

CONTECComissão de Normalização
Técnica**SC-27**

Ensaaios Não Destrutivos

Ensaio Não Destrutivo - Termografia

1ª Emenda

Esta é a 1ª Emenda da PETROBRAS N-2472 REV. D, e se destina a modificar o seu texto na(s) parte(s) indicada(s) a seguir:

NOTA 1 A(s) nova(s) página(s) com a(s) alteração(ões) efetuada(s) está(ão) colocada(s) na(s) posição(ões) correspondente(s).

NOTA 2 A(s) página(s) emendada(s), com a indicação da data da emenda, está(ão) colocada(s) no final da norma, em ordem cronológica, e não devem ser utilizada(s).

CONTEÚDO DA 1ª EMENDA - 09/2013

- Seção 2:

Exclusão da ABNT NBR 13377:1995.

- Subseção 5.2.9:

Exclusão da ABNT NBR 13377:1995.

Ensaio Não Destrutivo - Termografia

Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. A Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma é a responsável pela adoção e aplicação das suas seções, subseções e enumerações.

Requisito Técnico: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada: Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter não-impositivo. É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, a seção, subseção e enumeração a ser revisada, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na PETROBRAS, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

Apresentação

As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GT (formados por Técnicos Colaboradores especialistas da Companhia e de suas Subsidiárias), são comentadas pelas Unidades da Companhia e por suas Subsidiárias, são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SC (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando as Unidades da Companhia e as Subsidiárias) e homologadas pelo Núcleo Executivo (formado pelos representantes das Unidades da Companhia e das Subsidiárias). Uma Norma Técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a Norma Técnica PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

CONTEC

 Comissão de Normalização
Técnica

SC - 27

Ensaios Não Destrutivos

1 Escopo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis na realização do ensaio não destrutivo por meio da técnica de termografia.

1.2 Esta Norma se aplica a inspeção de sistemas elétricos e mecânicos e de equipamentos de processo através da termografia, com obtenção de termogramas e registro de temperaturas.

1.3 O ensaio não destrutivo, objeto desta Norma, se aplica a partir da data de sua emissão.

1.4 Esta Norma contém Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

2 Referências Normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (incluindo emendas).

INMETRO [VIM:2008](#) - Vocabulário Internacional de Metrologia (Primeira Edição Brasileira do VIM 2008);

Norma Regulamentadora nº 10 ([NR-10](#)) - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;

PETROBRAS [N-2830](#) - Critérios de Segurança para Ambientes e Serviços em Painéis e Equipamentos Elétricos com Potencial de Arco Elétrico;

ABNT [NBR 8221:2003](#) - Equipamento de Proteção Individual - Capacete de Segurança para Uso na Indústria;

ABNT [NBR 13712:1996](#) - Luvas de Proteção;

ABNT [NBR 15424:2010](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Terminologia;

ABNT [NBR 15572:2008](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Guia para Inspeção de Equipamentos Elétricos e Mecânicos;

ABNT [NBR 15718:2009](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Guia para Verificação de Termovisores;

ABNT [NBR 15763:2009](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Critérios de Definição de Periodicidade de Inspeção em Sistemas Elétricos de Potência;

ABNT [NBR 15866:2010](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Metodologia de Avaliação de Temperatura de Trabalho de Equipamentos em Sistemas Elétricos;

API [530:2008](#) - Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries;

ASTM [D 737:2008](#) - Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics;

ASTM [D 6413:2008](#) - Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test);

ASTM [E 1933:2005](#) - Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers;

ASTM [F 1506:2010](#) - Standard Performance Specification for Flame Resistant Textile Materials for Wearing Apparel for Use by Electrical Workers Exposed to Momentary Electric Arc and Related Thermal Hazards;

ASTM [F 1930:2008](#) - Standard Test Method for Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Against Flash Fire Simulations Using an Instrumented Manikin;

ASTM [F 1959/1959M REV A:2007](#) - Standard Test Method for Determining the Arc Thermal Performance Value of Materials for Clothing;

ASTM [F 2178:2008](#) - Standard Test Method for Determining the Arc Rating of Face Protective Products;

ASTM [F 2621:2006](#) - Standard Practice for Determining Response Characteristics and Design Integrity of Arc Rated Finished Products in an Electric Arc Exposure;

ISEA Z87.1:2010 - Occupational and Educational Personal Eye and Face Protection Devices;

NFPA [70E:2009](#) - Electrical Safety in the Workplace;

NFPA [2112:2007](#) - Standard on Flame-Resistant Garments for Protection of Industrial Personnel Against Flash.

3 Termos e Definições

Para os efeitos deste documento aplicam-se o [VIM:2008](#) e os seguintes termos e definições.

3.1

adição

inserção de um novo parágrafo ou de um texto em parágrafo

3.2

modificação

substituição de todo um parágrafo ou modificação de parte dele

3.3

supressão

exclusão do parágrafo ou parte dele

3.4

norma base

normas de projeto, fabricação, construção e montagem relativas ao equipamento inspecionado e normas complementares citadas por estas

4 Condições Gerais

4.1 A verificação das câmeras de termografia tem como norma base a ABNT [NBR 15718:2009](#), exceto quanto às modificações e supressões mencionadas na Seção 5, de condições específicas.

4.2 Para sistemas elétricos e mecânicos, o ensaio termográfico deve ser executado conforme preconizado nas normas base ABNT [NBR 15572:2008](#), [NBR 15763:2009](#), e [NBR 15866:2010](#), exceto quanto às modificações, adições e supressões mencionadas na Seção 5, de condições específicas.

4.3 Quando uma norma base referenciada na Seção 2 não for citada na Seção 5, de condições específicas, ela deve ser aplicada integralmente.

4.4 Para as normas base referenciadas na Seção 2, é necessária a adição dos 5.1 a 5.3 desta Norma visando complementá-las.

4.5 Para equipamentos de processo, o ensaio termográfico deve ser executado conforme a Seção 6 desta Norma.

4.6 Valores de emissividade encontram-se disponíveis nos manuais das câmeras de termografia. Caso a emissividade do material a ser inspecionado não conste no anexo ou na literatura, ou então no caso de as temperaturas serem diferentes, a emissividade deve ser determinada experimentalmente. Podem ser usados indicadores com emissividade conhecida nos pontos de inspeção. Na inspeção de internos de fornos, podem ainda ser utilizados termômetros de contato, conforme métodos descritos na ASTM [E 1933:2005](#).

