em muitos municípios, quais estratégias podem ser adotadas para minimizar essa discrepância na projeção de consumo?

3. Foi identificada boas práticas em algum município específico que possam ser replicadas como modelo de gestão da iluminação pública para municípios de características semelhantes??

1. Os dados obtidos no estudo influenciaram as decisões da 4ª Chamada Pública do Procel Reluz? Houve a integração de critérios sociais e técnicos simultaneamente?

Sim. Durante o processo de elaboração da 4ª CP do Procel Reluz, foram utilizados dados coletados com participantes da chamada em andamento e resultados desse estudo. A percepção, comprovada pelo "Levantamento do Panorama Atual dos Sistemas de Iluminação Pública no Brasil", de que municípios de pequeno e médio porte carecem de corpo técnico para atuar na gestão e manutenção dos sistemas de iluminação pública foi fundamental para ajustar as regras e critérios de pontuação. Dessa forma, foi incluído por exemplo um critério inovador pontuando municípios com os menores PIBs per capita. Além desse novo critério, outros indicadores foram ajustados para permitir que pequeno municípios realizem a adequação do sistema atual ao requisitos da norma NBR 5101:2024.

2. Dado que a economia de energia real foi inferior à virtual em muitos municípios, quais estratégias podem ser adotadas para minimizar essa discrepância na projeção de consumo?

A diferença entre o consumo projetado (virtual) e o real reflete, em grande parte, inadequações dos sistemas de iluminação pública existentes antes do retrofit. A aplicação do cálculo de economia de energia com ajuste da linha de base demonstra que, entre os sistemas com dimensionamento incorreto, predomina o subdimensionamento.

Durante a execução da medição e verificação (M&V), conforme protocolo internacional, esses ajustes de linha de base são essenciais para que a comparação entre os cenários — anterior e posterior à modernização — atenda à premissa fundamental de conformidade com os índices estabelecidos pela NBR 5101:2024.

Entretanto, enquanto persistir a carência de profissionais capacitados nos municípios, essa discrepância tende a se repetir. Por isso, é crucial investir na formação de técnicos e engenheiros locais, capazes de especificar e licitar adequadamente equipamentos e serviços, além de fortalecer a fiscalização e a manutenção dos sistemas. Essas medidas contribuem para reduzir as inadequações de projeto e, conseqüentemente, a diferença entre a economia de energia prevista e a efetivamente alcançada.

3. Foi identificado boas práticas em algum município específico que possam ser replicadas como modelo de gestão da iluminação pública para municípios de características semelhantes??

Foram identificadas boas práticas em municípios que dispõem de corpo técnico especializado em iluminação pública, capaz de elaborar projetos, especificar equipamentos e conduzir licitações alinhadas às melhores práticas do setor. Esses municípios demonstraram maior adequação e desempenho dos sistemas após a modernização.

Outro exemplo positivo vem de localidades que adotam o modelo de consórcios intermunicipais para administração e manutenção da iluminação pública. Essa abordagem permite avaliação centralizada e mais criteriosa, com participação de profissionais especializados, resultando em maior padronização, eficiência na contratação de serviços e otimização de custos.

Essas experiências evidenciam que capacitação técnica e gestão consorciada são estratégias replicáveis para municípios com características semelhantes, servindo como modelo de governança e sustentabilidade para a iluminação pública.

Título - Efeitos Comportamentais e Benefícios da Iluminação Pública Eficiente em Pequenos e Médios Municípios: Uma Análise do Programa Procel Reluz

Entidade(s) - Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A.

Autor(es) - Letícia Costa Nascimento, Alexandre de Sousa Rodrigues dos Reis, Leonardo Gaspar Barreto, Débora Gaspar Magalhães

Resumo

Este artigo investiga os impactos da iluminação pública eficiente no comportamento da população. A partir da análise de dados obtidos em projetos de efficientização desenvolvidos no âmbito do programa Procel Reluz, foi avaliado como a iluminação eficiente e moderna contribui para a melhoria da qualidade de vida e a

sustentabilidade em pequenos e médios municípios, além de impulsionar a transição energética no país por meio de práticas de eficiência energética.

A metodologia inclui a avaliação de dados obtidos em projetos desenvolvidos a partir da Chamada Pública do Procel Reluz e em pesquisas realizadas junto à população de municípios contemplados, onde foram coletadas informações sobre o impacto da iluminação pública em aspectos como atividades noturnas, segurança e lazer.

Foram obtidos resultados proeminentes, com relatos de melhorias na qualidade da iluminação, na sensação segurança e no aumento do uso dos espaços públicos à noite, com foco em atividades de lazer ao ar livre, incentivando a convivência social.

Além disso, foi observada uma redução significativa no consumo de energia, variando de 23% a 66%, o que contribui para a sustentabilidade econômica dos municípios e permite a realocação de recursos para áreas prioritárias como saúde e educação.

A implementação de iluminação eficiente tem efeitos positivos na segurança, no desenvolvimento de cidades sustentáveis e na qualidade de vida dos cidadãos. A iniciativa também contribui para a transição energética, tornando os municípios mais resilientes e promovendo a criação de espaços públicos inclusivos e seguros. A análise propõe o fortalecimento de políticas públicas para garantir o acesso da iluminação de qualidade nos municípios brasileiros.

