

INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA NOS CONTATOS DAS CHAVES SECCIONADORAS MOTORIZADAS

BISSI, Marcelo¹
LIMA, José Airton G. de²

RESUMO

O estudo em questão tem como foco principal utilizar-se da termografia, para o apontamento de situações onde estejam ocorrendo por diferentes causas, à dissipação de energia de uma forma não desejável. A coleta de dados ocorre utilizando-se da técnica da termografia, desse modo possibilita à análise preditiva e não invasiva ao circuito elétrico. Fatores como a distância para detectar o problema, a segurança que a inspeção oferece por não necessitar o contato com o objeto a ser verificado, a precisão, agilidade e a confiabilidade dos dados coletados, foram os principais fatores para a escolha da técnica da termografia como ferramenta de manutenção preditiva. Busca-se encontrar através do monitoramento em tempo real no campo, pontos de conexão em chaves seccionadoras motorizadas da subestação Foz do Chopin 230kV, localizada em Quedas do Iguaçu, PR, que estejam de alguma forma apresentando sinais de anormalidade devido a um desajuste no equipamento, ocorrido no fechamento da mesma após a sua operação. Através dos dados coletados em campo, é possível afirmar-se que a técnica da termografia alcançou os resultados esperados, visto que foi possível identificar problemas reais em campo e anteciparem-se ações a fim de solucionar o problema antes que ocorram danos maiores ao sistema elétrico.

Palavras chave: Eletricidade. Temperatura. Termografia. Manutenção Preditiva.

¹Técnico Eletrotécnica, cursando Engenharia Elétrica Ênfase Eletrônica UNINTER.

²Especialista em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário UNINTER, Especialista em Novas Tecnologias no Ensino de Matemática pela UNICESUMAR, Bacharel em Engenharia Elétrica pela Faculdade Estácio de Curitiba, Orientador de TCC no Centro Universitário UNINTER, Professor na rede pública de ensino, professor de matemática no SENAI, Professor corretor de provas discursivas EAD e presencial no Centro Universitário UNINTER.

1 INTRODUÇÃO

O estudo em questão que será realizado no decorrer dessa pesquisa tem como foco principal, a utilização da inspeção termográfica para o apontamento de situações, onde esteja ocorrendo por diferentes causas à dissipação de energia de uma forma não desejável. O presente estudo de pesquisa vem através da utilização da termografia, buscar encontrar através do monitoramento que é efetuado em tempo real, pontos de conexão em chaves seccionadoras motorizadas da SEFOC (subestação Foz do Chopim 138/230kV), Quedas do Iguaçu, PR, que estejam de alguma forma apresentando sinais de anormalidade, devido a um desajuste no fechamento após uma manobra e com o propósito de executar uma manutenção preditiva trimestral.

A escolha desse tema foi devido ao fato de os autores trabalharem na Copel (Companhia Paranaense de Energia Elétrica), e quando necessário executa-se a operação da subestação citada. Percebe-se que na operação de fechamento das chaves motorizadas, acontecem situações onde seu fechamento pode não ocorrer da mesma forma nas três fases, e devido a esse posicionamento mecânico da barra condutora, observa-se que nesse ponto pode ser que com o tempo ocasione-se uma má conexão nesse local e por consequência ocasionar um desligamento acidental de uma linha de transmissão.

Após pesquisa sobre qual técnica ou recurso possibilitaria uma análise preditiva sobre o caso, a termografia apresentou-se como uma solução prática que atende plenamente a necessidade de um diagnóstico preventivo e confiável.

2 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

Para um correto funcionamento de todo um sistema elétrico de potência, é necessário que as manutenções sejam preventivas e preditivas, evitando assim defeitos que podem ocasionar desde pequenas interrupções, até danos de maior impacto a todo um sistema elétrico. A termografia trata-se de um método de detecção

da distribuição de energia térmica emitida pela superfície de um ou vários corpos ou objetos. É um ensaio não destrutivo que utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura. Esta técnica fornece informações úteis relativas às condições operacionais de um componente, equipamento ou processo (AFONSO, 2010).

Um defeito em um equipamento de uma subestação, como o aumento da resistência elétrica nas conexões dos equipamentos, chamada de “ponto quente”, pode ocasionar interrupções de grandes proporções desligando uma linha de transmissão ou um equipamento.

Esse fenômeno térmico é ocasionado pelo mau contato entre as partes, assim acarretando no aumento da resistência elétrica e danificando os componentes e vindos a ocasionar uma interrupção. Várias empresas do setor elétrico têm adotado técnicas preditivas como a utilização de câmeras termográfica para evitar as falhas. Este equipamento identifica anormalidades térmicas em função da relação da corrente elétrica e o aumento da resistência elétrica das conexões.

Um dos equipamentos muito utilizados nas subestações são as chaves seccionadoras motorizadas as quais possuem a função de manobrar o sistema de transmissão, as chaves são comandadas a distância e utiliza-se um motor na base da mesma para realizar a abertura ou seu fechamento. O fechamento incorreto pode ocasionar um mau contato, dissipando potência e ocasionando aquecimento nos seus polos, podendo a vir danificar o equipamento e ocasionar interrupções futuras no sistema.

