



## **RECUPERAÇÃO SUSTENTÁVEL DE TRANSFORMADORES A SECO APÓS ENCHENTES NO RIO GRANDE DO SUL: UMA ALTERNATIVA VIÁVEL E NECESSÁRIA<sup>1</sup>**

**Renê Reinaldo Emmel Júnior<sup>2</sup>, Maurício de Campos<sup>3</sup>, Paulo Sérgio Sausen<sup>4</sup>, Airam Teresa Zago Romcy Sausen<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Trabalho da disciplina P0345 - Modelagem Matemática.

<sup>2</sup> Doutorando Modelagem Matemática Computacional.

<sup>3</sup> Professor orientador, Doutor e Pesquisador na Unijuí.

<sup>4</sup> Professor, Doutor e Pesquisador na Unijuí.

<sup>5</sup> Professor, Doutor e Pesquisador na Unijuí.

### **RESUMO**

Este estudo analisa a recuperação emergencial de dois transformadores de energia elétrica a seco danificados por enchentes no Rio Grande do Sul em 2024. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica e econômica dessa abordagem, em comparação com a substituição por novos equipamentos, destacando os benefícios ambientais e operacionais. O processo de recuperação incluiu secagem, ensaios de tensão aplicada e verificações de resistência de isolamento, resultando em equipamentos que atenderam aos padrões de segurança. A recuperação emergencial mostrou-se uma solução eficaz em situações de alta demanda e urgência, oferecendo uma alternativa sustentável e economicamente vantajosa. Além disso, este estudo de caso serve como uma ilustração prática de como a recuperação pode ser uma alternativa eficaz em cenários de emergência, considerando fatores como a alta demanda por novos equipamentos, mão de obra, os elevados prazos de fabricação, os custos e a urgência de restabelecer a infraestrutura de energia.

Palavras-chave: recuperação de transformadores. sustentabilidade. enchentes. infraestrutura elétrica.

### **ABSTRACT**

This study analyzes the emergency recovery of two dry-type electrical transformers damaged by floods in Rio Grande do Sul in 2024. The objective is to demonstrate the technical and economic feasibility of this approach compared to the replacement with new equipment, highlighting the environmental and operational benefits. The recovery process included drying, applied voltage tests, and insulation resistance checks, resulting in equipment that met safety



standards. Emergency recovery proved to be an effective solution in situations of high demand and urgency, offering a sustainable and economically advantageous alternative. Furthermore, this case study serves as a practical illustration of how recovery can be an effective alternative in emergency scenarios, considering factors such as the high demand for new equipment, labor, long manufacturing lead times, costs, and the urgency of restoring energy infrastructure.

Keywords: transformer recovery, sustainability, floods, electrical infrastructure.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Introdução

As enchentes catastróficas que atingiram o Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024 evidenciaram a vulnerabilidade da região diante de fenômenos climáticos extremos. As chuvas recorde impactaram cerca de 90% do estado e afetaram 2,3 milhões de pessoas, das quais 640 mil perderam suas casas. Um estudo recente projeta que eventos dessa magnitude se tornarão mais frequentes e intensos no futuro devido às mudanças climáticas e ao fenômeno El Niño. Esse cenário destaca a necessidade urgente de melhorar a infraestrutura contra enchentes e de dar maior atenção às desigualdades sociais que agravam os efeitos dos desastres naturais. (OLIVEIRA, 2024).

### 1.2 Motivação

A cidade de Porto Alegre teve o início de maio de 2024 como o mês mais chuvoso em 63 anos, com chuvas persistentes que equivaleram a três meses em um período de duas semanas. A capital, junto com outras regiões do estado, enfrentou inundações severas que colocaram a infraestrutura de energia sob extrema pressão. A CEEE Equatorial, responsável pelo fornecimento de energia elétrica em Porto Alegre, recebeu um reforço de 100 eletricitistas, técnicos e engenheiros para apoiar na reconstrução do sistema elétrico de Porto Alegre (CEEE Equatorial, 2024). Neste cenário, muitas subestações de energia foram inundadas, tornando crucial a energização dessas instalações para restabelecer o fornecimento de energia assim que as águas recuassem. Os transformadores a seco, danificados pelas enchentes, são equipamentos essenciais para o funcionamento dessas subestações elétricas.

