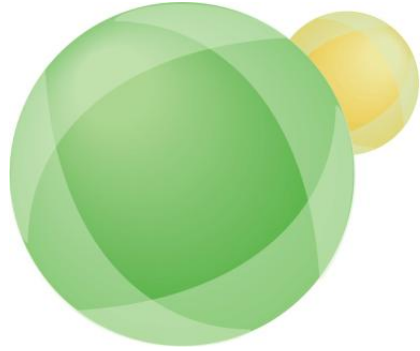




INERGE

instituto de energia elétrica

1

Monitoramento de Transformadores: desafios e tendências

Contato: leonidas@ufsj.edu.br



INTRODUÇÃO

○ Transformadores

- Equipamentos essenciais na transmissão e distribuição de energia elétrica;
- Melhora a eficiência do fornecimento de energia elétrica.

○ Importância do Monitoramento

- Garantir a operação eficiente e segura;
- Minimizar falhas e prolongar a vida útil do equipamento.



DESAFIOS NO MONITORAMENTO DE TRANSFORMADORES

- Complexidade técnica
 - Diversidade de tipos e configurações;
 - Necessidade de conhecimento especializado para análise e interpretação de dados.
- Custo de Implementação
 - Investimento inicial em sistemas de monitoramento;
 - Manutenção e operação contínua das tecnologias.



DESAFIOS NO MONITORAMENTO DE TRANSFORMADORES

- Dados em Tempo Real
 - Necessidade de sistemas que traduzam dados em tempo real em ações práticas;
 - Dificuldade em integrar diferentes fontes de dados.

- Identificação de Falhas
 - Dificuldade em prever falhas antes que se tornem críticas;
 - Importância de análises preditivas e retroativas.



TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO

- Sensores e Dispositivos (IED's)
 - Sensores de Temperatura e Pressão;
 - Sensores de Vibração;
 - Análise de Gases Dissolvidos.
- Sistemas de Monitoramento Remoto
 - Acesso em tempo real através da internet;
 - Manutenção preditiva baseada em dados.

TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO

○ Big Data e IoT

- Coleta e análise de grandes volumes de dados para insights;
- Integração de dispositivos IoT para monitoramento contínuo.

○ Planos de manutenção

- Ensaios de rotina;
- Inspeção sensível.



TENDÊNCIAS NO MONITORAMENTO DE TRANSFORMADORES

- Inteligência Artificial e Machine Learning
 - Ferramentas de análise preditiva para evitar falhas;
 - Aprendizado das operações passadas para melhorar a eficiência.
- Manutenção Preditiva
 - Transição de manutenção corretiva para métodos preditivos e proativos;
 - Redução de custos e tempo de inatividade.
- Digitalização e Adoção de Novas Tecnologias
 - Uso crescente de plataformas digitais para monitoramento;
 - Aumento da conectividade e integração de sistemas.



BENEFÍCIOS DO MONITORAMENTO EFICIENTE

- Aumento da Longevidade dos Transformadores
- Redução de Custos Operacionais e de Manutenção
- Melhoria na Segurança Operacional
- Eficiência Energética Aumentada



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (COMPLEXIDADE TÉCNICA)



**Visibilidade dos
modos de falha**

POTÊNCIA	NORMAL	ALERTA	CRÍTICO
≥ 50 KVA	0	0	0
$30 \text{ KVA} < \text{POT.} < 50 \text{ KVA}$	1	0	0
≤ 30 KVA	0	2	1
CLASSE DE TENSÃO	NORMAL	ALERTA	CRÍTICO
≥ 230	0	0	0
$69 \text{ KV} < U < 230$	0	0	0
≤ 69 KV	1	2	1



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (FERRAMENTAS E MÉTODOS)

- Confiabilidade
 - Estimar indicadores de desempenho
- *Healthy indexes:*
 - Avaliar saúde dos transformadores
- Análises estatísticas dos dados
 - Métodos de regressão para encontrar tendências



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (FERRAMENTAS E MÉTODOS)

- Simulação Monte Carlo
 - Capturar correlações entre dados
 - Simular cenários distintos
 - Considerar a natureza estocástica
- Redes neurais especializadas
 - Ampliar a abrangência de análise
 - Capturar padrões não fornecidos pelos métodos e modelos utilizados



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (VARIÁVEIS EXPLICATIVAS)