Perguntas e Respostas

- 1. Como os autores analisam o tamanho da amostra em relação à diversidade socioeconômica e cultural dos 5.570 municípios brasileiros?**
- 2. Foram relatados efeitos de curto prazo no comportamento dos cidadãos, como os autores analisam a permanência dos efeitos comportamentais relatados em médio e longo prazo? Há alguma intenção de monitoramento dos municípios beneficiados?**
- 3. Dado que o LED representa apenas 19,6% da iluminação pública nacional, quais seriam as principais barreiras (técnicas, financeiras ou regulatórias) identificadas para acelerar a universalização dessa tecnologia?**

1. Como os autores analisam o tamanho da amostra em relação à diversidade socioeconômica e cultural dos 5.570 municípios brasileiros?

A amostra é significativa, dentro das possibilidades de municípios abrangidos pela Chamada Pública do Procel Reluz, considerando que foram coletadas informações em 25 municípios distribuídos em 06 estados brasileiros.

Reconhecemos que o Brasil possui 5.570 municípios com ampla diversidade socioeconômica, cultural, administrativa e de níveis de desenvolvimento urbano, o que impõe desafios à obtenção de uma amostra totalmente representativa dessa heterogeneidade. Assim, consideramos que os dados obtidos permitem a identificação de tendências relevantes e consistentes sobre os efeitos da modernização da iluminação pública. Entretanto, não dispensamos a possibilidade de aumentar a abrangência em estudos futuros, com maior cobertura geográfica e diversidade de perfis municipais, para aprofundar e consolidar as conclusões apresentadas.

2. Foram relatados efeitos de curto prazo no comportamento dos cidadãos, como os autores analisam a permanência dos efeitos comportamentais relatados em médio e longo prazo? Há alguma intenção de monitoramento dos municípios beneficiados?

Os efeitos observados foram analisados como de curto prazo, e ainda não é possível afirmar sua permanência em médio e longo prazo. Entretanto espera-se que, uma vez ocupados os espaços e mantida a qualidade da iluminação, o comportamento se consolide e os espaços permaneçam seguros e utilizados pela população. Há intenção de realizar novas coletas para avaliar a evolução desses impactos e, como forma de manutenção do monitoramento, a próxima chamada do programa prevê o comprometimento dos municípios selecionados em contribuir com dados e participar de futuras pesquisas.

3. Dado que o LED representa apenas 19,6% da iluminação pública nacional, quais seriam as principais barreiras (técnicas, financeiras ou regulatórias) identificadas para acelerar a universalização dessa tecnologia?

Apesar dos benefícios comprovados, a baixa penetração do LED está associada principalmente a barreiras financeiras e institucionais. Muitos municípios de pequeno e médio porte enfrentam limitações orçamentárias e dificuldade de acesso a financiamento, além de falta de capacidade técnica local para estruturar projetos de modernização da iluminação pública.

Por isso, o artigo destaca a importância de políticas públicas de apoio, como as Chamadas Públicas do Procel Reluz, que oferecem financiamento a fundo perdido e suporte técnico, viabilizando o acesso à tecnologia LED e ajudando a superar essas barreiras.

Título - Eficiência Operacional em PPPs de Iluminação Pública: Avaliação sob o Viés MCDA-C

Entidade(s) - ENGIE SOLUCOES DE ILUMINACAO PUBLICA LTDA, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC, SADENCO ENGENHARIA

Autor(es) - Bruna Américo Trento, Everthon Taghori Sica, Guido Oliveira Santana dos Santos

Resumo

O presente trabalho apresenta uma proposta de modelo multicritério construtivista para a avaliação da eficiência operacional em Parcerias Público-Privadas (PPPs) no setor de iluminação pública. Apesar do avanço da consolidação das PPPs como um modelo viável para a modernização e gestão do parque de iluminação, ainda persistem desafios relacionados à mensuração do desempenho das atividades de Operação e Manutenção (O&M). O estudo tem como ponto de partida a identificação dos atores envolvidos na tomada de decisão estratégica e, posterior definição dos pontos de vistas e estruturação de critérios, fundamentada na troca de experiências técnicas e em revisão bibliográfica. A estrutura proposta organiza o modelo a partir de uma ramificação principal, tendo como eixo central a eficiência operacional, definida pela relação entre recurso e demanda como pontos de vistas que são elaborados até critérios passíveis de mensuração. Para esta abordagem construtivista sob um modelo multicritério de construção, considera-se a definição de critérios de interesse para todas as partes (stakeholders e intervenientes) sob a

visão da gestão que define as perspectivas que são usadas na identificação de desvios de performance e amparo da tomada de decisão.