A infraestrutura de energia foi gravemente impactada, com centenas de subestações danificadas. A recuperação emergencial de transformadores a seco se mostrou uma solução



viável devido à urgência e à alta demanda por novos equipamentos. A fabricação de novos transformadores é um processo demorado e caro, e a recuperação emergencial oferece uma alternativa rápida e sustentável, atendendo ao momento de emergência mesmo que de forma provisória até a devida manutenção ao sistema existente.

### **1.3 Objetivos**

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados e os benefícios ambientais e econômicos da recuperação emergencial em um cenário de grandes dificuldades técnicas de dois transformadores a seco danificados pelas enchentes catastróficas que assolaram o Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024. Neste cenário de estudo, foram utilizados dois transformadores que foram recuperados, e o artigo pretende demonstrar como a recuperação pode ser uma alternativa sustentável e eficiente em emergências, considerando fatores como a alta demanda por novos equipamentos, mão de obra, os elevados prazos de fabricação, os custos e a urgência de restabelecer a infraestrutura de energia.

Este artigo detalha o caso de dois transformadores a seco que foram recuperados após a enchente. Descreve o processo de recuperação, os desafios enfrentados e os resultados obtidos, demonstrando a eficiência e a viabilidade dessa abordagem. Este estudo de caso serve como uma ilustração prática de como a recuperação pode ser uma alternativa eficaz em cenários de emergência.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 ESG Ambiental**

A questão ambiental está em evidência desde a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano em 1972. Posteriormente, em 1987, com a publicação do documento “Nosso Futuro Comum”, ou Relatório Brundtland, a ideia de desenvolvimento sustentável ganhou proporção global. Em 2015, uma conferência em Nova York definiu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), buscando diminuir a desigualdade e a pobreza, ampliar a preservação ambiental e a recuperação do meio ambiente degradado, contribuindo para o desenvolvimento sustentável (Brüseke, 1995; Sachs, 2002; ONU, 2015). Empresas têm um papel importante neste contexto, influenciando a dinâmica da desigualdade e da pobreza, assim como na preservação e recuperação do meio ambiente natural (De Sá, 2023; Munasinghe, 2002;





Hoff, 2008). O Pacto Global, criado em 2000, e o documento "Who Cares Wins" de 2004 incentivaram as empresas a integrar questões ESG em suas práticas (Billio et al., 2021).

## **2.2 Decisão de Aquisição ou Reforma de Transformadores de Distribuição**

A decisão de aquisição ou reforma de um transformador de distribuição considera fatores financeiros, ambientais e técnicos. Historicamente, a recuperação de transformadores começou durante as grandes guerras mundiais devido à escassez de matéria-prima. Atualmente, a maioria das concessionárias de energia elétrica no Brasil aceita a instalação de transformadores reformados, que passam por testes rigorosos de recebimento. Transformadores recuperados podem apresentar perdas adicionais em comparação com novos equipamentos, mas ainda são viáveis devido ao custo e tempo de fabricação reduzidos (GUIMARÃES, 2010).

## **3. METODOLOGIA**

Este estudo analisou a recuperação emergencial de transformadores a seco danificados por enchentes no Rio Grande do Sul, em 2024. A metodologia incluiu a seleção de dois transformadores a seco afetados, o acompanhamento do processo de recuperação e a análise dos resultados obtidos. O processo de recuperação foi dividido em várias etapas detalhadas, incluindo desmontagem, limpeza, secagem em estufas com ar quente e recuperação de peças danificadas. A secagem foi realizada em estufas com controle eletrônico de temperatura, ajustadas para aproximadamente 80°C, e o tempo de secagem variou de acordo com o tamanho e a quantidade de núcleos. Após a secagem, foram realizadas medições de resistência de isolamento para garantir que os níveis de umidade/resistência estivessem adequados. Ensaios de tensão aplicada também foram conduzidos, conforme a norma NBR 5356-11, energizando os transformadores com uma tensão de 1,1 vez a tensão nominal por 15 minutos, para assegurar a integridade dos equipamentos. Adicionalmente, verificações de resistência do isolamento foram realizadas entre os enrolamentos de alta e baixa tensão e contra a terra.