O uso da técnica da termografia como ferramenta de monitoramento de possíveis falhas, apresenta inúmeras vantagens, vista a importância do componente elétrico em questão, as chaves seccionadoras motorizadas 138/230kV, por se tratar de um importante componente de manobra do sistema elétrico de transmissão, cuja sua função juntamente com os demais componentes é alimentar as subestações, a qual a elas estão ligadas, para que posteriormente a energia elétrica possa chegar às residências, após todo o processo de transporte e transformação que se faça necessário. Devido à facilidade de operação de uma câmera termográfica e suas características operacionais, é uma excelente ferramenta para a coleta de dados em campo, pelo fato de não precisar haver contato direto com o componente a ser inspecionado, não precisa ser desligado o circuito ou processo que será monitorado e a forma com que as informações são armazenadas nos termogramas, facilitam e

otimizam o tempo para posterior avaliação da gravidade da situação e a tomada de decisão.

Para prosseguir como o desenvolvimento da pesquisa, alguns conceitos devem estar claros, para que seja possível diferenciar e entender melhor cada definição de acordo com sua importância dentro da termografia.

2.1 TERMOGRAFIA

A termografia “é uma técnica de sensoriamento remoto, que se baseia na detecção da radiação térmica emitida por todos os corpos a temperatura não nula” (HOLST, 2000).

O principal objetivo da utilização da termografia é identificar antecipadamente pontos onde haja um aumento de temperatura acima do normal ou de limites de valores pré-estabelecidos e a partir disso antecipar uma ação, a fim de assegurar a segurança e o correto funcionamento de uma instalação elétrica como um todo.

A termografia apresenta algumas vantagens como: a possibilidade da formação de termogramas, que são arquivos gerados no momento da inspeção para posterior análise e tomada de decisão, e a possibilidade da formação de um banco de dados para acompanhamento futuro da situação do ponto em análise. A utilização da termografia reduz o custo das manutenções em instalações, visto que com sua utilização é possível antecipar defeitos e impedir que os mesmos causem problemas mais graves em toda a instalação, como um incêndio em uma instalação, a parada de uma máquina ou o desligamento de um circuito, dessa forma aumentando a segurança e a confiabilidade do sistema em análise.

2.1.1 Temperatura, calor e energia térmica

“A temperatura é compreendida em termos da energia cinética média das partículas” (PALANDI. et. al., 2010). A diferença de temperatura encontrada em um objeto pode nos dizer muito, através da termografia é possível capturar imagens

térmicas e verificar atual temperatura que se encontra o objeto inspecionado.

“Calor é a transferência de energia de uma região para outra como resultado de uma diferença de temperatura entre elas”, (SANTOS, 2006). Ou seja, só haverá fluxo de calor se houver diferença de temperatura entre os materiais em análise, caso estejam na mesma temperatura, estarão em equilíbrio térmico e não haverá circulação de calor entre os corpos.

“Energia interna de um dado sistema é a soma das energias cinéticas e das energias potenciais de todas as moléculas que o constituem”, (PALANDI J. et. al., 2010). A partir dessa definição, percebe-se que se de alguma forma, se uma fonte de calor for colocada próxima de um objeto, sua energia térmica irá mudar de acordo com a intensidade do calor fornecido, visto que sua energia cinética interna irá aumentar, conseqüentemente aumentando sua energia térmica e sua temperatura.

2.2 FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

“A transferência de calor de um ponto a outro de um meio se dá através de três processos diferentes: radiação, condução e convecção.” (SILVA, 2004).

2.2.1 Radiação

A “Radiação térmica é o modo pelo qual um corpo emite continuamente energia sob a forma de radiações de natureza eletromagnética, em função de sua temperatura” (ARAUJO, 2010). Um exemplo de radiação é “quando sentimos ao aproximar uma mão de uma lâmpada incandescente que é essencialmente um resultado de radiação infravermelha emitida pelo filamento incandescente e absorvida pela mão” (DONOSO, 2008). “Todos os corpos a nossa volta estão constantemente emitindo e absorvendo radiação térmica; para temperaturas usuais a emissão se dá na faixa de frequência do infravermelho que não é visível” (ARAUJO, 2010). De acordo com as afirmações dos autores, destaca-se que todos os corpos têm a capacidade e a propriedade de emitir calor na forma de radiação, a intensidade dessa radiação é de

acordo com a temperatura que o mesmo se encontra, quanto maior sua temperatura, maior será a quantidade de calor que esse corpo estará irradiando, e que de precisamos de um instrumento como o termovisor para poder capturar os raios infravermelhos emitidos pelos objetos.

2.2.2 Condução

“Para que haja transferência de calor deve existir um diferencial de temperaturas entre os corpos/meios” (HELFENSTEIN, 2017). Como exemplo, podemos citar uma barra de metal com uma ponta no fogo, à medida que esta barra vai esquentando, os elétrons que são parte dessa barra começaram a ficar agitados, aumentando sua energia cinética e começaram a se chocar com os outros elétrons da parte fria da barra até então, logo esse choque com os demais elétrons, resultaram em transferência de calor até o ponto que toda a barra fique aquecida.

2.2.3 Convecção

“A transferência de calor por convecção ocorre quando há transmissão ou transferência de energia de um lugar para outro pelo deslocamento de meio material através de correntes que se estabelecem no interior desse meio.” (SCHULZ, 2009).