5 Condições Específicas para Inspeção Termográfica em Sistemas Elétricos e Mecânicos

5.1 Modificações, Adições e Supressões na ABNT NBR 15718:2009

5.1.1 Item 4 - Calibração de Termovisor - Modificar

5.1.1.1 Item 4.1 deve ser considerado obrigatório.

5.1.1.2 Item 4.2 deve ser considerado obrigatório.

5.1.1.3 Item 4.3 deve ser considerado obrigatório.

5.1.1.4 Item 4.4 deve ser suprimido.

5.2 Modificações, Adições e Supressões na ABNT [NBR 15572:2008](#)

5.2.1 Item 3.1 - Assistente Qualificado - Modificar

Assistente Autorizado: profissional capacitado segundo a [NR-10](#) e autorizado pelo usuário final para realizar as tarefas exigidas pelo termografista e que possui conhecimento sobre a operação e história do equipamento a ser inspecionado e sobre as práticas de segurança e regras do usuário final.

5.2.2 Itens 4.2, 4.3.2, 5.1, 5.3, 5.4, 5.5, 5.9, 5.10, 6.1 b) e 6.1 o) - Modificar

Assistente qualificado por Assistente autorizado.

5.2.3 Item 4.2 - Assistente Autorizado - Modificar

O assistente autorizado assume as responsabilidades relacionadas nos itens 5.1, 5.3 a 5.5, 5.9 e 5.10 da ABNT [NBR 15572:2008](#).

5.2.4 Item 4 - Responsabilidades Pessoais - Adicionar

5.2.4.1 Requisitos Mínimos para a Contratação de Serviços de Termografia

Se a contratação for necessária, considerar as seguintes práticas:

- execução do ensaio por inspetor que possua curso específico na área elétrica, reconhecido pelo Ministério da Educação e Cultura;
- execução do ensaio por inspetor treinado na técnica de termografia, cuja qualificação seja comprovável e tenha duração mínima de 32 h sob supervisão de profissional termografista com reconhecida experiência;
- termografista com experiência mínima de 3 anos na técnica aplicada a equipamentos elétricos e/ou mecânicos;
- termografista com curso de [NR-10](#), de acordo com o tipo de inspeção a ser realizada;
- apresentação de procedimento que atenda às condições específicas do trabalho a ser executado e em conformidade com as exigências da PETROBRAS.

5.2.4.2 Qualificação de Procedimentos e Capacitação de Pessoal

5.2.4.2.1 Procedimentos de Inspeção

Devem ser utilizados procedimentos elaborados por termografista devidamente capacitado.

5.2.4.2.2 Inspetor de Termografia (Termografista)

- deve ser capaz de executar o ensaio, interpretar os dados provenientes e ser devidamente treinado na técnica;
- deve conhecer a operação da câmera termográfica utilizada e suas limitações para o tipo de inspeção requerida;
- deve ter conhecimento para entender os padrões de radiação térmica observados e saber ponderar os efeitos das condições ambientais e de operação dos equipamentos nos resultados encontrados.

5.2.4.2.3 Fiscal do Ensaio de Termografia

Deve ser um técnico ou engenheiro com conhecimento técnico em ensaio por termografia, com competência para elaborar contrato, realizar análise crítica do ensaio e executar a fiscalização do contrato.

5.2.5 Item 5 - Procedimento - Modificar

5.2.5.1 Sistema de Medição

Seleção de câmeras termográficas para a execução do ensaio:

- a) utilizar preferencialmente uma câmera ergonômica, portátil e leve, cujo sistema de detecção seja fixo (detector de matriz de plano focal - "Focal Plane Array - FPA"), evitando partes móveis e mecânicas utilizadas no sistema de detecção por varredura;
- b) faixa espectral da câmera termográfica de 8-14 μ m (ondas longas);
- c) resolução espacial e de medida devem atender às distâncias e dimensões dos alvos a ser inspecionados; na maioria das situações, a lente padrão de 24° x 18° e, no caso da inspeção de componentes a grandes distâncias, uma telescópica de 12° x 9° são suficientes;
- d) sensibilidade térmica máxima de 80 mK ou 0,08 °C;
- e) faixa mínima de medição de temperatura de -10 °C a 500 °C.

5.2.5.2 Instrumentos e Materiais Necessários a Execução do Ensaio

- câmera termográfica adequada ao tipo de inspeção a ser realizada;

NOTA O instrumento deve estar verificado e calibrado;

- trena eletrônica digital com mira laser, para inspeções a longa distância;
- termômetro, higrômetro e anemômetro calibrados para determinação das condições ambientais;
- máquina fotográfica digital;
- lanterna de alta potência (para inspeções noturnas);
- alicate amperímetro categoria III ou IV;
- rádio para a comunicação interpessoal conforme item 10.7.9 da [NR-10](#);
- inventário (com informações relevantes sobre a última inspeção), com equipamentos mapeados segundo uma rota lógica sequencial de inspeção, eficiente e segura;
- conjunto de ferramentas para abertura de equipamentos, quando necessário;

NOTA É interessante realizar um cadastro com o tipo de ferramenta a ser utilizada para abertura de cada painel/equipamento, pois cada subestação possui um tipo de fechamento;

- Equipamentos de Proteção Individual (EPI) necessários a execução do serviço.

NOTA Se apenas equipamentos mecânicos forem inspecionados, não há necessidade de atendimento aos requisitos da [NR-10](#).

5.2.5.3 Preparação para a Execução do Ensaio

5.2.5.3.1 Designação de um assistente autorizado para acompanhar o termografista nos serviços de inspeção, conforme requisitos da [NR-10](#).

5.2.5.3.2 Se a inspeção for executada por mão-de-obra própria, o assistente autorizado poderá ser o termografista, a critério da empresa. Isto, porém, não isenta o cumprimento do requisito do item 10.7.3 da [NR-10](#), no qual, no mínimo, duas pessoas são exigidas para a realização do ensaio.

