



## **Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes-GTM**

### **Considerações sobre definição, especificação, aquisição, instalação e manutenção de transformadores de PCHs.**

**ROBERTO DE AGUIAR(1); JHONATA FROGUEL(2); JOSÉ AIRTON DOS SANTOS FILHO(2);  
R DE AGUIAR(1);BROOKFIELD R.(2);**

#### RESUMO

Após alguns anos acompanhando o desempenho de transformadores de PCHs foi possível fazer um levantamento das principais falhas e defeitos desses equipamentos. Esse trabalho vai abordar as principais falhas e as dificuldades para efetuar a manutenção corretiva em transformadores nesse tipo de instalação. Também apresentaremos algumas considerações quanto a especificação, aquisição, instalação e manutenção desses transformadores

#### PALAVRAS-CHAVE

Transformador, Manutenção, PCH, Comutador, falha

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Já há alguns anos a matriz energética no Brasil tem mudado. Primeiro foram as Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCHs), as quais, valendo-se de incentivos fiscais, foram construídas às dezenas pelo Brasil afora. Mais recentemente temos visto consideráveis investimentos em energia solar, e principalmente em energia eólica.

As Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH, são usinas geradoras de energia, de pequeno porte, empregadas principalmente em rios ou canais de tamanho médio ou pequeno, que apresentem em seu leito desníveis capazes de conceber potência hidráulica satisfatória para acionar os rotores das turbinas e de modo consequente, gerar energia. (1)

Em um comparativo simplificado, as PCHs apresentam determinadas vantagens tanto no âmbito sócio-econômico quanto ambiental, em relação às Usinas Hidrelétricas de Energia – UHEs, tais como:

- Maior adaptabilidade a pequenos cursos d'água, já que possuem características menores, o que propiciam projetos mais simples;
- Menor prazo de implantação;
- Impactos ambientais reduzidos;
- Sua construção e operação dependem somente da autorização da ANEEL;

#### 2.0 - DESENVOLVIMENTO



Essas novas instalações elétricas têm trazido grandes desafios tanto no quesito da construção, como também na operação e manutenção.

A construção dessas instalações tem características bem distintas das que estávamos acostumados, usinas hidroelétricas e termoelétricas de grande porte.

Essas novas instalações são predominantemente construídas por investidores privados, e poucos desses investidores constroem com a intenção de mantê-las em sua carteira por muito tempo. Essa condição, no entanto, tem mudado. Estamos tendo a proliferação de empresas que estão construindo e/ou comprando essas instalações como investimento de longo prazo, atuando de fato como concessionárias de energia.

A construção dessas instalações tem como objetivo a conclusão a curto prazo. Uma vez transpostas as barreiras ambientais e suas diversas licenças, os investidores têm pressa na conclusão e na redução do custo da obra, situação completamente compreensível.

Porém a pressa na conclusão e na redução do custo da obra acabam trazendo problemas futuros tanto operacionais como de manutenção.

Entre as partes que constituem um projeto construtivo de uma PCH podem ser destacados dois conjuntos, Casa de Força e Subestação. Muitos projetos construtivos de PCHs dedicam maior atenção a casa de força onde está instalada a unidade geradora (turbina+gerador) com a otimização de investimento para aproveitamento máximo dos recursos hídricos disponíveis, lembrando que a potência máxima instalada em uma PCH é de 30MVA.

A subestação e seus equipamentos nem sempre dispõem de espaço físico adequado para a instalação ideal de seus equipamentos, forçando o projetista a escolher equipamentos compactos e a utilizar somente um transformador, independente do número de geradores utilizados no projeto. Reduzindo a confiabilidade na transmissão e prejudicando a programação de intervenções para manutenções que exigem desligamento do transformador ou equipamentos da subestação.

## 2.1 Considerações sobre o Projeto de PCHs

É essencial que os custos de longo prazo de OMS sejam considerados durante o projeto de uma instalação de PCH.

Uma análise de vida útil e confiabilidade dos equipamentos deve ser considerada cuidadosamente em todos os aspectos do projeto.

A facilidade com que a manutenção pode ser realizada também deve ser considerada durante a fase de projeto de uma PCH. Por exemplo, um equipamento que requer manutenção regular deve estar localizado em um local de fácil acesso e não localizado em um espaço confinado. Além disso, se algum equipamento precisar ser removido para manutenção durante sua vida útil, os meios para realizar tal tarefa devem ser considerados. Por exemplo, se algum equipamento ou parte dele precisar ser removido para substituição, reparo ou atualização - existe uma maneira econômica de fazer isso? Existe uma guindaste ou grua capaz de movimentar todas as peças? Pensando meticulosamente em todos os possíveis cenários de OMS que possam ocorrer, muito tempo e dinheiro podem ser economizados ao longo da vida da instalação.