Para NETO (2010) a transferência de calor pode ocorrer por convecção forçada é quando a movimentação de fluidos ocorre por meios artificiais ventilador, abanador ar condicionado entre outros. Convecção natural é quando tem a movimentação do fluido por meios naturais, ou seja, pelo próprio aquecimento ou resfriamento de fluido.

2.3 CHAVES SECCIONADORAS MOTORIZADAS

De acordo com CANTORI (2010), as chaves seccionadoras motorizadas trabalham com motor de corrente contínua. Tem como função ligar ou desligar partes dos circuitos e classificam-se em:

- Isoladoras: utilizadas para isolação de componentes da subestação, como religadores e transformadores tendo como função isolar esses componentes para possíveis manutenções;
- *By-pass* (de contorno): serve para contornar um determinado componente para tira-lo de operação e manter a linha de transmissão energizada;
- Seletoras: selecionar o circuito onde determinado componente será conectado.

Conforme anexo figura 8, simbologia da classificação das chaves seccionadoras motorizadas.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do estudo as informações foram coletadas através do aparelho termovisor marca NEC modelo NEC-TH7100. Os dados e imagens coletadas foram analisados e comparados com a tabela 1, para priorizar a manutenção do mesmo de acordo com a gravidade e critérios da anomalia encontrada, sendo importantes para evitar possíveis defeitos inesperados. Para se alcançar os objetivos propostos no trabalho, o mesmo é embasado em pesquisa bibliográfica, históricos e estudos de manutenção da Copel, a fim de obter conhecimento teórico e prático. A pesquisa para este trabalho consiste na inspeção termográfica nas conexões das chaves seccionadoras na subestação Foz do Chopim 138/230kV, Quedas do Iguaçu, PR, coordenadas 25°31'23.9"S 53°05'49.5"W, a qual a concessão pertence a Copel.

Realizada a inspeção em uma subestação desabrigada de energia, em todos pontos de conexão como: disjuntores, transformadores de potência, transformadores de corrente, transformador interligador, barramentos e chaves seccionadoras, mas o foco principal foi nas conexões dos polos das chaves seccionadoras.

Para a realização da pesquisa em campo foi utilizado à técnica de inspeção

termográfica térmica. O planejamento das atividades que foram desenvolvidas segue todos os requisitos de segurança e trabalhos envolvendo instalações elétricas conforme NR-10 (Norma Regulamentadora 10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), e IT075/2018 (Instruções Técnicas) da Copel conforme SCREMIM et al., (2018) em anexo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da inspeção termográfica realizadas na SEFOC utilizou-se o aparelho termovisor marca NEC modelo NEC-TH7100, conforme figura 1, em todos os pontos de conexões como disjuntores, transformadores de potência, transformadores de corrente, transformador interligador, barramentos e chaves seccionadoras, mas o foco principal foi nas conexões dos polos das chaves seccionadoras. Tendo como foco principal as conexões dos polos das chaves seccionadoras, visando manutenção preditiva de forma trimestral para verificar possíveis anomalias ou aquecimentos nas conexões.



Figura 1 - NEC-TH7100.

Fonte: Os autores, 2019.

De acordo com SANTOS, (2006) na manutenção preditiva, as falhas no setor elétrico podem ser encontradas e corrigidas no início, antes que ocorram falhas

potenciais capazes de provocar danos aos equipamentos e interrupção no fornecimento da energia elétrica. Com a utilização da termografia é possível reduzir custos e tempo de intervenção, ter-se um conhecimento prévio dos defeitos, sendo possível programar uma manutenção corretiva, minimizando os riscos de acidentes e interrupções inesperadas.

Nosso foco em chaves seccionadoras motorizadas deve-se, as subestações de energia possuir diversos equipamentos, os quais todos possuem conexões entre os mesmos e a rede, quase todos possuem conexões permanentes sem a necessidade de desconectar ou conectar as mesmas aos equipamentos, sendo mais difícil ocorrer defeitos, mas as chaves seccionadoras motorizadas são equipamentos de manobra utilizados para executar a função de seccionar ou interligar o sistema, os quais seus contatos e conexões quando operados devem executar o fechamento ou abertura do mesmo. São equipamentos eletromecânicos e qualquer desajuste no mesmo pode ocorrer um mau contato ocasionando um aquecimento. Sem a utilização da termografia não é possível a olho nu perceber esse aquecimento, somente em estágios mais avançados quando já está ocorrendo danos às conexões e aos equipamentos.

Verificou-se uma anomalia na chave 29-03 CTO-SOS 1 (circuito Salto Osório) fase - b, mostrado na figura 3, uma diferença de temperatura, utilizou-se vários critérios predefinidos conforme IT075/2018, para confirmar o defeito, descritos como ΔT , “Temperatura do ponto com anomalia térmica menos a temperatura ambiente”, usado como referência na temperatura ambiente o equipamento termo higrômetro digital, mostrado na figura 2, e a temperatura do ponto com anomalia é coletado na imagem térmica obtida através da termografia. Para uma maior confiabilidade utilizamos conforme IT075/2018, temperatura de referência (T_{ref}) “Temperatura de um ponto de referencia, normalmente uma fase adjacente com carga similar, ou corpo de equipamento de fase adjacente desde que com as mesmas características físicas do ponto com anomalia inspecionado”. Após qualquer temperatura que se desvie do esperado é verificado a temperatura Delta e analisado e comparado com a tabela 1, “Classificação da Gravidade e Critério”.