Perguntas e Respostas

- 1. Como o modelo proposto lida com a variação da maturidade dos contratos de PPPs ao longo do tempo, considerando que critérios de desempenho podem ter pesos diferentes nas fases iniciais e avançadas da concessão, já que a eficiência operacional em PPPs tende a mudar com o tempo? Qual foi o critério mais sensível na avaliação de eficiência operacional nas PPPs?**
- 2. O modelo multicritério proposto já foi aplicado em algum município ou projeto real de PPP de iluminação pública? Em caso afirmativo, quais foram os principais desafios enfrentados e ajustes necessários na estrutura dos critérios?**
- 3. Como o modelo lida com possíveis divergências entre os pontos de vista dos stakeholders (como concessionárias, gestores públicos e usuários finais), especialmente quando há conflitos entre eficiência econômica e qualidade percebida dos serviços?**

- 1. Como o modelo proposto lida com a variação da maturidade dos contratos de PPPs ao longo do tempo, considerando que critérios de desempenho podem ter pesos diferentes nas fases iniciais e avançadas da concessão, já que a eficiência operacional em PPPs tende a mudar com o tempo? Qual foi o critério mais sensível na avaliação de eficiência operacional nas PPPs?**

No artigo é proposta a estruturação de um modelo multicriterial em forma de árvore de decisão com a definição dos Pontos de Vista Fundamentais, Pontos de Vista Elementares e dos critérios. Os trade-offs (pesos) e funções de valor econômico estão previstos para uma próxima etapa. Os critérios, assim como a estrutura, permanecem, após consolidados entre os stakeholders, durante o período de tempo das PPPs. Contudo, os trade-offs podem ser alterados conforme o estágio de maturidade, ou seja, o modelo poderá responder a avaliação para diferentes estágios de maturidade. Assim, poderá fornecer um “espelho” de desempenho em cada maturidade pré-definida. Apesar da estrutura multicritérial ser estática, os trade-offs e os parâmetros que definem as funções de valor podem ser alteradas dependendo da maturidade da operação.

Cabe procedimento interno da organização para revisão do modelo (critérios e funções de valor) que não é estático.

O critério “Taxa de Atendimentos no Prazo” é, possivelmente, o critério de maior impacto pois influencia o desempenho e a remuneração.

- 2. O modelo multicritério proposto já foi aplicado em algum município ou projeto real de PPP de iluminação pública? Em caso afirmativo, quais foram os principais desafios enfrentados e ajustes necessários na estrutura dos critérios?**

Ainda estamos em etapa de aplicação do modelo em um contrato de PPP, assim como da estruturação do processo multicriterial, da formação dos profissionais e da implementação de cultura.

- 3. Como o modelo lida com possíveis divergências entre os pontos de vista dos stakeholders (como concessionárias, gestores públicos e usuários finais),**

especialmente quando há conflitos entre eficiência econômica e qualidade percebida dos serviços?

A metodologia e as técnicas multicriteriais surgiram, justamente, para trabalhar com essas divergências, assim como diferentes valorações (trade-offs) de cada critério e pontos de vistas, e distintas possibilidades de acesso ao capital por cada agente afetado pelo processo decisório e suas consequências. O modelo é uma evolução do processo Delphi decisório como uma forma de mapear e criar um histórico do processo decisório redirecionando a busca por consenso para valores numéricos (trade-offs e funções de valor). O modelo deve estar minimamente aderente com o contrato e demais obrigações da concessão. Após, prioriza-se os objetivos empresariais da concessionária.

As taxas mínimas dos modelos devem coincidir com os indicadores/exigências contratuais, mas a quantidade de recurso empregado não pode ser sobre dimensionado em relação a demanda de modo a configurar prejuízo a concessionária.

Título - Estudo de caso de 25 anos do PROGRAMA PROCEL RELUZ - o maior programa de iluminação pública eficiente do Brasil

Entidade(s) - Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional S.A.

Autor(es) - Alexandre de Sousa Rodrigues dos Reis

Resumo

Criado em 2000, o Procel Reluz é um dos principais programas de eficiência energética no âmbito da iluminação pública do País. Tem como objetivo principal substituir as luminárias convencionais pela tecnologia LED, um sistema mais eficiente e durável.

Essas substituições são baseadas no conceito de maximizar a eficiência energética, atribuindo níveis de iluminância compatíveis com as vias, e de acordo com os índices estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras de iluminação pública. Além disso, todos os projetos realizados englobam a modernização dos sistemas de iluminação pública em todos os seus aspectos técnicos e equipamentos que os compõem, que vão de lâmpadas a pequenos acessórios de fixação.

Ao longo de 24 anos, o programa efficientizou mais de 3,5 milhões de pontos de iluminação pública e beneficiou mais de 1.500 municípios brasileiros, trazendo benefícios ao ambiente urbano, tais como economia de energia, redução de gastos públicos, sustentabilidade e, principalmente, qualidade de vida para a população, que pode contar com uma melhoria na segurança pública e com mais horas de lazer à noite nas ruas e praças.

As parcerias estabelecidas com as administrações locais permitem aos municípios diminuir despesas com o consumo de energia elétrica e a cidade conta com vias públicas mais iluminadas e seguras.

A essência dos projetos fomentados pelo Procel Reluz vai além da simples substituição de materiais convencionais, utilizados atualmente na iluminação pública de muitas cidades brasileiras, por tecnologias mais novas e eficiente. O programa também visa a promover capacitação técnica de servidores, consultores e todos os demais agentes envolvidos com o projeto. A ideia é qualificá-los para que realizem uma gestão eficiente do parque de iluminação pública municipal.