Normalmente estas facilidades, elevação e transporte, estão previstas no projeto da casa de força, tanto para a construção da unidade geradora como para execução de atividades de manutenção que requerem a desmontagem ou até mesmo a remoção dos equipamentos para reparo em oficinas especializadas. Estas mesmas facilidades nem sempre estão previstas para a subestação, transformando a atividade de grandes manutenções em desafio às equipes de manutenção. Espaços destinados a manutenção de equipamentos e a manobra de equipamentos de transporte nem sempre estão previstos no projeto.

A manutenção das vias de acesso também precisam ser consideradas quando da conclusão da obra e iniciado o período de operação industrial da instalação, a falta de manutenção destes acessos inviabiliza ou aumenta em



muito os custos relacionados a manutenções que exigem o deslocamento de equipamentos para outras instalações.

## 2.2 Política de manutenção para os equipamentos da subestação

A sazonalidade dos recursos hídricos, a configuração adotada pelo projeto utilizando um transformador para mais de uma unidade geradora, justificam o estabelecimento de uma política de manutenção específica para determinada PCH, onde nem sempre poderá ser aquela adotada pelas concessionárias de energia ou as utilizadas em Usinas Hidrelétricas onde o grande número de geradores e a potencia disponível possibilitam maior flexibilidade para programar a manutenção preventiva.

A prática mostra que em boa parte das PCHs em operação existe uma priorização da manutenção das unidades geradoras com o relaxamento dos programas de manutenção dos transformadores e equipamentos das subestações.

Não é raro que os responsáveis pela operação e manutenção de PCHs planejem programas anuais de manutenção e pratiquem intervalos superiores a três anos sem no entanto adequar as atividades previstas, isto é, realizam a anual a cada três anos.

Geralmente nas UHE os geradores determinam a periodicidade de manutenção dos outros equipamentos, em especial do transformador elevador, pois quando o gerador está fora de operação, o(s) transformador(es) ligados a esse gerador, também estarão.

Além disso, o tempo de indisponibilidade pela falha desse equipamento, por se estender desde alguns dias a várias semanas. Esse tempo depende de vários fatores.

## 2.3 Fatores de indisponibilidade dos transformadores

Transformadores geralmente são máquinas grandes e qualquer tipo de manutenção corretiva implica numa logística complexa, envolvendo:

- Desconexão e reconexão.
- Ensaio elétrico.
- Retirada do óleo isolante.
- Desmontagem.
- Movimentação / Transporte.
- Serviços de recuperação.
- Montagem.
- Tratamento e enchimento do óleo isolante.
- Ensaio de comissionamento.

Quando da ocorrência de falhas ou defeitos em transformadores, é comum termos duas situações:

- Possibilidade de correção do problema no campo.
- Necessidade de envio para uma recuperadora.

Ambas as situações demandam tempo, mas com certeza a correção em campo vai demandar menos tempo por ser caracterizada por falhas/defeitos menores quando comparada a necessidade de envio para instalações externas.

Entre os fatores que são considerados para tomada de decisão pela recuperação em campo ou em oficina externa de transformadores de uma PCH, dois podem ser destacados:

- O tipo da falha.
- A estrutura disponível nas instalações da PCH.



## 2.4 Tipos de falha

As falhas mais comuns em transformadores de PCHs são:

- Curto-circuito entre espiras em decorrência de descarga atmosférica.
- Mau contato no comutador de tensão a vazio.
- Circulação de corrente no núcleo e nas ferragens.
- Buchas.

Para definição do tipo de falhas os seguintes recursos podem ser empregados:

- Verificando se ocorreu algum transitório.
- Analisando a atuação das proteções (quais atuaram, tempo de atuação, repetibilidade de atuações, etc...).
- Ensaio elétrico (ensaio de isolamento, relação de transformação, resistência elétrica dos enrolamentos, corrente de excitação, balanço magnético, SFRA, etc...).
- Ensaio no óleo (gascromatografia – DGA).
- Inspeção interna.

## 2.4 Tipos de falha

A prática da manutenção corretiva em transformadores instalados em PCH aponta as seguintes falhas com maior incidência:

### a) Curto-circuito entre espiras.

Esse tipo de falha requer a recuperação em fábrica (recuperadora) com as seguintes considerações para esse procedimento:

- Condições do acesso.
- Especificação para recuperação.
- Ensaio de rotina e ensaio de impulso atmosférico.
- Logística de montagem, tratamento do óleo isolante e comissionamento.