Figura - 2 Termo Higrômetro Digital.
Fonte: Os autores, 2019.

No momento da inspeção a temperatura ambiente encontrava-se em 30° Celsius, a temperatura do ponto com anomalia estava em 109,3° Celsius, logo a temperatura delta encontrava-se em 79,3° Celsius. Efetuou-se a inspeção na chave adjacente mostrado na figura 4 para verificar-se a temperatura de referência, a qual se encontrava sem alteração. Levando em consideração a temperatura Delta de 79,3° Celsius encontrada na conexão da chave 29-03 fase – b, foi então verificado a (tabela1), e enquadrou-se na prioridade1 (> 65) descrita como, “executar o mais breve possível, inclusive com desligamento imediato para casos que ofereçam riscos às pessoas, ao sistema elétrico ou ao(s) equipamento(s)”.

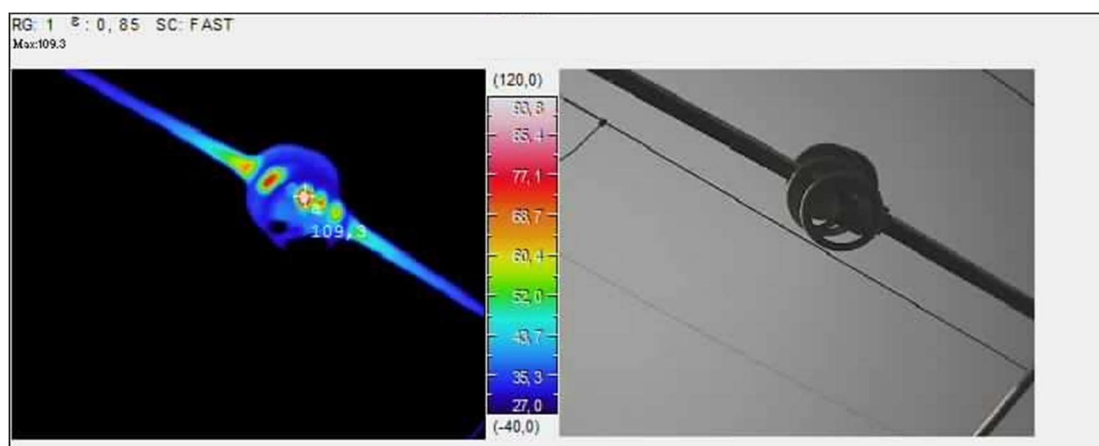


Figura 3 - Chave 29-03 CTO/SOS 230kV Fase B.
Fonte: Os autores, 2019.

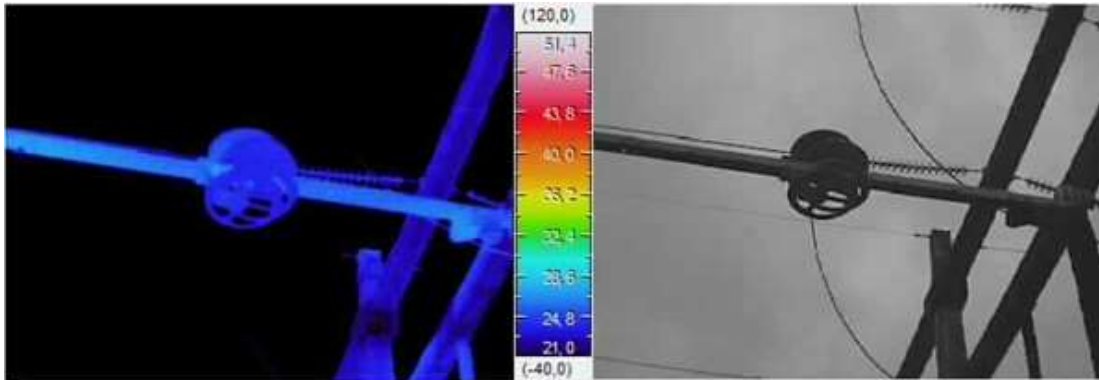


Figura 4 - Chave 29-03 CTO/SOS 230kV Fase A.
Fonte: Os autores, 2019.

Executaram-se os seguintes procedimentos após constatação da anomalia: foi imediatamente gerada uma SDS (solicitação de serviço) para manutenção eletromecânica e avisado o responsável por telefone, qual é responsável pela manutenção corretiva dos equipamentos. Com base na SDS a eletromecânica gerou uma OS (ordem de serviço) e SISC (solicitação de intervenção no sistema Copel), qual foi enviada para o escritório técnico da operação. Quando o mesmo recebeu a SISC através do sistema GOP (gerência de operação e planejamento da transmissão) o escritório técnico gerou uma AES (autorização para execução de serviço) para enviar ao COGT (centro de operação da geração e transmissão Copel). COGT entrou em contato com ONS (operador nacional do sistema) em tempo real repassando a situação e conforme procedimentos de rede da ONS sub módulo 6.5 intervenção (tipo 1), foi classificado como intervenção de urgência, programada com antecedência inferior a 24hs, foi autorizada desligar a linha em questão, no dia seguinte. Executada a intervenção conforme liberação a equipe de eletromecânica executou o reparo conforme procedimentos internos.