Perguntas e Respostas

- 1. Como o Procel Reluz está preparando os municípios para a operação e manutenção sustentável das novas tecnologias LED ao fim da vida útil dos equipamentos, especialmente nas cidades com menor capacidade técnica e orçamentária?**
- 2. Existe alguma avaliação sistemática e publicada sobre os impactos sociais do programa, incluindo redução de criminalidade ou aumento de uso de espaços públicos, que possa ser correlacionada diretamente com os projetos do Procel Reluz?**
- 3. Dada a escalabilidade e abrangência do Procel Reluz, quais são as maiores barreiras técnicas, financeiras ou regulatórias enfrentadas atualmente para aumentar a iluminação pública LED no país?**

- 1. Como o Procel Reluz está preparando os municípios para a operação e manutenção sustentável das novas tecnologias LED ao fim da vida útil dos equipamentos, especialmente nas cidades com menor capacidade técnica e orçamentária?**

O Procel Reluz adota uma abordagem estratégica para preparar os municípios, especialmente os com menor capacidade técnica e orçamentária, para a operação e manutenção sustentável dos equipamentos adquiridos, especialmente as luminárias com tecnologias LED. A substituição por LED está sendo feita com equipamentos de alto desempenho e custo reduzido, abaixo do valor de mercado. Os equipamentos possuem o Selo Procel de Economia de Energia, que garante qualidade e confiabilidade aos produtos. Por fim, a equipe técnica do Procel auxilia os Municípios com Termos de Referência e Especificação Técnica dos equipamentos adquiridos, oferecendo suporte técnico para elaboração e implementação dos projetos.

- 2. Existe alguma avaliação sistemática e publicada sobre os impactos sociais do programa, incluindo redução de criminalidade ou aumento de uso de espaços públicos, que possa ser correlacionada diretamente com os projetos do Procel Reluz?**

Sim, há relatos de impactos sociais positivos associados ao Procel Reluz, embora ainda não exista uma avaliação sistemática e publicada que correlacione diretamente todos esses efeitos com os projetos do programa em escala nacional. Um caso específico foi relatado por um batalhão da Polícia Militar, que observou redução nos índices de criminalidade, roubo e furto após a substituição da iluminação pública convencional por tecnologia LED em determinadas áreas. Esse tipo de relato reforça a hipótese de que melhor iluminação pública contribui para maior segurança urbana, embora ainda careça de estudos sistemáticos com metodologia estatística robusta. A substituição por LED aumenta os níveis de iluminância em ruas, praças e avenidas, o que promove maior sensação de segurança e pode estimular o uso noturno de espaços públicos. Esse efeito é especialmente relevante em áreas urbanas com histórico de baixa ocupação noturna por questões de segurança.

- 3. Dada a escalabilidade e abrangência do Procel Reluz, quais são as maiores barreiras técnicas, financeiras ou regulatórias enfrentadas atualmente para aumentar a iluminação pública LED no país?**

Apesar dos avanços significativos do Procel Reluz na modernização da iluminação pública com tecnologia LED, ainda existem barreiras importantes que dificultam a

ampliação dessa iniciativa em escala nacional. Do ponto de vista técnico, muitos municípios enfrentam limitações na capacidade de elaborar, implementar e manter sistemas modernos de iluminação, especialmente quando envolvem tecnologias mais avançadas como telegestão ou sensores inteligentes. A falta de padronização entre equipamentos e fornecedores também complica a manutenção e a interoperabilidade dos sistemas ao longo do tempo.

Financeiramente, embora o programa ofereça recursos não reembolsáveis, muitos municípios têm dificuldades em cumprir exigências de contrapartida, manter os sistemas após a instalação ou expandi-los.

No campo regulatório, há entraves burocráticos para o acesso aos recursos federais, especialmente por parte de municípios com menor estrutura administrativa. A ausência de regulamentações específicas sobre tecnologias inteligentes e indicadores de eficiência energética dificulta a adoção de soluções mais modernas. Além disso, nem todos os municípios possuem políticas públicas locais alinhadas com os objetivos do Procel, o que limita a integração entre as esferas federal e municipal.

Título - Metodologia do indicador ODEX para monitoramento da eficiência energética no Brasil

Entidade(s) - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA

Autor(es) - Patricia Messer Rosenblum, Flávio Raposo de Almeida, Glaucio Vinicius Ramalho Faria

Resumo

A eficiência energética fornece diversos benefícios como redução do desperdício de energia e das emissões de gases de efeito estufa. Porém, como não é possível medi-la diretamente, são empregados indicadores para monitorar o seu progresso, avaliar a economia de energia associada às medidas de eficiência e orientar as políticas públicas nesse tema. Uma opção de indicador é a intensidade energética, calculada como a razão entre energia e variáveis monetárias como produto interno bruto (PIB) ou valor adicionado (VA). Embora este seja um dos indicadores mais utilizados, ele possui limitações relevantes, sobretudo pela influência de diversos efeitos não associados à eficiência energética propriamente dita.