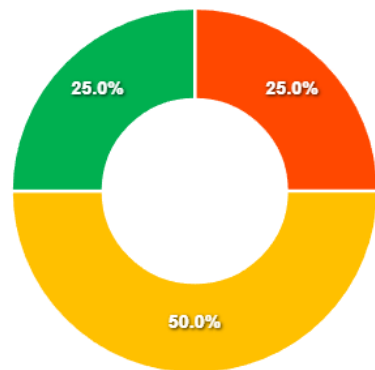
- Custo de implementação
- Dados em tempo real
- Big data
- Sensores e IED's
- Sistemas remotos
- Armazenamento em nuvem
- IoT
- Inspeções
- Ensaios de rotina

Variável	Descrição	Sigla	Unidade	Valor
1	Dióxido de carbono	CO ₂	<i>ppm</i>	Histórico
2	Monóxido de carbono	CO	<i>ppm</i>	Histórico
3	Grau de polimerização	GP	<i>monômeros</i>	Histórico
4	Teor de água	SAT	<i>ppm</i>	Histórico
5	Rigidez dielétrica	RD	<i>kV</i>	Histórico
6	DGAF	DGAF	<i>mg/kg</i>	Histórico
7	Enxofre Corrosivo	EC	<i>unid</i>	Histórico
8	Temperatura do óleo	TEMP	<i>° C</i>	Histórico
9	Enxofre Elementar	EE	<i>ppm</i>	Histórico
10	Teor de Passivador	PASS	<i>%</i>	Histórico
11	Teor de Etileno	C ₂ H ₄	<i>ppm</i>	Histórico
12	Teor de Acetileno	C ₂ H ₂	<i>ppm</i>	Histórico
13	Tensão interfacial	TIF	<i>Dyn/cm</i>	Histórico
14	Teor de DBDS	DBDS	<i>ppm</i>	Histórico



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (SUPORTE PARA TOMADAS DE DECISÃO)

TOTAL DE TRANSFORMADORES ANALISADOS



● Crítico ● Alerta ● Normal

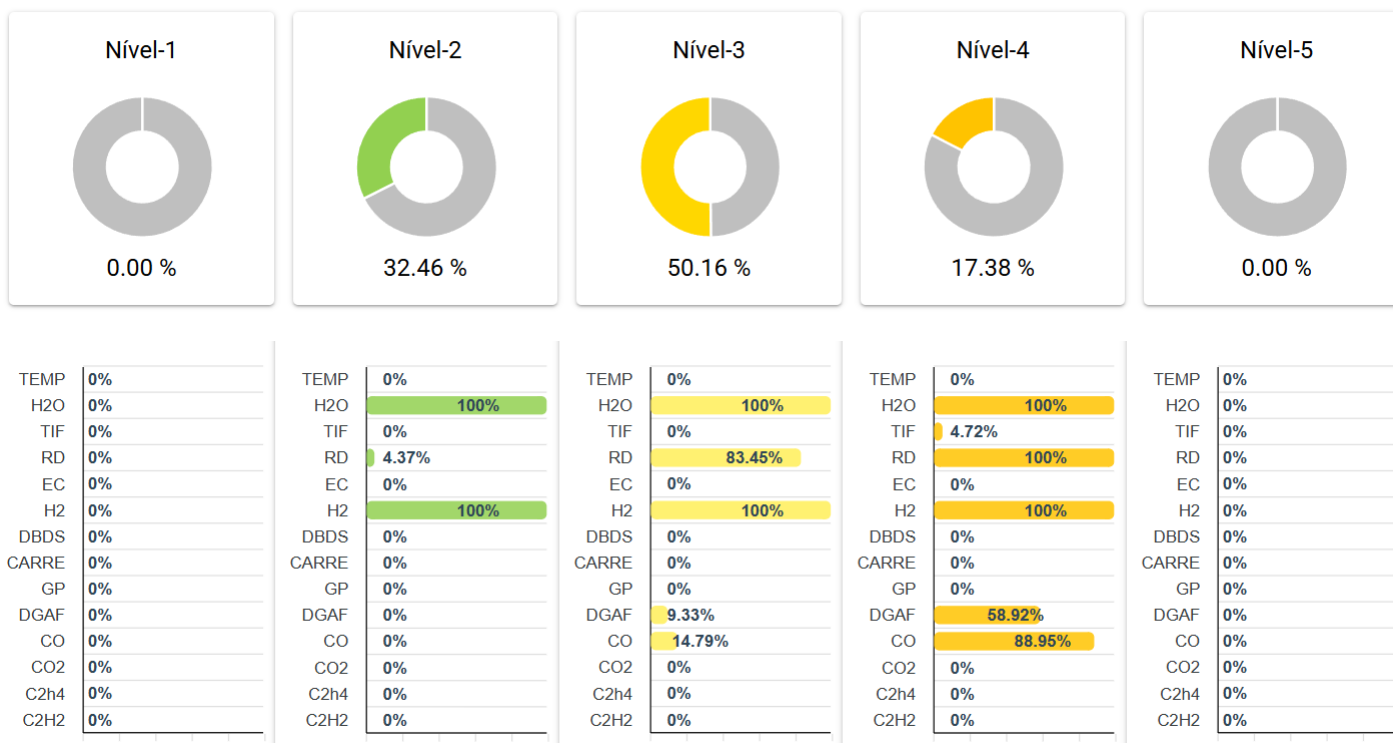


RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (SUPORTE PARA TOMADAS DE DECISÃO)