Efetuuou-se o reparo necessário no equipamento e seguindo o IT075/2018, executou-se outra inspeção a fim de verificar se à anomalia foi sanada, mostrada na figura 5, foi possível confirmar através da inspeção termográfica a normalidade no equipamento.

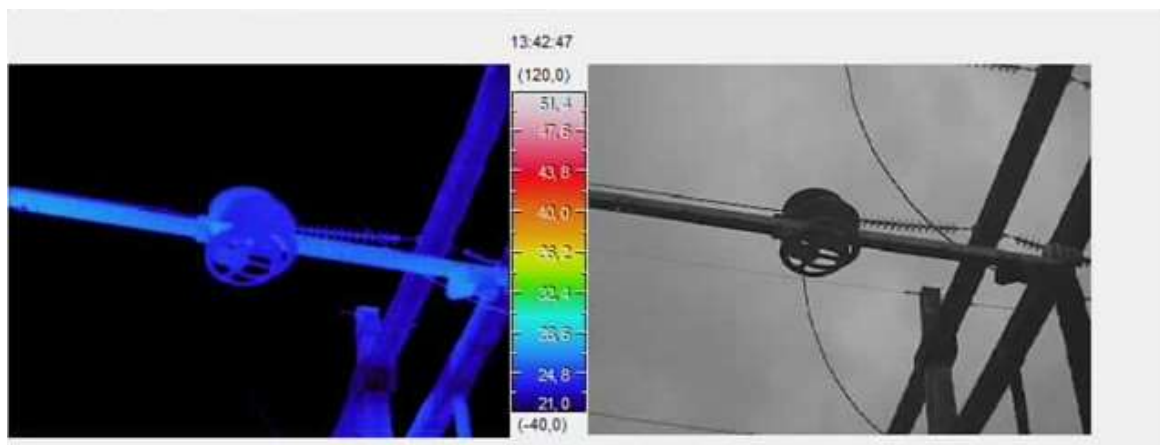


Figura 5 - Chave 29-03 CTO/SOS 230kV Fase B .
 Fonte: Os autores, 2019.

Inspecionaram-se também outros equipamentos e conexões com o termovisor, citado alguns conforme descrito abaixo, mostrado na figura 6, TC 230kV CTO AT A (transformador de corrente 230kV circuito do auto transformador A 230KV/138Kv 150MW), e mostrado na figura 7, AT-B 230/138KV 150MW (auto transformador B 230kV/138kV 150MW), mas em todo restante da inspeção os equipamentos e as conexões se encontravam na normalidade.

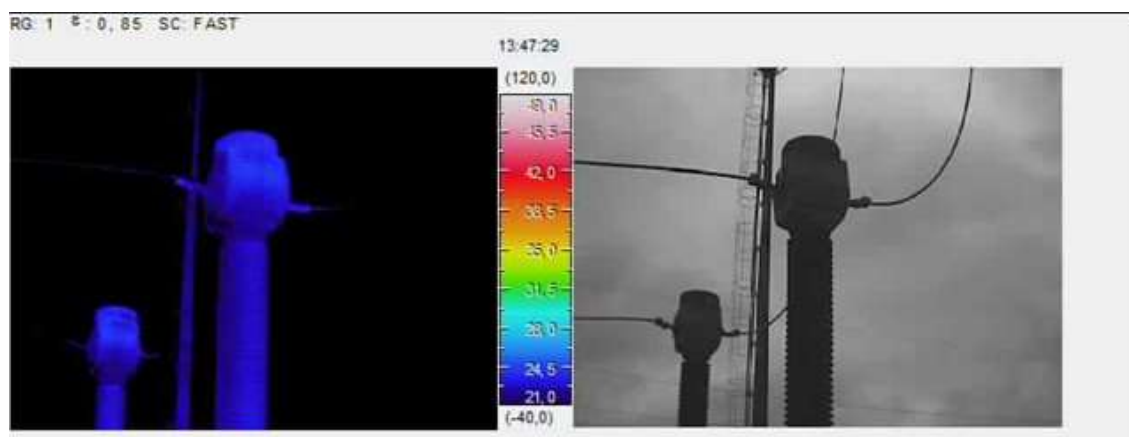


Figura 6 - TC 230kv CTO AT-A.
 Fonte: Os autores, 2019.