Uma abordagem alternativa é o uso de um indicador agregado, tal como o ODEX, índice de eficiência energética desenvolvido para o programa europeu ODSYSSEE-MURE e utilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para monitorar a eficiência energética no Brasil. Trata-se de um indicador que busca isolar os efeitos de mudanças na estrutura econômica de um país, além de permitir agregar tendências expressas em diferentes unidades de medida. Para tal, o ODEX é composto pelo índice de variação dos melhores indicadores de consumo específico disponíveis, ponderado pelo peso de cada subsetor/equipamento/serviço energético/modo de transporte no consumo energético de cada ano.

Os três setores monitorados no Brasil são indústria, transportes e residências. Dessa forma, o ODEX brasileiro é representado pela média do ODEX de cada um destes setores, ponderada pelas suas respectivas participações no consumo final de energia. De acordo com os resultados da última versão do Atlas da Eficiência Energética, de 2005 a 2023 foi apurado um ganho de 11,2% de eficiência energética, resultado de décadas de investimentos público e privados. Este artigo busca detalhar a metodologia do ODEX Brasil, identificando as vantagens e

limitações do uso de um indicador baseado em índices, além de apresentar os resultados mais recentes deste indicador apurados pela EPE.

Perguntas e Respostas

1. Como a metodologia pode ser integrada às metas de eficiência energética previstas no Plano Nacional de Energia (PNE)?

2. Há planos para desagregar ainda mais os dados, permitindo análises em nível estadual ou municipal? Ou dos programas nacionais como os da ANEEL e Procel?

3. Quais seriam os próximos passos para institucionalizar o uso do ODEX como ferramenta oficial de monitoramento no Brasil? Quais os impactos desta iniciativa nas metas dos Programas e Ações de eficiência energética nos diversos ministérios como MME, MCidades entre outros?

1. Como a metodologia pode ser integrada às metas de eficiência energética previstas no Plano Nacional de Energia (PNE)?

A metodologia do ODEX pode ser utilizada tanto para avaliar ganhos históricos quanto em cenários futuros. Para isso, pondera diferentes índices que melhor representem a eficiência energética, em função dos dados disponíveis. Cabe ressaltar que o ODEX Brasil avalia ganhos de eficiência total, e não eficiência elétrica.

2. Há planos para desagregar ainda mais os dados, permitindo análises em nível estadual ou municipal? Ou dos programas nacionais como os da ANEEL e Procel?

Pelo lado da EPE, no momento, não há planos para desagregação dos dados a nível estadual ou municipal. No entanto, para que isto seja possível, a coleta de dados das variáveis que constituem o cálculo dos indicadores de cada setor deveria ser desagregada a estes níveis e compatibilizada com o total nacional apurado atualmente no Balanço Energético Nacional e nos modelos setoriais.

Porém, a metodologia de cálculo é genérica o suficiente para que possa ser testada com dados mais desagregados, sendo a obtenção destes dados ou a modelagem dos mesmos a tarefa mais difícil.

Com relação aos programas da ANEEL e Procel, cabe ressaltar que o ODEX busca agregar a trajetória de diferentes índices, e não é capaz de, por si só, estimar os ganhos desses programas. Com a estimativa dos ganhos feita de forma separada, há a possibilidade de se valer desses dados a fim de incrementar o indicador ou refinar parâmetros de cálculo utilizados no mesmo.

3. Quais seriam os próximos passos para institucionalizar o uso do ODEX como ferramenta oficial de monitoramento no Brasil? Quais os impactos desta iniciativa nas metas dos Programas e Ações de eficiência energética nos diversos ministérios como MME, MCidades entre outros?

O ODEX Brasil já consta como indicador para o monitoramento do objetivo de promover eficiência energética no Planejamento Estratégico Participativo 2024-2027 do Ministério de Minas e Energia (MME), e a meta para este indicador foi

estabelecida em 91,8 no referido período.

A medição do ODEX Brasil é realizada a posteriori e destina-se à identificação de tendências de médio e longo prazo, de forma que alterações pontuais ou de curto prazo são dificilmente perceptíveis por essa metodologia. A apuração do ODEX Brasil se baseia nos resultados da implementação de ações e programas que apresentam reflexo nos dados coletados no Balanço Energético Nacional e nos modelos setoriais da EPE. Portanto, espera-se que o reflexo de medidas de eficiência dos diversos ministérios leve à evolução da eficiência energética no longo prazo verificada pelo indicador.

O ODEX não impacta nas métricas específicas que avaliam cada programa.