TAG	T. Primária (kV)	Potencia (kVA)	Status TR-Óleo	Status Analista	N1	N2	N3	N4	N5
9701	69	43	Normal	Normal	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9701	22	2	Crítico	Crítico	0.00%	0.00%	34.16%	65.84%	0.00%
	138	30	Ainda não Analisado	Ainda não Analisado					
2FTMTR01	36	1.25	Alerta	Ainda não Analisado	0.00%	0.00%	94.80%	5.20%	0.00%
2CTMTR01	34.5	1	Alerta	Ainda não Analisado	0.00%	32.46%	50.16%	17.38%	0.00%



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (SUPORTE PARA TOMADAS DE DECISÃO)





RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (SUPORTE PARA TOMADAS DE DECISÃO)

2 - Guia IEEE Std C57.104™ - 2008 para a Interpretação de gases dissolvidos no óleo isolante dos transformadores

Foi desenvolvido um critério de quatro níveis para classificar os riscos aos transformadores, quando não há histórico de gás dissolvido, para operação contínua em vários níveis de gás combustível. O critério usa ambos, concentrações para gases separados e a concentração total de todos os gases combustíveis (TGC).

Tabela 1 – Principais limites de concentração de gases dissolvidos (ppm)

Status	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TGC
Condição 01	100	120	1	50	65	350	2500	720
Condição 02	101-700	121-400	2-9	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
Condição 03	701-1800	401-1000	10-35	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
Condição 04	>1800	>1000	>35	>200	>150	>1400	>10000	>4630

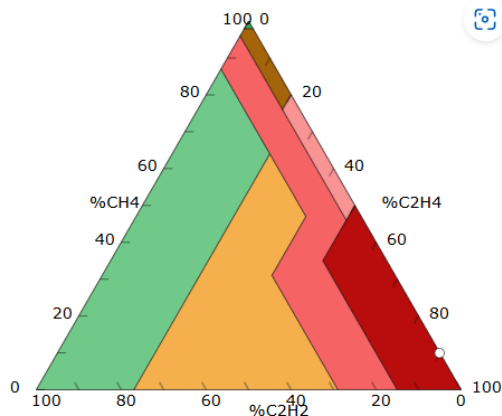
2-1 Resultados da última coleta:

Data Coleta	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TGC
20-03-2024	Condição 02	Condição 01	Condição 01	Condição 01	Condição 01	Condição 02	Condição 02	Condição 04
	130	3	0	27	0	510	3713	4383



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (SUPORTE PARA TOMADAS DE DECISÃO)

Triângulo de Duval 1

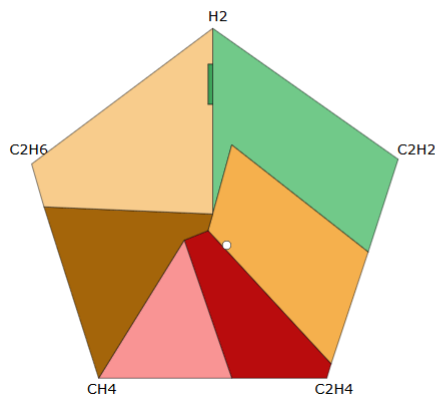


- PD - Descargas parciais (corona)
- T1 - Faltas térmicas abaixo de 300°
- T2 - Faltas térmicas entre 300°C e 700°C
- T3 - Faltas térmicas acima de 700°C
- D1 - Descarga de baixa energia (centelhamento)
- D2 - Descarga de alta energia (arco elétrico)
- DT - Ocorrência simultânea de falta térmica e arco elétrico

Resultado do Diagnóstico:

T3 - Faltas térmicas acima de 700°C

Petagono 1



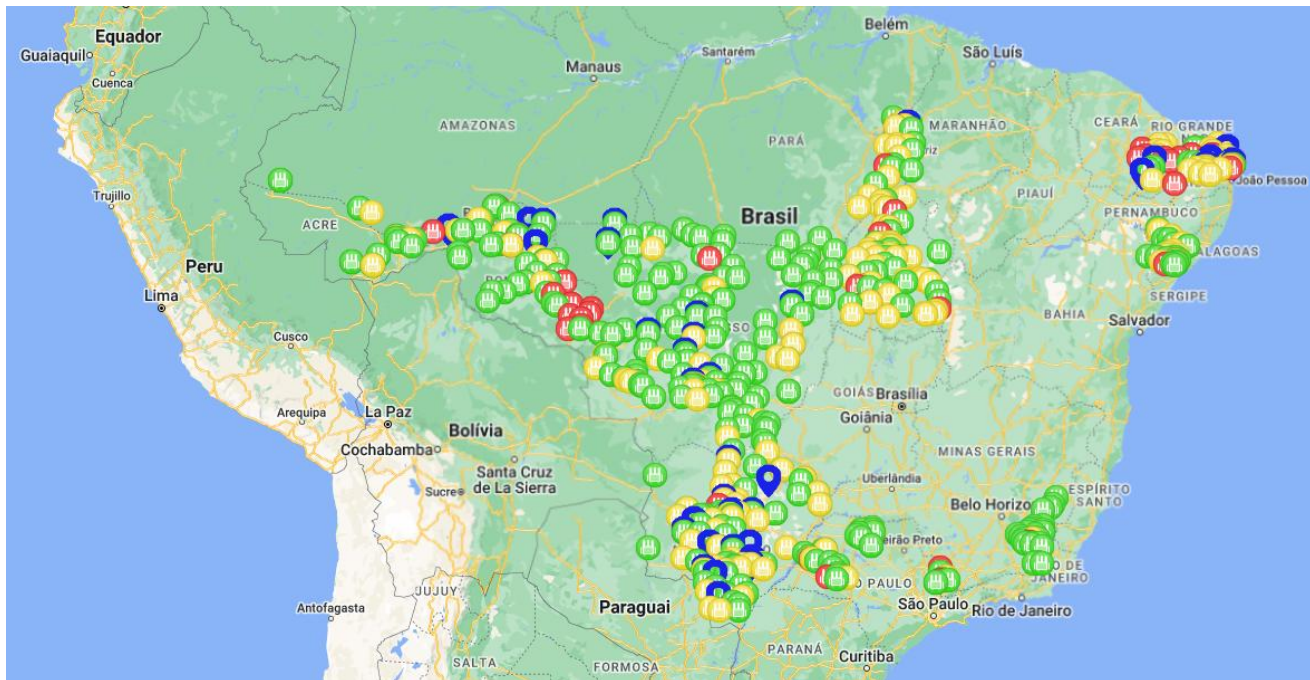
- S - Gases dispersos em temperaturas < 200 °C
- T1 - Falha térmica, t < 300 °C
- T2 - Falha térmica, 300 °C < t < 700 °C
- T3 - Falha térmica, t > 700 °C
- D1 - Descargas de baixa energia ou descargas parciais do tipo faísca
- D2 - Descargas de alta energia
- PD - Descargas parciais do tipo corona

Resultado do Diagnóstico:

D2 - Descargas de alta energia



RESULTADOS OBTIDOS EM PROJETOS (SUPORTE PARA TOMADAS DE DECISÃO)



CONCLUSÃO

- O monitoramento de transformadores é essencial para a eficiência e segurança do sistema elétrico.
- Apesar dos desafios enfrentados, as tendências atuais apontam para um futuro mais conectado e inteligente, com oportunidades significativas para otimização.
- Investir em tecnologias inovadoras é fundamental para atender à demanda crescente por energia de forma sustentável e confiável

CONCLUSÃO

- Crescimento gradativo de sensores em operação, tanto em equipamentos novos quanto em equipamentos já energizados;
- Aumento no volume e na qualidade e disponibilidade de dados para estudos de engenharia;
- Desenvolvimento de sensores e plataforma cada vez mais sensíveis e precisos;
- Desenvolvimento de aprendizado de máquina, inteligência artificial e IoT com a melhoria das infraestruturas de automação, telecom e o 5G;



CONCLUSÃO

- Melhoria dos diagnósticos remotos;
- Melhoria na gestão do ciclo de vida dos transformadores;
- Redução de custos de sensores e plataformas de engenharia;
- O parecer do especialista continua sendo fundamental para o diagnóstico.



INERGE
instituto de energia elétrica



OBRIGADO!

Leonidas Chaves de Resende

leonidas@ufsj.edu.br

www.linkedin.com/in/leonidas-chaves-de-resende-68880534

<https://ufsj.edu.br/leonidas/>



INERGE

instituto de energia elétrica