5.2.5.3.3 O termografista e/ou o assistente autorizado deve ter conhecimento sobre informações genéricas a respeito das instalações e equipamentos a serem inspecionados, tais como:

- tipo de fonte de energia elétrica (tensão CC ou CA, monofásico ou trifásico);
- classificação da área;
- informações sobre zona de risco e zona controlada.

5.2.5.3.4 É interessante que o termografista possua uma referência de temperatura (corpo negro ou alguma outra referência com temperatura e emissividade conhecidas) para possibilitar a verificação inicial da câmera de termografia dentro das faixas de temperaturas mais utilizadas no seu trabalho.

5.2.5.4 Procedimento de Execução do Ensaio

5.2.5.4.1 Efetuar o ajuste de parâmetros na câmera termográfica antes do início dos trabalhos de inspeção. Este ajuste deve ser modificado a cada vez que parâmetros como emissividade, distância do objeto, umidade do ar, temperatura ambiente, atmosférica e refletida sofrerem alteração.

5.2.5.4.2 Habilitar o período do obturador ("shutter period") para curto quando registrando valores de temperatura e para médio quando apenas visualizando a cena de inspeção. No caso de termovisores que não disponham desta função, efetuar as correções de não uniformidade ("Non Uniformity Correction" - NUC) manualmente a cada 30 minutos de operação quando medindo temperatura.

5.2.5.4.3 Aguardar o tempo necessário para que os instrumentos de termometria (câmera termográfica, radiômetro etc.) se aclimatizem com a mudança de temperatura (sala refrigerada/armazenamento - área industrial).

5.2.5.4.4 Compensar a presença de ótica externa (janela infravermelha) com registro de sua transmitância espectral ao infravermelho e temperatura ou, para câmeras que não disponham deste recurso, registrar como emissividade do alvo o produto da emissividade do componente pela transmitância da ótica. Quando este parâmetro não for seguramente informado pelo fornecedor do produto, deve ser obtido pelo termografista através de testes com corpos de prova de temperatura e emissividade conhecidas, e de preferência, na faixa de temperaturas esperada para os equipamentos a serem inspecionados.

NOTA É importante que a transmitância espectral da ótica seja conhecida e seu valor seja confiável em relação à câmera infravermelha utilizada.

5.2.5.4.5 Definir a escala da câmera de termografia de acordo com a temperatura do equipamento a ser inspecionado. A função de ajuste automático, quando disponível, pode ser utilizada.

5.2.5.4.6 Não efetuar a inspeção através de anteparos ou vidro.

5.2.5.4.7 Utilizar tinta branca (acrílica ou de óxido de zinco) para aumentar a emissividade de conectores e demais componentes de equipamentos elétricos manufaturados à base de cobre, alumínio ou aço. Quando isso não for possível, o termografista pode fazer a medição de temperaturas nas áreas dos componentes onde existam cavidades, oxidação, corrosão ou sujeira, aproveitando-se do natural incremento de emissividade nestas áreas. Quando não for possível identificar todas as emissividades envolvidas na inspeção, adotar o valor de 0,75 como emissividade padrão de todos os componentes do equipamento elétrico na análise qualitativa.

5.2.5.4.8 Para equipamentos colocados em operação, ou submetidos à grande variação de carga, deve-se registrar a temperatura dos equipamentos sob inspeção após, no mínimo, 2 horas de carregamento (funcionamento/operação), a fim de que o sistema atinja a estabilidade térmica.

5.2.5.4.9 Evitar inspecionar componentes que estejam operando com corrente elétrica abaixo de 50 % do valor nominal. Não sendo possível a operação dos sistemas elétricos sob carga acima de 50 %, a termografia pode ser realizada ainda assim. Para casos em que não se detecte anomalias, registrar que a termografia foi feita com carga baixa e que, portanto, o resultado é não conclusivo. Atuar da mesma maneira como quando o ensaio não é executado.

5.2.5.4.10 Em ambientes abertos

Evitar inspeções termográficas diurnas, para não haver influências do reflexo e do carregamento solar. Quando isto for inevitável, atentar para:

- iniciar as inspeções até, no máximo, 2 horas após o nascer do sol ou em dias nublados;
- respeitando a premissa anteriormente recomendada, priorizar os dias mais quentes, de modo a observar as piores condições nas quais os equipamentos e sistemas estarão submetidos;
- observar o mesmo objeto segundo várias posições diferentes para compensar os efeitos do reflexo solar.

5.2.5.4.11 Evitar inspeções com velocidade do vento acima de 20 km/h (aproximadamente 6 m/s).

5.2.5.4.12 Não realizar inspeções sob chuva, garoa ou neblina. Esperar, no mínimo, 1 hora para iniciar o trabalho após a estiagem.

5.2.5.4.13 Evitar inspeções com umidade relativa do ar acima de 90 %.

5.2.5.4.14 Preferencialmente o ângulo entre o termovisor e o ponto inspecionado deve ser o mais perpendicular possível de modo a evitar a redução na emissividade em função de ângulos de observação inadequados (maiores que 60° em relação à normal, linha perpendicular ao plano do objeto-alvo).

5.2.5.4.15 Utilizar a lente adequada (padrão ou telescópica, a depender das necessidades) às distâncias e às dimensões dos pontos a serem inspecionados.

5.2.5.4.16 Evitar posicionar a câmera termográfica próxima a equipamentos elétricos que gerem campo eletromagnético elevado para prevenir interferência na formação da imagem da câmera.

5.2.5.4.17 O assistente autorizado deve auxiliar o termografista em suas anotações e na observação de seu deslocamento pela área, uma vez que o inspetor estará concentrado na análise termográfica.

5.2.5.5 Procedimento na Ocorrência de Abertura de Painéis Elétricos Energizados

5.2.5.5.1 A inspeção em painéis elétricos deve atender a [NR-10](#), observar EPI e zona livre para posicionamento do termografista.

5.2.5.5.2 O assistente autorizado deve realizar a inspeção visual, verificando possíveis anormalidades no interior do painel, como peças soltas, existência de componentes danificados, presença de objetos estranhos ou animais. Neste momento o termografista se posicionará na zona livre, não interceptando a rota de fuga do assistente autorizado.

5.2.5.5.3 Caso seja necessário efetuar quaisquer medições elétricas complementares ou anotações gerais sobre o equipamento, esta responsabilidade deve ser do assistente autorizado.