### **3.1. Resultados e Discussão**

#### **3.1.1. Etapas da Reforma**

A reforma dos transformadores a seco danificados seguiu uma série de etapas bem definidas:









A vista lateral de um transformador a seco recuperado, com potência de 1250 kVA, tensão primária de 13,8 kV e tensão secundária de 110/220 V, instalado em uma Subestação de Energia em um prédio no centro de Porto Alegre pode ser observada na Figura 01. Este equipamento, alvo do trabalho técnico apresentado, é mostrado após o processo de recuperação. A imagem destaca o porte, o tamanho e os componentes principais do transformador, que estava em processo de montagem e instalação.



Figura 2: foto de um transformador a seco onde ocorreu alagamento (não é o mesmo que fora recuperado e alvo deste estudo)

Na Figura 2 pode ser visualizado, um transformador a seco instalado em uma subestação que foi afetada por enchentes. O equipamento desligado, está posicionado em sua instalação original. As paredes brancas ao redor do transformador mostram marcas indicando o nível que a água alcançou. Os componentes e acessórios do transformador exibem sujeira, manchas e sinais de oxidação, evidenciando os danos causados pela água.



Figura 3: Foto detalhe de uma estufa utilizada para secagem de Transformadores.

Pode-se observar, na Figura 3, a imagem de uma estufa de secagem de peças de transformadores isolados a óleo e transformadores a seco. Nessa, à direita, é possível observar um transformador a seco em processo de secagem. Esta etapa é crucial para a remoção de umidade e contaminantes, assegurando o desempenho e a longevidade do equipamento após a recuperação.



Figura 4: foto de Transformadores a seco após recuperação e embalados com filme plástico.





Na figura 4 verifica-se um conjunto de transformadores a seco embalados com filme plástico para proteção contra poeira e outros agentes externos ambientais. Estes equipamentos, foram recuperados, estão prontos para reinstalação em suas respectivas subestações.



Figura 5: foto de um transformador que apresenta problemas e não pode ser recuperado.

Na Figura 5 é exibido um transformador a seco que, não foi desligado antes da água atingir o equipamento. Este é o único transformador que não foi recuperado, conforme informações fornecidas pela empresa responsável pela recuperação. A imagem ilustra claramente a importância de desligar os sistemas preventivamente antes da ocorrência de inundações para evitar danos irreparáveis aos equipamentos.

Estas cinco figuras ilustram o impacto das enchentes em transformadores a seco, destacando tanto os danos causados quanto os processos de recuperação e proteção implementados. Através das imagens, é possível observar a importância de medidas preventivas simples, como o desligamento de equipamentos e a proteção com filme plástico, para minimizar danos e preservar a funcionalidade dos transformadores. O estudo reforça a necessidade de



práticas adequadas de manutenção e recuperação para garantir a continuidade e a segurança na operação de sistemas de energia elétrica.

### 3.1.3. Análise dos Resultados

Os transformadores apresentaram medidas satisfatórias após os ensaios, conforme os valores apurados após a recuperação. É importante notar que, em uma situação emergencial como essa, devido à alta demanda de equipamentos que necessitam ser recuperados e aos prazos de entrega de novos equipamentos superiores a 30 dias, a opção pela recuperação pode ser vantajosa operacionalmente.

### 3.1.4. Causa da Recuperação dos Transformadores

A recuperação dos transformadores analisados foi necessária devido à enchente climática ocorrida no estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024, que atingiu milhares de consumidores e centenas de instalações elétricas que possuem subestações de energia com transformadores a seco.

### 3.1.5. Custos e Viabilidade Econômica

- **Custo de Recuperação:** Segundo uma empresa especializada em reforma de transformadores instalada em Novo Hamburgo, o custo médio para recuperar um transformador a seco que molhou, sem estar avariado (desligado antes de chegar água no equipamento), é de aproximadamente 10% do valor de um transformador novo.
- **Custo de um Transformador Novo:** Um transformador a seco novo de 500 KVA custa, em média, em torno de R\$ 100.000,00, variando conforme a potência, processo de fabricação e grau de proteção IP, com um prazo de entrega superior a 30 dias, pois precisa ser fabricado.
- **Custos Adicionais:** O custo de transporte, aluguel de um transformador provisório a óleo (considerando restrições normativas), e instalação do transformador alugado e recuperado pode chegar a R\$ 10.000,00.