A recuperação em fábrica (recuperadora) demanda no mínimo três meses. Nesse período ou a instalação fica sem a geração equivalente à potência do transformador ou opera com geração reduzida.

Para minimizar a perda de receita devido a falhas em transformadores conectados a mais de um gerador a opção de conexão de um gerador a dois transformadores poderia ser avaliada no momento do projeto da instalação. Isso requer um investimento maior, mas reduz consideravelmente a perda de receita em manutenções corretivas.

Como a maioria das PCHs conta com somente um transformador e a falha desse equipamento compromete 100% da geração, a solução para minimizar a perda de receita nesse caso é alugar um transformador.

Apesar de cada PCH ter suas próprias características e limitações, o uso de um transformador não idêntico ao instalado conforme projeto é facilitado pelo fato de que os transformadores com potência superior a 10 MVA geralmente apresentam projeto construtivo e características técnicas similares quanto a distribuição física das buchas e tensões do secundário e primário, exigindo pequenos ajustes nas conexões e proteção.

Mesmo assim é difícil encontrar no mercado transformadores disponíveis para aluguel. Uma política de transformador reserva ou estratégias para dispor de transformadores disponíveis para aluguel, devem ser previamente definidas para diminuir o tempo de indisponibilidade em caso de falha dos transformadores.

### b) Mau contato no comutador a vazio.

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

O comutador a vazio tem se constituído como uma das principais causas de falhas em transformadores de PCH. Os problemas de mau contato são identificados pelo ensaio de gascromatografia do óleo isolante e confirmados com o ensaio de medição da resistência ôhmica dos enrolamentos. Em caso mais extremos ocorre a atuação do alarme de primeiro estágio do relé Buchholz.

É um problema que se pode conviver por um certo período, diminuindo a carga ou até mesmo mudando o tap. No entanto, se o problema for no contato móvel, a mudança de tap não resolverá. Também deve ser considerado que o problema pode ser justamente um desajuste na haste de acionamento e a ação de mudar o tap pode agravar o problema. A mudança de tap deverá ser a última alternativa.

Independente das alternativas escolhidas para se postergar a manutenção, em um determinado momento ela será inadiável, pois a tendência do problema de mau contato é só piorar.

Problemas no comutador de tap podem ser resolvidos no campo, seja através das janelas de inspeção, da abertura da tampa principal ou com a remoção da parte ativa. A decisão dependerá do projeto do transformador e dos recursos disponíveis na subestação da PCH.

Fatores como a existência das janelas de inspeção próximas ao ponto com problema, a exposição dos contatos do comutador (podem ser enclausurados), serão determinantes para a execução do reparo em campo.

O acesso interno a transformadores de 30 MVA com tensão de até 138 kV não é possível devido a limitação de espaço entre a parte ativa e tanque.

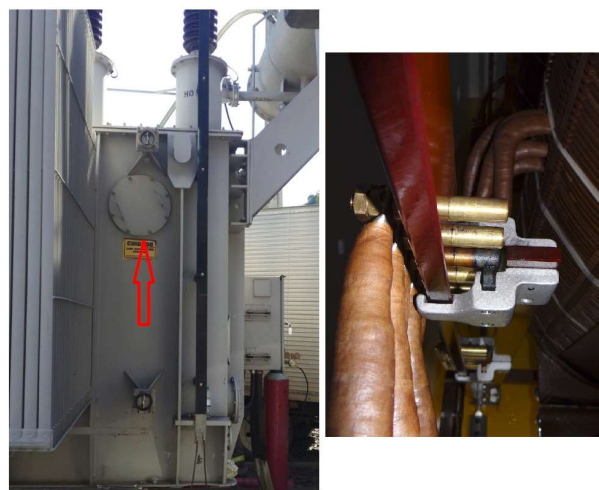


Figura 1 – Janela de acesso ao comutador e contato do comutador carbonizado.

Caso não seja possível resolver o problema através das janelas de inspeção, será necessário remover a parte ativa do tanque. Esse procedimento requer uma logística mais complexa.

Há a necessidade de uma área de serviço próxima a subestação onde será possível executar a abertura do transformador e a remoção da parte ativa.

No entanto, para que seja possível retirar a parte ativa do tanque na área de serviço, algumas exigências devem ser atendidas. Quais sejam: dimensões da porta de acesso (altura e largura), capacidade e altura da ponte rolante e espaço físico disponível na área de serviço

Outro item importante é a facilidade ou dificuldade para transportar o transformador até a área de serviço.