5.2.5.5.4 Ao término da inspeção, o termografista se afasta do painel e o assistente autorizado realiza seu fechamento.

5.2.5.5.5 Caso o termografista seja o assistente autorizado, este deve manusear os painéis com as mãos livres, ou seja, não portando câmera termográfica ou qualquer outro instrumento.

5.2.5.6 Identificação, Avaliação e Gestão das Anomalias Térmicas

Ao localizar algum ponto com provável anomalia térmica:

- a) obter a melhor imagem possível, respeitando as distâncias limites de segurança, ajustando o enquadramento, foco, distância e ângulo, para obter a leitura de temperatura;
- b) para maior exatidão na medição, repetir o procedimento e considerar o valor médio de temperatura;
- c) registrar a corrente elétrica do circuito ou equipamento sob ensaio e verificar se houve grande variação na curva de carga no período de uma hora que antecedeu ao ensaio. Caso positivo, aguardar o equilíbrio térmico;
- d) se não for possível medir a corrente, considerar a carga como 90 % para a determinação da correção de carga; outra alternativa, se viável, seria configurar o carregamento do sistema para a condição máxima prevista em projeto, sem necessidade de correção de carga; para circuitos de controle, comando e de corrente contínua não corrigir carga;

- e) registrar e corrigir, conforme o Anexo D, os valores medidos segundo os critérios de correção de temperatura; registrar a velocidade do vento, temperatura ambiente e atmosférica e umidade relativa do ar; o que for pertinente.
- f) identificar e registrar os dados que permitam a localização do ponto, como informações do equipamento, de fase, ou número do circuito e faixa de tensão de operação;
- g) obter além do termograma, uma imagem visual do ponto anômalo, bem como a imagem e leitura de um ponto de referência;
- h) além das correções efetuadas sobre as medidas adquiridas com a câmera de termografia, considerar o impacto que a falha do componente em questão representa;
- i) a unidade pode elaborar uma matriz de risco adequada às condições operacionais de suas instalações industriais para auxiliar na tomada de decisões;
- j) para equipamentos mecânicos, a avaliação da severidade da anomalia térmica será realizada seguindo os critérios próprios da unidade, ou os requisitos normativos, quando eventualmente adotados, ou recomendações do fabricante;
- k) após ações corretivas da equipe de manutenção, deve-se realizar nova inspeção para assegurar que as anomalias foram sanadas.

NOTA Quando os ensaios termográficos não forem conclusivos, é importante que se possa contar com outros métodos de avaliação de equipamentos elétricos e mecânicos.

5.2.6 Item 5.6 - Modificar

Quando analisando os objetos sob inspeção, convém que o termografista obedeça ao especificado em 6.2 da ABNT [NBR 15572:2008](#).

5.2.7 Item 5.11 - Modificar

Convém que o termografista elabore um relatório para o usuário final conforme o 6.1 da ABNT [NBR 15572:2008](#).

5.2.8 Item 6 - Relatório de Ensaio - Adicionar

- histórico do equipamento, com resultados relevantes de inspeções anteriores;
- especificação da câmera de termografia utilizada (fabricante e modelo, com suas características essenciais e data de calibração);
- modelo e data de calibração do termômetro, higrômetro, anemômetro e demais instrumentos auxiliares porventura utilizados;
- número da ordem de serviço e/ou Permissão de Trabalho;
- motivo da não inspeção de um determinado equipamento (exemplo: não inspecionado / desligado, não inspecionado / sem carga, não inspecionado / em reparo, não inspecionado / manobra não realizada pela operação etc.);
- indicadores estatísticos interessantes, como por exemplo, a quantidade de equipamentos inspecionados / não inspecionados.

5.2.9 Segurança, Meio Ambiente e Saúde - Adicionar

No caso da inspeção de equipamentos elétricos:

- todos os trabalhadores envolvidos na inspeção termográfica e que forem interferir em equipamentos elétricos deverão atender aos requisitos da [NR-10](#);
- No caso da inspeção em áreas abertas, o terreno pode ser irregular e a visão através da câmera termográfica não oferece noção de profundidade; o termografista deve ser orientado quanto às irregularidades do terreno, enquanto inspecionando, pelo assistente em sua companhia;
- isolar a área onde haverá abertura de painéis;
- seleção de EPI:
 - a) calça e blusão de segurança;
 - b) capa 7/8 - avental de segurança extra longo.

NOTA O uso da capa 7/8 dispensa o uso do blusão de segurança citado em a).

- c) macacão de segurança;
- d) calça de segurança;
- e) camisa de segurança;
- f) capuz protetor contra arco elétrico com capacete;
- g) luva com ATPV mínimo maior ou igual à energia de arco incidente calculada;
- h) capacete com protetor facial;
- i) bota para eletricista, sem biqueira de aço e sem partes metálicas, com isolamento para 14 kV / 1min;

NOTA Nos casos em que a energia incidente calculada estiver igual ou abaixo de 8 cal/cm², o uso de c) ou d) e e) dispensa o uso das a) ou b), do mesmo modo que o uso da h) dispensa o uso da f).

- os EPI citados deverão estar de acordo com as NFPA 70E:2009, PETROBRAS N-2830, ASTM F 1506:2010, ASTM F 2621:2006, ASTM F 1959/F 1959M:2007, NFPA 2112:2007, ASTM D 6413:2008, ASTM F 1930:2008, ASTM D 737:2008, ISEA Z87.1, ASTM F 2178:2008, ABNT NBR 13712:1996 e NBR 8221:2003;
- a Companhia deve disponibilizar os EPI adequados a todas as subestações e painéis elétricos existentes. No caso de serviços prestados por terceiros, esta função recai para a(s) empresa(s) contratada(s);
- os EPI adequados devem ser utilizados por todas as pessoas que executem tarefas de risco de queimadura por arco elétrico e devem ser apropriados para o nível de energia incidente à qual o trabalhador está exposto;
- o uso de botas com biqueira de metal ou partes condutoras, de adornos pessoais metálicos e de acessórios metálicos como canetas, pranchetas etc. não é permitido;
- Os empregados contratados devem seguir os mesmos requisitos de segurança que os empregados próprios.