### 3.1.6. Riscos Associados à Recuperação

- **Riscos da Recuperação:** Como a recuperação foi realizada em uma situação emergencial e de forma urgente, não é possível garantir o funcionamento duradouro dos equipamentos. Transformadores recuperados podem apresentar defeitos prematuros devido à natureza do problema inicial.
- **Riscos no Deslocamento:** O deslocamento de um transformador a seco molhado envolve riscos, como a possibilidade de vibração danificar a parte ativa molhada durante o transporte.
- Em uma amostra de 100 transformadores recuperados somente 1 apresentou falha e esta pode ter sido ocasionada pelo equipamento não ter sido desligado preventivamente antes da água atingir o mesmo. Segundo a empresa recuperadora visitada, todos os equipamentos que passaram pela recuperação e foram considerados aptos estavam funcionando adequadamente em suas instalações e não apresentaram nenhuma falha posteriormente.

### 3.1.7. Benefícios Ambientais e Econômicos

A recuperação de transformadores a seco oferece benefícios significativos, incluindo a redução de resíduos e a conservação de recursos naturais. Além disso, é uma solução economicamente vantajosa em comparação com a substituição por novos equipamentos. A recuperação emergencial também contribui para a resiliência da infraestrutura de energia em face de desastres naturais futuros.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recuperação emergencial de transformadores a seco após as enchentes no Rio Grande do Sul demonstrou ser uma solução viável e eficaz, destacando a importância de abordagens sustentáveis na gestão da infraestrutura de energia. Em um contexto de mudanças climáticas e aumento da frequência de eventos extremos, a recuperação de equipamentos danificados é essencial para garantir a continuidade dos serviços e minimizar os impactos ambientais e sociais. A experiência no Rio Grande do Sul evidenciou a necessidade de estratégias proativas e sustentáveis para lidar com os problemas de infraestrutura revelados após a retração das águas, especialmente no setor elétrico.





## 5. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão às empresas e profissionais que contribuíram significativamente para esse trabalho. Agradecemos especialmente à EFICAZ Engenharia LTDA, na pessoa do Engenheiro Eletricista Bolívar Gomes Ourique. Também estendemos nossos agradecimentos à TECNOTRAFO Comércio de Materiais Elétricos LTDA, representada pelo Sr. Gerson.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- OLIVEIRA, M. **Estudo Internacional projeta fenômenos climáticos extremos com maior frequência e intensidade no RS.** Agência de Comunicação | UFSC. Disponível em: <https://noticias.ufsc.br/2024/06/estudo-internacional-projeta-fenomenos-climaticos-extremos-com-maior-frequencia-e-intensidade-no-rs/>. Acesso em: 12 jul. 2024.
- CEEE Equatorial. **CEEE Equatorial intensifica os trabalhos em áreas alagadas em Porto Alegre.** Disponível em: [https://cee.equatorialenergia.com.br/cee/noticias\\_/cee-equatorial-intensifica-os-trabalhos-em-areas-alagadas-em-porto-alegre](https://cee.equatorialenergia.com.br/cee/noticias_/cee-equatorial-intensifica-os-trabalhos-em-areas-alagadas-em-porto-alegre). Acesso em: 12 jul. 2024.
- FLORINDO, M. C. **Riscos ESG em relatórios de sustentabilidade: uma análise para empresas do setor elétrico do índice de sustentabilidade empresarial (ISE).** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Ciências Econômicas, 2023. Orientação: Debora Nayar Hoff.
- GUIMARÃES, R. F. A. **Proposta de diagnóstico para uso, instalação e descarte de transformadores de distribuição recuperados.** Ilha Solteira: [s.n.], 2010. 128 f.: il.
- DE SÁ, L. C. **Sustentabilidade Empresarial: Teoria e Prática.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2023.