Figura 2 – Montagem da subestação com o transformador próximo a área de serviço e com a subestação afastada da casa de força

O ideal é que o transformador seja posicionado próximo à área de serviço. Mais isso na maioria das vezes não é possível devido às características do terreno onde as PCHs são construídas, normalmente bem acidentados.

Nesse caso deve-se prever um acesso para o transporte do transformador da subestação até a área de serviço.



Figura 3 – Retirada da parte ativa e comutador enclausurado.

c) Circulação de corrente no núcleo e nas ferragens.

Situação recorrente em transformadores em geral, e não poderia ser diferente nos transformadores de PCH, esse problema é detectado no ensaio de gascromatografia do óleo isolante. Na maioria dos casos é possível conviver com esse problema por longos períodos, até que surja uma situação favorável para uma investigação mais minuciosa.

O maior problema são as características dos gases gerados por esse defeito, os quais são muito similares com os gases gerados por mau contato. Uma investigação tem que ser feita para determinar a real causa da geração dos gases.

Quando o aterramento do núcleo e das ferragens (armadura) são externamente acessíveis, essa verificação fica muito fácil. Porém, quando o aterramento é interno, é necessária a abertura do transformador para fazer os

testes. Por norma o aterramento do núcleo deve ser efetuado do lado externo, No entanto o aterramento da ferragem externamente não esta previsto em norma.

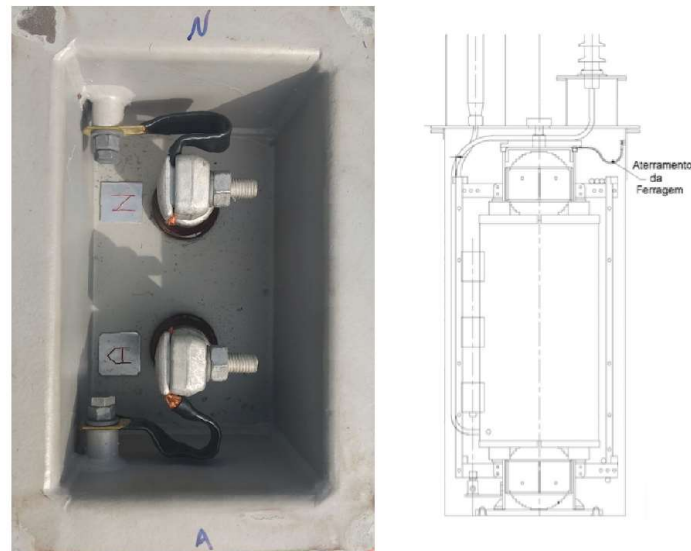


Figura 4 – Aterramento do núcleo e ferragem externos e aterramento da ferragem interno.

d) Buchas.

A bucha pode apresentar os seguintes tipos de falha:

- Degradação do isolamento, verificada em ensaios periódicos
- Vazamentos (possível correção em campo)
- Explosão da parte interna ao transformador
- Explosão danificando somente a parte externa da bucha (quebra da porcelana)

Se ocorrer explosão da parte interna da bucha, ou explosão da parte externa, seguida de incêndio, será necessário a remoção da parte ativa.

### 3.0 - CONCLUSÃO

As PCHs exigem programas de manutenção específicos para cada central, onde considerações quanto a disponibilidade de água para operação, conexão de geradores a transformadores, acesso, existência de área de serviço, equipamentos de elevação e transporte e orientações técnicas dos fabricantes dos equipamentos devem ser observados.

A prática de utilizar a capacidade de transformação com potência igual à da soma das potências dos geradores nas PCHs, e as implicações para a realização de manutenções corretivas nesses equipamentos, tornam as falhas em transformadores uma das principais causas de indisponibilidade total ou parcial nesse tipo de central geradora.



A logística para facilitar a inspeção interna e conserto em campo, muitas vezes não são consideradas no projeto.

Observa-se que mesmo naquelas PCHs que dispõem de uma área de serviço com recurso para a desmontagem do transformador, o deslocamento deste equipamento da subestação até estas área de serviço normalmente é bem difícil.

O ideal é que essa situação seja considerada durante o projeto para minimizar as dificuldades quando da ocorrência de falhas no transformador.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) LEONARDO ALBARELLO. Guia para a implementação de pequenas centrais hidroelétricas - PCHs

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Nome: Roberto de Aguiar

Graduação: ETEFESC / 1978

Experiência profissional: 40 anos atuando em engenharia de manutenção de subestações em concessionaria de energia de G&T. Atualmente presta consultoria e treinamento em manutenção e ensaios em transformadores de potência.