5.3 Modificações, Adições e Supressões na ABNT NBR 15763:2009 - Item 5 - Parâmetros dos Critérios da Aplicação da Termografia em Sistemas Elétricos - Modificar

No Item 5.2 da ABNT NBR 15763:2009 o intervalo recomendado entre as inspeções termográficas é de seis meses para os sistemas elétricos citados no item 5.1 da ABNT NBR 15763:2009, não devendo, na impossibilidade de se cumprir esse período, ser superior a 12 meses.

5.4 Modificações, Adições e Supressões na ABNT NBR 15866:2010 - Item 8.2 Avaliação Quantitativa - Adicionar

5.4.1 Critérios para Classificação das Medições

A elevação máxima de temperatura admissível é obtida através da equação:

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_a$$

Onde:

- ΔT_{\max} é a elevação máxima de temperatura admissível;
- T_{\max} é a temperatura máxima admissível para o componente;
- T_a é a temperatura ambiente.

NOTA A T_{\max} é normalmente especificada pelo fabricante do componente a partir da qual tem início o processo de degradação do material. O anexo A da ABNT NBR 15866:2010 prevê alguma informação a respeito.

5.4.2 Fator de Elevação de Temperatura (FET)

O FET é obtido através da equação:

$$FET = \left(\frac{\Delta TC}{\Delta T_{\max}} \right)$$

NOTA A classificação dos aquecimentos medidos e a determinação da providência a ser tomada seguem os critérios descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação Técnica dos Aquecimentos Medidos e a Determinação da Providência

Fator de Elevação de Temperatura (FET)	Classificação térmica	Providência
0,9 ou mais	Severamente aquecido	Manutenção imediata
0,6 a 0,9	Muito aquecido	Manutenção programada
0,3 a 0,6	Aquecido	Em observação
Até 0,3	Normal	Normal

Onde:

- condição normal: pontos que apresentam níveis normais de temperatura após correção do aquecimento a 100 % da carga;
- condição aquecido: pontos cujo aquecimento corrigido não é conclusivo no que se refere ao estado do componente, sendo recomendável manter o componente em observação até a próxima inspeção;
- condição muito aquecido: pontos nos quais o aquecimento corrigido indica estarem em vias de apresentar defeito, mas cuja evolução ainda permite a programação de manutenção;
- condição severamente aquecido: pontos cujo aquecimento corrigido indica que o comportamento do componente é imprevisível devido à temperatura atingida, a manutenção deve ser imediata.

NOTA Assim como expresso no item 10 da ABNT [NBR 15866:2010](#), a unidade pode elaborar uma matriz de risco adequada às suas necessidades. A simples tomada de decisão com base na Tabela 3 pode se transformar em uma medida muito conservadora. O cálculo do FET também está sujeito a erros de medição que interferem na confiança da classificação da falha.

6 Condições Específicas para Inspeção Termográfica em Equipamentos de Processo

6.1 Consideração Inicial

A inspeção termográfica de equipamentos de processo não é orientada pelas normas base referenciadas na seção 5 desta Norma.

6.2 Aplicação do Ensaio Termográfico em Equipamentos de Processo

A possibilidade de aplicação do ensaio deve ser considerada quando:

- a) for necessário inspecionar equipamentos de processo em operação, tais como: fornos, permutadores de calor, conversores, vasos de pressão, reatores, caldeiras, dutos, chaminés, tubulações, máquinas térmicas, máquinas de fluxo etc.;
- b) for necessário o registro do histórico de temperatura de equipamentos de processo;
- c) reparos, objetivando corrigir anomalias térmicas previamente detectadas, tenham sido concluídos pela equipe de manutenção;

- d) modificações no regime de operação do(s) equipamento(s) de processo tenham sido realizadas para propiciar a redução das temperaturas de parede dos componentes internos;
- e) acompanhamento do desempenho no que diz respeito às especificações de projeto dos equipamentos, objetivando a confiabilidade e segurança;
- f) avaliação da eficácia dos procedimentos de limpeza quaisquer que sejam (hidrojateamento, química etc.) em equipamentos de processo;
- g) a extensão dos serviços justifique, economicamente, a contratação do serviço, no caso de a unidade não contar com equipe própria de inspeção termográfica.

6.3 Limitações do Ensaio Termográfico em Equipamentos de Processo

6.3.1 A inspeção termográfica interna de fornos pode ser inconclusiva ou mesmo ineficaz, especialmente se operam com óleo combustível, devido à interferência dos depósitos superficiais nas serpentinas. A remoção de cinzas em uma pequena região pode não ser representativa para toda a serpentina, pois não se pode garantir que um tubo coberto de cinzas não contenha depósitos internos (por exemplo, formação de coque) ou que a camada de cinzas possua espessura uniforme em toda a serpentina.

6.3.2 Utilizar a temperatura absoluta ou a diferença relativa de temperatura medidas através da termografia como o único parâmetro para prever uma falha não é recomendável. A técnica mostra-se como um complemento das inspeções de rotina e dados operacionais (vazão, temperatura etc.).

6.3.3 A exatidão da medida de temperatura depende da calibração da câmera termográfica e da exatidão dos parâmetros informados pelo termografista.

6.3.4 É necessária a observação direta do componente a ser avaliado, sem que se interponham quaisquer anteparos opacos ao infravermelho entre o mesmo e a câmera termográfica.

6.4 Requisitos Mínimos para a Contratação de Serviços de Termografia

Se a contratação for necessária, considerar as seguintes práticas:

- a) tornar obrigatória a execução do ensaio por inspetor que possua formação na área técnica, reconhecida pelo Ministério da Educação e Cultura, e conhecimento comprovado em inspeção de equipamentos;
- b) tornar obrigatória a execução do ensaio por inspetor treinado na técnica de termografia, cuja qualificação seja comprovável e tenha duração mínima de 32 h sob supervisão de profissional termografista com reconhecida experiência;
- c) tornar obrigatório o requisito de termografista com experiência mínima de 3 anos na técnica aplicada a equipamentos de processo na indústria de petróleo e gás e petroquímicas;
- d) exigência de procedimento que atenda às condições específicas do trabalho a ser executado.

6.5 Qualificação de Procedimentos e Capacitação de Pessoal

6.5.1 Procedimentos de Inspeção

Devem ser utilizados procedimentos elaborados por termografista devidamente capacitado.