Título - Uso da Inteligência Artificial como Estratégia no Gerenciamento de Energia

Entidade(s) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Universidade Federal de Minas Gerais

Autor(es) - Hudson Bonifácio dos Santos, Sidelmo Magalhães Silva

Resumo

A eficiência energética é um tema recorrente em discussões em âmbito mundial, sendo considerada como um importante recurso para alcançar as metas de sustentabilidade e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A crescente demanda por eficiência energética tem impulsionado as empresas a buscarem soluções inovadoras para otimizar seus processos e reduzir seus custos operacionais. A Inteligência Artificial (IA) vem revolucionando a forma como a energia pode e deve ser consumida, contribuindo para se alcançar a eficiência energética. O estudo foi desenvolvido no ambiente da Microsoft Power Automate e A.I. Builder, a partir de uma automação para tratamentos das faturas, logo após um modelo de IA foi criado para fazer a captura e análise dos dados. Utilizaram-se dados reais de um consumidor e concessionária de um estado brasileiro. No entanto, a metodologia pode ser replicada por qualquer distribuidora. O desenvolvimento abordou aspectos técnicos detalhados sobre as faturas de energia elétrica, permitindo que o sistema funcione de forma eficaz e precisa. A importância desta ferramenta é evidente, pois ela proporciona um suporte significativo no processo de tomada de decisão sobre estratégias para o uso inteligente da energia elétrica por parte das empresas. Em resumo, a implementação desta tecnologia não só otimiza a análise tarifária e a gestão da energia, mas também contribui para a criação de estratégias mais eficientes e sustentáveis, alinhadas com as metas globais de sustentabilidade e eficiência energética.

Perguntas e Respostas

- **Quais são as limitações atuais do sistema em relação a variações nos layouts das faturas?**
- **Existe plano de ampliar a ferramenta para integrar dados em tempo real via IoT?**
- **A ferramenta já foi testada em ambientes com múltiplas unidades consumidoras?**

1. Quais são as limitações atuais do sistema em relação a variações nos layouts das faturas?

2. Existe plano de ampliar a ferramenta para integrar dados em tempo real via IoT?

3. O artigo mostra uma comparação com o trabalho de especialistas, existe alguma comparação com ferramentas computacionais que não usam IA?

1. Quais são as limitações atuais do sistema em relação a variações nos layouts das faturas?

2. Existe plano de ampliar a ferramenta para integrar dados em tempo real via IoT?

3. O artigo mostra uma comparação com o trabalho de especialistas, existe alguma comparação com ferramentas computacionais que não usam IA?

Título - Inteligência Artificial para Monitoramento da Qualidade do Combustível em Usinas Termelétricas

Entidade(s) - RADIX ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE S/A, CENTRAIS ELETRICAS DA PARAIBA S.A.

Autor(es) - KLEYTON PONTES COTTA, Angelo Marcelino Cordeiro, Bruno Deon, Gabriela Teixeira Justino, Gabriela Carvalho Freitas, Hugo Reiser Vieira Portuita, Tassio Simioni, Camilla Barros Batista, Alex Moretti de Moraes, Rodrigo José Silva de Almeida

Resumo

A confiabilidade, o desempenho e a disponibilidade das máquinas geradoras em usinas termelétricas são fundamentais para otimizar a eficiência energética e atender à demanda do setor elétrico. Além da gestão operacional e de manutenção, a qualidade do combustível é um fator crítico que afeta diretamente a performance da geração. A falta de informações em tempo real sobre as propriedades do combustível pode resultar em diagnósticos imprecisos e prejuízos operacionais. Este estudo apresenta uma solução inovadora baseada em inteligência artificial para monitoramento da qualidade do combustível em tempo real, aprimorando o suporte à tomada de decisão. Desenvolvido no âmbito de um projeto de P&D regulado pela ANEEL, o trabalho envolve duas usinas termelétricas. O principal desafio é a variabilidade das características físico-químicas dos lotes de combustível, que impactam diretamente o consumo específico e a eficiência da geração. Atualmente, a análise do combustível é realizada em laboratório, com um atraso de aproximadamente 5 dias entre a coleta e a obtenção dos resultados, podendo causar falhas operacionais devido à incompatibilidade das propriedades do combustível com os parâmetros de operação. Para solucionar essa questão, foi definido um índice de qualidade do combustível baseado em variáveis como temperatura, densidade e viscosidade. Esse índice permite estimar o consumo específico para os próximos dias, oferecendo à operação uma previsão da performance da geração com base nas características do combustível.

Perguntas e Respostas

- **O modelo pode ser adaptado a diferentes tipos de combustível?**
- **Como a IA lida com variações abruptas nas características do combustível?**
- **Há planos de aplicar o sistema em outras usinas com diferentes tecnologias?**

1. O índice de qualidade do combustível foi validado com operadores em tempo real? Houve alinhamento com a percepção prática dos operadores?

2. Como a IA lida com variações abruptas nas características do combustível? Há intenção de incluir parâmetros adicionais (como poder calorífico ou teor de enxofre) para aprimorar o índice?

3. Qual a principal barreira para replicação da metodologia em outras usinas térmicas com diferentes perfis de combustível?

1. O índice de qualidade do combustível foi validado com operadores em tempo real? Houve alinhamento com a percepção prática dos operadores?

O índice de qualidade do combustível foi construído a partir de dados históricos e conhecimento especializado, especialmente considerando eventos de falha (como quebras de centrífugas) e a expertise dos operadores na rotulagem das condições de “combustível ruim”. Ou seja, houve alinhamento com a percepção prática dos operadores, já que as regras de rotulagem foram fundamentadas diretamente em situações operacionais reais. Além disso, o índice foi integrado ao sistema supervisor da usina, permitindo visualização em tempo real e emissão de alertas, o que garante uma validação prática contínua na operação.