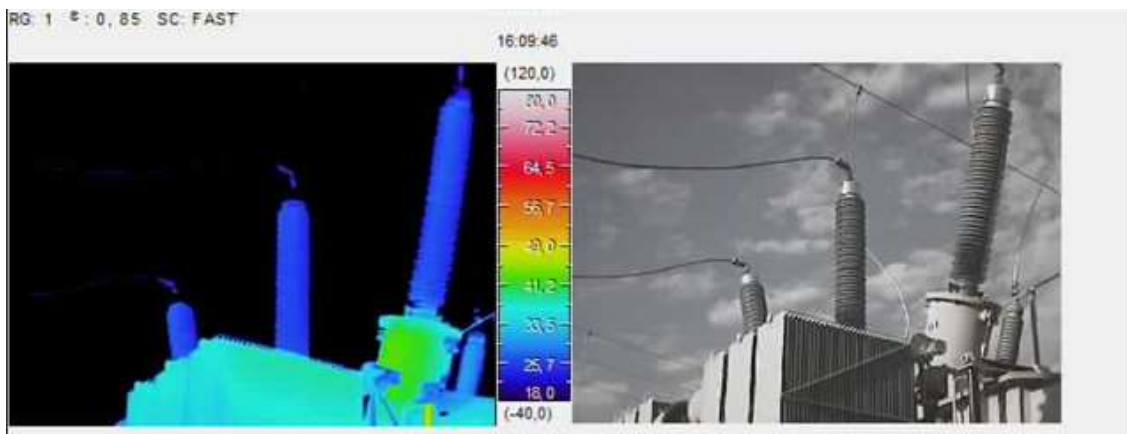


Figura 7 - AT-B 230/138KV 150MW.
Fonte: Os autores, 2019.

Uma das formas mais objetivas de se detectar anomalias nas subestações é através da variação de temperatura de um equipamento ou conexão, mas devem-se levar em considerações outros fatores importantes, como temperatura ambiente, carregamento do circuito, dimensionamento dos componentes inspecionados entre outros já citados neste estudo, quanto maior a corrente do circuito maior será a potência dissipada ocasionando um maior aquecimento, quanto maior o carregamento das subestações mais suscetível estará a defeito.

Conforme descrita por (LYON; ORLOVE; PETERS, 2002) o aquecimento gerado em uma conexão com defeito depende do fluxo da corrente que atravessa o mesmo, e a potencia dissipada por um componente defeituoso cresce rapidamente com um aumento da corrente e a temperatura mesmo aumentando com a passagem da corrente elétrica segue um padrão muito complexo, entre um percentual linear e geométrico.

Ao utilizar-se as inspeções termográfica em uma subestação, gera-se uma maior confiabilidade, segurança e continuidade de operação nos equipamentos, sendo a melhor ferramenta disponível na atualidade. Para uma maior obtenção de êxito nas inspeções depende bom conhecimento do equipamento e levar em consideração todos os parâmetros elétricos e conhecimento das variações térmicas dos componentes inspecionados. Sendo assim a melhor forma de verificar-se qualquer potencial anormalidade.

5 CONSIDERAÇÕES E FINAIS

Constatou-se que a partir das inspeções realizadas com a utilização da termografia, foi possível encontrar uma anomalia conforme descrito e citado no estudo. Com isso comprovar a alta confiabilidade na utilização da mesma. De forma preditiva e antecedendo um possível defeito, que poderia ocasionar desligamento e oferecer riscos aos operadores.

Observou-se também devido a subestação ser de alta tensão e desabrigada há diversas limitações e influências relacionadas aos fatores ambientais e condições técnicas, que possam prejudicar a inspeção termográfica, mas com um conhecimento prévio baseados em estudos e instruções técnicas é possível reduzi-las e evita-las.

Destaca-se a termografia pela capacidade de detectar os defeitos em estágios iniciais, realizar inspeção sem a necessidade de desligar os equipamentos e inspecionar de forma segura mantendo a distância de segurança, ter a obtenção na aquisição de dados em tempo real podendo analisar e se chegar a uma tomada de decisão da melhor forma de agir. Com todas essas qualidades tornam a inspeção termográfica uma das principais aliada para prevenir falhas reduzindo custos e aumentar a confiabilidade no sistema elétrico.

Esse estudo procurou abordar a inspeção termográfica em subestação de alta tensão desabrigada. Foi possível demonstrar ao longo do estudo, a diversidade de componentes elétricos e aplicações que a técnica da termografia tem em potencial para trabalhos futuros, como estudo detalhado de calibração de câmeras termográficas em subestações abrigadas e desabrigadas e ensaios experimentais para definir níveis de prioridades. As concessionárias de energia estão investindo pesadamente nas inspeções termográficas em todos os setores, dado o grau de investimento, tornam-se necessários novos estudos em várias áreas elétricas.

O estudo de caso apresentado foi realizado na Copel, comprova a eficácia da utilização da inspeção termográfica e demonstra a importância em inspeções realizadas no setor elétrico.

REFERÊNCIAS

AFONSO, J. Termografia – teoria, procedimentos e vantagens. ITEAG, **Instalações Técnicas Especiais Ltda.** 2010.

ARAUJO, J. C. M. Projeto de instrumentação de final de curso. **A contextualização da transferência de calor por condução e radiação.** Instituto de Física UFRJ 2010.

CANTORI, N. A. A. J. Projeto de Diplomação. **Integração de Subestações de Distribuição com COS.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS, 2010.

DIAS, G. A. **Dimensionamento e Seleção de Componentes e Sistema em Subestações de Alta Tensão Visando a Eficiência Energética.** Porto Alegre, 1996.

DONOSO, J.P. **Transferência de calor por radiação.** Universidade de São Paulo, Instituto de física de São Carlos IFSC 2008.

HELFENSTEIN R. P. **Teoria Construtal Aplicada À Otimização Geométrica Da Disposição Dos Tubos De Um Trocador De Calor Com Arranjo De Tubos Alternados,** UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES 2017.