6.5.2 Inspetor de Termografia (Termografista)

6.5.2.1 Deve ser capaz de executar o ensaio, interpretar os dados provenientes e ser devidamente treinado na técnica.

6.5.2.2 Deve conhecer a operação da câmera termográfica utilizada e suas limitações para o tipo de inspeção requerida.

6.5.2.3 Deve ter conhecimento para entender os padrões de radiação térmica observados e saber ponderar os efeitos das condições ambientais e de operação dos equipamentos nos resultados encontrados.

6.5.3 Fiscal do Contrato Ensaio de Termografia

O fiscal deve ser um técnico ou engenheiro com conhecimento técnico em ensaio por termografia, com competência para elaborar contrato, realizar análise crítica do ensaio e executar a fiscalização do contrato.

6.6 Seleção de Câmeras Termográficas

6.6.1 Utilizar uma câmera portátil e leve, cujo sistema de detecção seja fixo (detector de matriz de plano focal - "Focal Plane Array" - FPA), evitando partes móveis e mecânicas utilizadas no sistema de detecção por varredura.

6.6.2 Resolução espacial e de medida devem atender às distâncias e dimensões dos alvos a ser inspecionados. Na maioria das situações, a lente padrão de 24° x 18° é suficiente.

6.6.3 Inspeção externa:

- a) sensibilidade térmica máxima de 0,1 °C;
- b) faixa de medição de temperatura de -10 °C a 500 °C;
- c) faixa espectral da câmera termográfica de 8-14 µm (ondas longas).

6.6.4 Inspeção interna (fornos de processo):

- a) sensibilidade térmica máxima de 0,6 °C;
- b) limite superior de medição de temperatura ≥ 1000 °C;
- c) faixa espectral da câmera termográfica de 3-5 µm (ondas médias).

NOTA A mesma câmera pode ser utilizada na inspeção interna e externa, desde que a câmera termográfica trabalhe em uma faixa de temperatura compatível com o processo.

6.7 Instrumentos e Materiais Necessários a Execução do Ensaio

6.7.1 Câmera termográfica adequada ao tipo de inspeção a ser realizada. O Instrumento deve estar calibrado.

6.7.2 Termômetro, higrômetro e anemômetro calibrados para determinação das condições ambientais, quando relevante (inspeção externa).

6.7.3 Instrumentos auxiliares, como pirômetros óticos (radiômetros) e termopares, devidamente calibrados.

6.7.4 Máquina fotográfica digital, quando aplicável.

6.7.5 Lanterna de alta potência (para inspeções noturnas).

6.7.6 Lista de equipamentos a ser inspecionados, mapeados segundo uma rota lógica, eficiente e segura.

6.7.7 Croquis dos equipamentos.

6.7.8 EPIs necessários a execução do serviço.

6.7.9 É interessante que o termografista possua uma referência de temperatura (corpo negro ou alguma outra referência com temperatura e emissividade conhecidas) para possibilitar a verificação inicial da câmera de termografia dentro das faixas de temperaturas mais utilizadas no seu trabalho.

6.8 Preparação para a Execução do Ensaio

6.8.1 Devem ser verificados os seguintes itens para que se possa elaborar a programação de inspeção:

- a) relatórios e recomendações de inspeções anteriores;
- b) modificações de projeto;
- c) dados de projeto do equipamento;
- d) recomendações efetuadas durante a operação e manutenção;
- e) resumo sobre os pontos críticos destacados na última campanha do equipamento;
- f) inspeção interna: é importante que o termografista seja informado quanto às características essenciais de cada forno a ser inspecionado (dados técnicos e operacionais), principalmente no que se refere aos seguintes tópicos:
 - tipo de forno (incluindo material e dimensões);
 - fluidos processados;
 - quantidade de serpentinas (produto, vapor);
 - número de passes;
 - temperaturas máximas (de operação e projeto, incluindo a temperatura dos gases de combustão);
 - entrada de carga (vazão, pressão e temperatura);
 - saída de carga (pressão e temperatura);
 - quantidade e localização dos “skins points”, se houver;
 - leituras de temperatura atualizada de cada “skin point”;
 - número e localização de “skin points” que, eventualmente, não estejam operando.

6.8.2 O termografista também deve familiarizar-se com os desenhos e croquis dos equipamentos e conhecer o histórico de cada forno através dos relatórios disponíveis, atentando para as particularidades de cada um.

NOTA A coleta e a análise dos dados operacionais e de projeto constituem importantes parâmetros para o ensaio termográfico.

6.9 Procedimento de Execução do Ensaio

6.9.1 Efetuar o ajuste de parâmetros na câmera termográfica antes do início dos trabalhos de inspeção. Este ajuste deve ser modificado a cada vez que parâmetros como emissividade, distância ao objeto, umidade do ar, temperatura ambiente, atmosférica e refletida sofrerem alteração.

6.9.2 Aguardar o tempo necessário para que os instrumentos de termometria (câmera termográfica, radiômetro, termopar etc.) se aclimatizem com a mudança de temperatura (sala refrigerada / armazenamento - área industrial).

6.9.3 Definir a escala da câmera termográfica de acordo com a temperatura do equipamento a ser inspecionado. A função de ajuste automático da câmera termográfica pode ser utilizada.

6.9.4 Não efetuar a inspeção através de anteparos ou vidro.

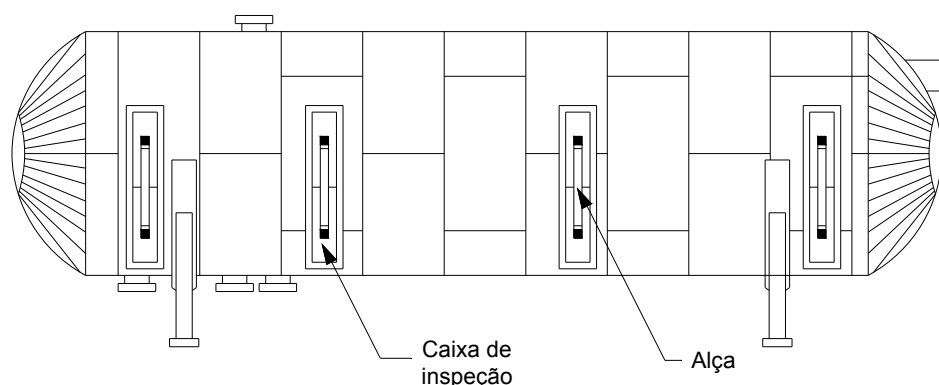
6.9.5 O ângulo entre a câmera termográfica e o ponto inspecionado deve ser o mais perpendicular possível de modo a evitar a redução na emissividade em função de ângulos de observação inadequados (maiores que 60 ° em relação à normal, linha perpendicular ao plano do objeto-alvo).