2. Como a IA lida com variações abruptas nas características do combustível? Há intenção de incluir parâmetros adicionais (como poder calorífico ou teor de enxofre) para aprimorar o índice?

O sistema de IA emprega algoritmos robustos de classificação (Gradient Boosting, Random Forest, KNN e MLP) e aplica técnicas de suavização (raiz cúbica e média móvel de 1 hora) para reduzir o impacto de ruídos e variações abruptas nas características físico-químicas do combustível. Assim, consegue reagir rapidamente a mudanças sem comprometer a estabilidade do índice.

Quanto à inclusão de parâmetros adicionais, o trabalho já reconhece que outras propriedades laboratoriais (como poder calorífico, CCAI, teor de água e rendimento térmico) são relevantes, mas atualmente são apenas exibidas para comparação histórica. Embora ainda não tenham sido incorporadas diretamente ao cálculo do índice em tempo real, o artigo abre espaço para futuras evoluções, e a inclusão de variáveis como poder calorífico ou teor de enxofre é tecnicamente viável e recomendada para refinar o modelo e aumentar a robustez da previsão.

3. Qual a principal barreira para replicação da metodologia em outras usinas térmicas com diferentes perfis de combustível?

A principal barreira para replicação está na heterogeneidade dos perfis de combustível entre diferentes usinas térmicas. Cada usina pode operar com combustíveis de composições físico-químicas distintas, com diferentes faixas de

densidade, viscosidade, aditivos ou origem (óleo pesado, diesel, biomassa, etc.). Isso impacta diretamente a forma de caracterizar a “qualidade” e exige uma nova etapa de calibração do modelo de IA em cada contexto.

Além disso, fatores como infraestrutura de instrumentação, disponibilidade de dados confiáveis em tempo real e integração com sistemas supervisórios locais podem variar bastante, criando desafios de padronização. Portanto, embora a metodologia seja replicável, é necessário um processo de adaptação e retreinamento dos modelos com dados específicos de cada usina, o que representa a principal barreira prática.

Título - Transformação Digital na Indústria de Energia: Utilização do Projeto Mobilidade no Parque Termelétrico da Petrobras

Entidade(s) - Petróleo Brasileiro S.A.

Autor(es) - Thiago Loiola de Souza, Leonardo F Leucas

Resumo

Na onda revolução digital e da Indústria 4.0 que surgiu na última década, o projeto Mobilidade Operacional na Petrobras veio para suprir uma grande lacuna das áreas operacionais, a eficiência e produtividade das equipes e a gestão dos dados gerados diariamente pelas centenas de usuários.

Este artigo tem como objetivo descrever a implantação do Projeto Mobilidade no parque termelétrico da Petrobras, que hoje conta com 13 unidades distribuídas em 8 estados ao longo do Brasil e com uma capacidade de geração de cerca de 4,9 GW, o que é equivalente ao consumo de aproximadamente 17 milhões de habitantes.

Ao longo do texto é descrito as principais aplicações desenvolvidas, uma comparação entre como era executado antes e como é feito após a implantação, e os ganhos observados com a implantação. Além de descrever outras ferramentas de nível gerencial, como os painéis de Power BI desenvolvidos para acompanhamento das aplicações.

Perguntas e Respostas

- **Quais foram as principais dificuldades enfrentadas antes da implantação do Projeto Mobilidade Operacional no parque termelétrico da Petrobras?**
- **Como a digitalização das rondas operacionais impactou a eficiência e a confiabilidade dos dados coletados pelas equipes de campo?**
- **Quais são os principais benefícios observados com a utilização dos PDAs nas atividades de manutenção e operação no parque termelétrico da Petrobras?**
- **A metodologia foi testada em diferentes tipos de caldeiras?**
- **Qual o intervalo de tempo ideal para atualização dos modelos?**
- **O método pode ser aplicado em turbinas a gás?**

- 1. Quais foram as principais dificuldades, incluindo as culturais, enfrentadas antes da implantação do Projeto Mobilidade Operacional no parque termelétrico da Petrobras?**
- 2. Como a digitalização das rondas operacionais impactou a eficiência e a confiabilidade dos dados coletados pelas equipes de campo?**
- 3. Quais são os principais benefícios observados com a utilização dos PDAs nas atividades de manutenção e operação nos parques termelétricos? Como a Petrobras mede o retorno sobre o investimento (ROI) desse projeto digital?**

1. Quais foram as principais dificuldades, incluindo as culturais, enfrentadas antes da implantação do Projeto Mobilidade Operacional no parque termelétrico da Petrobras?