HOLST G. C. **Common Sense Approach to Thermal Imaging,** SPIE Optical Engineering Press, Washington, 2000.

LYON J. B. R.; ORLOVE, G. L.; PETERS D. L. **The Relationship between Current Load and Temperature for Quasi-Steady State and Transient Conditions.** Infrared Training Center 2002.

NETO, C. B. M. **Eng. Transferência de calor.** Volume I parte 3. Instituto Federal de Santa Catarina, Campus de São José 2010.

NR-10, 2004. **Norma Regulamentadora 10 - Segurança em instalações e serviços em eletricidade.** Texto dado pela Portaria GM n.º 598, de 07 de Dezembro de 2004.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS **Programação de intervenções em instalações da rede de operação,** Sub Módulo 6.5 2017.

PALANDI, J; FIGUEIREDO, D. B; DENARDIN, J. C; MAGNAGO P. R. **Teoria Cinética e Termodinâmica.** Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

RODRIGUES, E. **Processos de Transmissão de Calor. Conforto Térmico das Construções.** Disponível em:

<https://wiki.sj.ifsc.edu.br/wiki/images/c/c6/Transmissao_de_Calor_em_Edificacoes.pdf>. Acesso em: 07 Mar. 2019.

SANTOS, L. **Física Óptica: Teoria, Experimentos e Aplicações Termografia infravermelha em subestações de alta tensão desabrigadas**. Universidade Federal de Itajubá, 2006.

SCREMIM, M; CASTIONI, J. C. O; MARINI, M. A. **Procedimentos para inspeções termográficas em SEs e equipamentos de transmissão IT-075**. Copel, Curitiba, PR, 2018.

SCHULZ, D. **Convecção Programa de pós-graduação em ensino de física, Instituto de Física**. Colégio Espírito Santo Canos- RS UFRGS 2009.

SILVA, Romero Tavares. **Temperatura calor e primeira lei da termodinâmica**. Notas de Aula 2004.

ANEXOS

Classificação da Gravidade/Critério	Descrição do Atendimento	Dt °C Conexões	Prazos (Dias)
Prioridade 1	O mais breve possível, inclusive com desligamento imediato para casos que ofereçam riscos às pessoas, ao sistema elétrico ou ao(s) equipamento(s).	> 65	0
Prioridade 2	Atendimento programado dentro dos prazos legais para solicitação de desligamentos, priorizando as intervenções das anomalias de acordo com as características das conexões, materiais ou equipamentos envolvidos, com as condições operativas do sistema e com a importância do circuito.	50 a 65	0 a 90
Prioridade 3		30 a 50	
Prioridade 4	Acompanhamento da evolução e atendimento, se necessário, por aproveitamento de outras programações ou desligamentos ou de acordo com a disponibilidade da equipe de manutenção.	10 a 30	0 a 180
Prioridade 5	Condição normal de operação para conexões ou sob análise/investigação em casos especiais.	< 10	∞

Tabela 1 – Limites de elevação de temperatura para conexões.
Fonte: Copel, 2018.

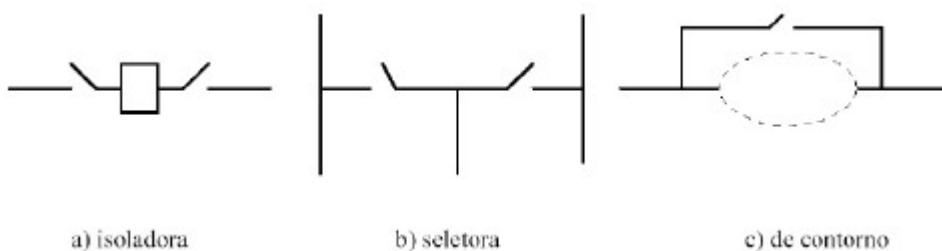


Figura 8 – Classificação das seccionadoras motorizadas.
Fonte: (Dias, 1996).

PROCEDIMENTOS ADOTADOS

De acordo com SCREMIM et al., (2018) e normas de segurança NR10, foram seguidas recomendações necessárias e procedidas inspeções termográficas na SE (Subestação de Energia) e equipamentos de transmissão:

- Observado as normas de segurança da área inspecionada;
- Evitado inspeções sob sol intenso, executado as inspeções no período da manhã, quando a influência do carregamento do sol é baixa, onde os reflexos solares são menores;
- Evitado inspeções termográficas sob vento intenso;
- Evitado inspeções com chuva;
- Executado as inspeções uma hora após a energização com carga do circuito, de modo a propiciar a estabilização térmica;
- Para ajustes do instrumento, verificado o manual do fabricante.
- Corrente de carga maior ou igual a 50% da corrente máxima do circuito ou da média dos últimos três meses;
- A emissividade deve estar ajustada em 0,85, parâmetro adimensional que estabelece a relação entre a quantidade de energia irradiada por um corpo em estudo e a que seria emitida por um corpo negro, à mesma temperatura e comprimento de onda. A emissividade varia entre (0 e 1);
Observação:
- Quando necessário um estudo mais aprofundado ou caso não seja possível à execução da inspeção no horário de maior carregamento do circuito, deverá ser utilizada a fórmula para o cálculo de correção da temperatura (temperatura estimada para o carregamento máximo do circuito) descrita na sequência, corrente de carga;

$$DT_{max}=DT_c.(I_{max}/I_c)^2$$

Onde:

I_c = Corrente de carga no instante da inspeção.