6.9.6 Utilizar a lente adequada às distâncias e às dimensões dos pontos a ser inspecionados.

6.9.7 Evitar posicionar a câmera termográfica perto de equipamentos elétricos que operam com frequências elevadas para prevenir interferência no imageamento da câmera.

6.9.8 Inspeção externa:

- a) evitar inspeções termográficas diurnas, para não haver influências do reflexo e do carregamento solar. Quando isto for inevitável, atentar para:
 - iniciar as inspeções até, no máximo, 2 horas após o nascer do sol ou em dias nublados;
 - respeitando a premissa anteriormente recomendada, priorizar os dias mais quentes, de modo a observar as piores condições nas quais os equipamentos e sistemas estarão submetidos;
 - observar o mesmo objeto segundo várias posições diferentes para compensar os efeitos do reflexo solar;
- b) evitar inspeções com velocidade do vento acima de 20 km/h (aproximadamente 6 m/s);
- c) não realizar inspeções sob chuva, garoa ou neblina; esperar, no mínimo, 1 hora para iniciar o trabalho após a estiagem;
- d) não realizar inspeções com umidade relativa do ar acima de 90 %;
- e) verificar o estado de conservação da superfície, para a escolha correta da emissividade;
- f) efetuar uma tomada panorâmica com a câmera termográfica, para definir as regiões de interesse;
- g) no caso de verificação de nível de sedimento em vasos de processo isolados termicamente, deve-se abrir as caixas de inspeção termográficas ao longo do corpo do vaso de acordo com o ponto de interesse; toda área exposta deve ser coberta com fita crepe para homogeneizar a imagem no momento da inspeção termográfica. Preferencialmente, as caixas devem ser abertas de acordo com a configuração apresentada na Figura 1
- h) para avaliação de revestimentos refratários ou isolantes é necessário que o equipamento ou tubulação esteja operando o mais próximo da plena capacidade;
- i) periodicidade de inspeção recomendada: a cada 6 meses; esta periodicidade pode ser alterada em função do histórico do equipamento e/ou de anomalias verificadas durante a campanha.

**Figura 1 - Caixas de Inspeção Termográfica****6.9.10 Inspeção interna (em fornos de processo):**

- a) a inspeção dos componentes internos dos fornos é realizada através das janelas de inspeção; o termografista deve posicionar-se ao lado das mesmas e abri-las com cuidado, travando-as;
- b) deve ser utilizado o maior número possível de janelas de inspeção disponíveis no forno, procurando desta forma, visualizar uma maior área possível; entretanto, devido à entrada falsa de ar no forno pela abertura destas janelas, somente uma de cada vez deve ser aberta durante um intervalo de tempo mínimo, o suficiente apenas para se fazer a inspeção (a operação deve estar ciente);
- c) considerar a temperatura dos gases de combustão como temperatura ambiente; a temperatura refletida pode ser considerada como igual à temperatura ambiente;
- d) considerar umidade relativa com igual a 0 %;
- e) considerar as dimensões do forno e a posição do ponto de leitura para estimar a distância câmera-objeto; pode-se adotar uma distância média para aquisição das imagens de todo o comprimento dos tubos; exemplo: em um forno horizontal com serpentina de 6 m a distância seria de 3 m;
- f) utilizar do filtro de atenuação da radiação incidente ("flame filter") e instalar a capa de proteção térmica na câmera termográfica, se necessário; atentar para câmeras termográficas com "display" de LCD, removendo-o do instrumento ao realizar o ensaio; a proteção térmica não o protege;
- g) efetuar varredura com a câmera termográfica em toda a superfície visível das serpentinas do forno;
- h) evitar ao máximo que a linha de visão da câmera termográfica cruze as chamas dos queimadores;
- i) verificar as temperaturas indicadas nos locais de instalação dos "skin points", se houver;
- j) se possível, utilizar algum dispositivo de referência, tipo sonda, para a medição de temperatura, confeccionando a base do mesmo material da serpentina do forno a ser inspecionado; o Anexo A mostra uma foto de um dispositivo utilizado em uma das unidades da empresa;
- k) o Anexo B discute brevemente as fontes de erro que reduzem a confiabilidade metrológica da medição de temperaturas em fornos;
- l) a termografia em tubos de fornos verticais é bastante difícil de ser executada, de modo que sua realização dependerá das condições para visualização dos tubos, sem interferência das chamas dos maçaricos;
- m) buscar realizar a inspeção termográfica dentro do regime estável de operação do forno;
- n) periodicidade de inspeção recomendada: a cada 6 meses; o Anexo C apresenta um guia para determinação de periodicidade de inspeção termográfica em fornos.

6.9.11 Avaliação das Anomalias Térmicas

Ao localizar alguma provável anomalia térmica:

- a) obter a melhor imagem possível, respeitando as distâncias limites de segurança, ajustando o enquadramento, foco, distância e ângulo, para obter a leitura de temperatura;

- b) para maior exatidão na medição, repetir o procedimento e considerar o valor médio de temperatura;
- c) obter outras imagens de posições e ângulos diferentes e compará-las (regiões mais quentes em um termograma em uma dada posição podem ser reflexos causados por outra fonte de radiação, como por exemplo, pela interferência de maçaricos no caso da inspeção interna de fornos);
- d) buscar medir a temperatura nos pontos de maior emissividade do objeto inspecionado;
- e) registrar a velocidade do vento (quando for o caso), temperatura ambiente e atmosférica e umidade relativa do ar;
- f) no caso de inspeção interna, fazer também uma inspeção visual na região onde há indicação de anomalia térmica a fim de verificar possíveis depósitos externos ao tubo, como óxidos, cinzas, refratário, entre outros;
- g) obter o termograma e, na inspeção externa, a imagem visível do ponto anômalo, bem como a imagem e leitura de um ponto de referência;
- h) a avaliação de severidade da anomalia térmica será realizada seguindo os critérios próprios da unidade em questão ou os requisitos normativos adotados, levando-se em conta o histórico do equipamento e os dados de projeto (limites de temperatura);
- i) para os pontos anômalos representando indicações de alta severidade ou que representem dificuldade para categorização, reinspecionar estes pontos na semana seguinte à primeira inspeção; a concordância entre as medidas mostra uma tendência de comportamento e aumenta a confiança nos resultados, assim como rastreabilidade para histórico da evolução deste tipo de anomalia;
- j) após ações corretivas da equipe de manutenção e/ou operação, realizar outra inspeção para assegurar que as anomalias foram sanadas.