As principais dificuldades enfrentadas durante a implantação do Projeto Mobilidade Operacional no parque termelétrico da Petrobras podem ser classificadas como culturais e estruturais, conforme descrito a seguir:

Mudança de cultura:

Uma das maiores dificuldades enfrentadas foi a resistência natural às mudanças, especialmente em temas relacionados à tecnologia. Durante a implantação do Projeto Mobilidade, essa resistência foi particularmente evidente nas equipes de manutenção. Diferentemente das equipes de operação, onde a resistência foi superada por meio de visitas técnicas, apresentação das funcionalidades e esclarecimento de dúvidas, promovendo engajamento. Nas equipes de manutenção esse desafio ainda persiste. Essa discrepância pode ser atribuída, entre outros fatores, ao fato de as equipes de operação serem compostas majoritariamente por empregados próprios, já imersos na cultura de inovação e superação de desafios da Petrobras. Por outro lado, as equipes de manutenção apresentam maior heterogeneidade, sendo predominantemente formadas por profissionais terceirizados contratados por empresas prestadoras de serviço, o que torna o processo de disseminação da cultura corporativa da Petrobras mais complexo. Adicionalmente, estão em curso planos para a implantação de novas funcionalidades que visam aumentar o engajamento das equipes de manutenção, como rotas de lubrificação destinadas à equipe de mecânica e planos de calibração destinados às equipes de instrumentação.

Infraestrutura:

Outro desafio significativo foi relacionado à infraestrutura, particularmente à cobertura de sinal de rede para os dispositivos portáteis (PDAs). Embora a maioria das funcionalidades embarcadas nos PDAs tenha sido desenvolvida para operar em modo offline, com armazenamento de dados e posterior carga em lote ao encontrar sinal de rede, a ausência de cobertura ainda se mostrou um problema relevante. Grande parte das unidades termelétricas estão localizadas em regiões afastadas dos grandes centros urbanos, o que dificulta a cobertura de sinal das operadoras de telefonia. Além disso, o acesso à rede interna da Petrobras varia consideravelmente: enquanto há boa conectividade nas proximidades de prédios administrativos e de controle, a cobertura nas áreas industriais não é suficientemente abrangente, configurando-se como um desafio adicional.

2. Como a digitalização das rondas operacionais impactou a eficiência e a confiabilidade dos dados coletados pelas equipes de campo?

Confiabilidade: A digitalização das rondas operacionais trouxe avanços significativos na confiabilidade dos dados coletados pelas equipes de campo. O preenchimento das informações é estruturado e guiado, garantindo maior precisão nas respostas. Por exemplo, para perguntas quantitativas, como "Qual o nível do tanque?", a resposta permitida será exclusivamente quantitativa, como "50 litros". Da mesma forma, para perguntas qualitativas, como "O nível está adequado?", o sistema aceita apenas respostas binárias, como "Sim/Não". Além disso, qualquer alteração ou revisão de padrões e/ou equipamentos pode ser gerenciada e atualizada de forma centralizada pelo programa, assegurando que os dados coletados reflitam as condições mais recentes. No software de configuração das rotas, é possível configurar campos como obrigatórios, garantindo que as rondas sejam completamente preenchidas e que nenhuma informação essencial seja negligenciada.

Eficiência: A digitalização também impactou positivamente a eficiência das atividades, especialmente por permitir a geração automatizada de relatórios e documentos diretamente na aplicação. Um destaque relevante é o módulo de Notas de Manutenção (NM). Durante as rondas operacionais, ao identificar uma avaria, as equipes podem abrir notas de serviço diretamente no local, utilizando a aplicação. É possível anexar fotos e fornecer descrições detalhadas da situação, agilizando o processo de registro. Adicionalmente, o software identifica, por meio da tag do equipamento, se já existe uma nota aberta para o mesmo, evitando duplicações. Essa funcionalidade não apenas otimiza o fluxo de trabalho, mas também reduz redundâncias, promovendo maior eficiência na gestão das atividades de manutenção.

3. Quais são os principais benefícios observados com a utilização dos PDAs nas atividades de manutenção e operação nos parques termelétricos? Como a Petrobras mede o retorno sobre o investimento (ROI) desse projeto digital?

Benefícios Tangíveis: Com a implantação do Projeto Mobilidade, foi possível observar uma redução estimada de cerca de 20% nas atividades rotineiras realizadas pelos operadores. Esse impacto foi especialmente notado no processo de encerramento da Permissão para Trabalho (PT), que anteriormente exigia que os operadores executassem todas as etapas diretamente no sistema, caracterizando uma tarefa exaustiva e repetitiva. A utilização dos PDAs simplificou e agilizou essa rotina, proporcionando maior eficiência operacional.

Benefícios Intangíveis: A inovação e a digitalização são valores fundamentais tanto para o parque termelétrico quanto para a Petrobras como um todo. O investimento em ferramentas digitais, como o Projeto Mobilidade, reflete o compromisso da companhia com a promoção de uma cultura de inovação, que está profundamente enraizada na atuação dos seus colaboradores. Essa iniciativa não apenas moderniza os processos operacionais, mas também reforça o papel estratégico da Petrobras como uma empresa que busca constantemente superar desafios tecnológicos e promover soluções de vanguarda.

Retorno sobre o investimento (ROI): Embora a resposta não mencione diretamente

como a Petrobras mede o ROI do projeto, é possível inferir que os benefícios tangíveis, como a redução de atividades rotineiras e o aumento da eficiência operacional, bem como os benefícios intangíveis relacionados à cultura de inovação, contribuem diretamente para a avaliação do retorno sobre o investimento. Esses impactos são, em última instância, traduzidos em ganhos de produtividade, redução de custos operacionais e aprimoramento da qualidade dos processos, alinhados à visão estratégica da companhia.

4.0 – Constatações