I_{max} = Corrente máxima do circuito ou média dos últimos três meses.

DT_c = Diferença entre a temperatura medida com carga e a temperatura ambiente.

DT_{max} = Diferença entre a temperatura medida com carga e a temperatura ambiente corrigida para a carga máxima ou média dos últimos 3 meses.

Procedimentos adotados.
Fonte: Copel, 2018.

PROCEDIMENTOS EXECUTADOS

De acordo com SCREMIM et al., (2018) e normas de segurança NR10, foram seguidos os procedimentos necessários que iremos executar para inspeção termográfica na SE e equipamentos de transmissão:


- Executado a calibração do termovisor;
- Ajustado os parâmetros do termovisor de acordo com o descrito no manual do fabricante de modo a se conseguir uma melhor imagem térmica e inserido os valores de temperatura ambiente e umidade relativa do ar, bem como os valores da distância aproximada que será realizada a inspeção e Emissividade (igual a 0,85);
- Observado condições de corrente de carga e tempo de energização do circuito conforme fórmula de corrente de carga;
- Aproximado máximo, respeitando sempre limites de segurança de modo obter uma melhor imagem e minimizar o efeito distância na inspeção.
- Ajustado a imagem a fim de obter o melhor foco, observação: (o melhor foco se dá normalmente na máxima temperatura encontrada);
- Efetuado a inspeção em outros ângulos de modo a minimizar e/ou identificar possíveis reflexos;
- Observado as recomendações de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e velocidade do vento, observando se estão dentro dos critérios descritos nas recomendações foi identificado uma anomalia e registrado no RIT relatório de inspeção termográfica em anexos;

Ao localizar a anomalia térmica:

- Para conexões e seccionadores, consultado tabela1;
- Registrado a inspeção com a imagem térmica e a imagem digital;
- Registrado os dados de temperatura ambiente e umidade relativa do ar;
- Registrado a localização do ponto, corrente máxima e de carregamento do circuito.
- Consultado histórico para avaliar a evolução do ponto quente;
- Preenchido o RIT;
- Programado a intervenção no equipamento para sanar o problema encontrado levando-se em consideração o anexo, tab.1;
- Após o reparo executado uma nova inspeção de modo a confirmar que a anomalia foi sanada.

Procedimentos executados.

Fonte: Copel, 2018.

		RELATÓRIO DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA - RIT				Data						
						RIT Nº						
1	Localização/Circuito				Critério Atendimento							
2	Família				Tensão (KV)							
3	Identificação				Nº Operacional							
4	Temperaturas		1.Ambiente (°C)		2.Referência (°C)		Objeto (°C)		Delta 1		Delta 2	
5	I de Carga (A)		I Ponta ou Média (A)						% Corrente			
6	Condições Atmosféricas		Período da Inspeção						URA (%)			
7	NOTA: Aquecimentos em contatos de seccionadores, corpo de pára-raios, T's, buchas e isoladores devem ser investigados.											
8	Descrição / Localização / Identificação do Ponto de Aquecimento											
9												
10												
11												
12												
13												
14	Inspeção realizada por:		Marcelo / Edimo e Cleber			Data	15/06/2019	OS				
15	Imagens: Térmica, Digital, Desenho (JPEG)											
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
44	Executantes:		Marcelo / Edimo e Cleber			Data		OS				
45	Causa do Aquecimento											
46	Solução Adotada											
47	Classificação da Gravidade/Critério		Descrição do Atendimento					Δt °C Conexões	Prazos (Dias)			
48	Prioridade 1		O mais breve possível, inclusive com desligamento imediate para casos que ofereçam riscos às pessoas, ao sistema elétrico ou ao(s) equipamento(s).					> 65	0			
49	Prioridade 2		Atendimento programado dentro dos prazos legais para solicitação de desligamentos, priorizando as intervenções das anomalias de acordo com as características das conexões, materiais ou equipamentos envolvidos, com as condições operativas do sistema e com a importância do circuito.					50 a 65	90			
50	Prioridade 3							30 a 50	180			
51	Prioridade 4		Acompanhamento da evolução e atendimento, se necessário, por aproveitamento de outras programações ou desligamentos ou de acordo com a disponibilidade da equipe de manutenção .					10 a 30	∞			
52	Prioridade 5		Condição normal de operação para conexões ou sob análise/investigação em casos especiais.					< 10				
53	Os valores estipulados na tabela de temperaturas são apenas orientativos para auxílio na classificação da gravidade da anomalia. Dependendo da condição ou situação observada (características da conexão e/ou tipo do equipamento), a avaliação do termografista pode determinar outro critério para atendimento. O prazo para intervenção deve respeitar a escala de tempo sugerida, exceto em situações peculiares a cada Regional/Subestação/Circuito, mas desde que sejam tomadas medidas preventivas de controle, como monitoramento ou intervenção "parcial" com linha viva, por exemplo, até o momento da intervenção.											
54												
55												

RIT - Relatório de Inspeção Termográfica.

Fonte: Copel, 2018.