6.10 Uso geral de radiômetros ou pirômetros óticos:

- a) atentar para os principais parâmetros de seleção destes equipamentos, que são o campo de visão (FOV) e a faixa espectral de sensibilidade;
- b) o FOV deve ser sempre menor que o tamanho do objeto a ter sua temperatura medida; os modelos mais recentes utilizam feixes de laser para indicar o centro da região sensoreada;
- c) o campo de visão de um radiômetro pode ser referenciado tanto em graus, como pela razão distância/diâmetro da área medida (D:S); se considerarmos um instrumento com D:S de 60:1, o diâmetro sensoreado a uma distância de 60 m terá 1 m;
- d) a faixa espectral dos instrumentos disponíveis no mercado varia entre 0,8 a 14 μm ;
- e) selecionar a faixa espectral mais adequada ao caso específico, seguindo as recomendações do fabricante e experiência da unidade; para inspeção interna, o ideal seria contar com radiômetros operando nos menores comprimentos de onda disponíveis;
- f) considerar que os radiômetros ou pirômetros óticos não são uma referência exata de temperatura; estes dispositivos apenas indicam uma idéia desta grandeza;
- g) trabalhar com a emissividade sempre igual a 1.

6.11 Registro de Resultados

Os registros da inspeção por termografia devem ser apresentados em relatório, contendo, no mínimo, as seguintes informações:

- a) identificação do equipamento inspecionado (TAG, a Unidade e o Órgão);
- b) histórico do equipamento, com resultados de inspeções passadas;
- c) condições operacionais e de projeto do equipamento;
- d) especificação da câmera termográfica utilizada (fabricante e modelo da câmera termográfica, com suas características essenciais e data de calibração);
- e) modelo e data de calibração dos instrumentos auxiliares porventura utilizados;
- f) descrição dos parâmetros de ensaio utilizados (emissividade, temperaturas ambiente, atmosférica e refletida, velocidade do vento, umidade relativa do ar);
- g) registro de qualquer meio atenuante;
- h) data e horário de início e fim da inspeção;
- i) nome e identificação dos executantes da inspeção;
- j) registro dos resultados, indicando o local do ensaio com delimitação e posicionamento das anomalias térmicas e correspondente registro fotográfico do equipamento;

- l) diferença entre a temperatura da anomalia e a temperatura de uma referência, como “skin points” e/ou sondas; se uma sonda for utilizada, fornecer sua identificação completa, adicionado fotografia da mesma;
- m) conclusões e/ou recomendações de ajuste operacional do equipamento;
- n) nome do emitente, numeração e indicação da revisão do procedimento escrito.

Anexo A - Modelo de Sonda Utilizada como Referência de Temperatura na Inspeção de Fornos (Informativo)

A.1 Procedimento

A.1.1 Inserir a sonda em uma das janelas de inspeção do forno de modo que possa ser vista através de outra janela.

A.1.2 Aguardar a estabilização da temperatura da sonda no interior do forno. O tempo varia de acordo com o forno e a proximidade do termopar com a chama.

A.1.3 Recomenda-se que a emissividade seja inicialmente ajustada como igual a 0,95. Esta grandeza deve ser variada até que a temperatura da câmera fique próxima àquela mensurada na sonda (a bibliografia recomenda que para um tubo envelhecido este valor inicial seja igual a 0,85).
[Prática Recomendada]

A.1.4 A diferença entre a temperatura real da sonda e aquela mensurada pelo câmera termográfica neste dispositivo deve ser de, no máximo, $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

A.2 A Figura A.1 mostra uma sonda constituída por um termopar tipo K, com revestimento cerâmico ou haste metálica, introduzido a um poço (tubo camisa) confeccionado em inox série 300 conectado a uma amostra do tubo de um forno, cujo material base é a liga incolloy 800 HP modificada. Detalhe da solda na Figura A.1(b).

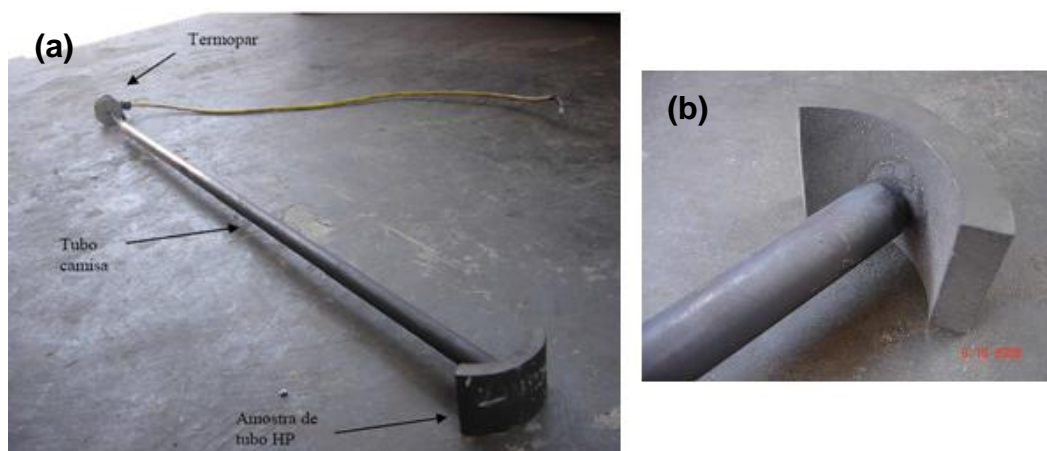


Figura A.1 - Sonda de Referência: (a) Visão Geral do Dispositivo; (b) Detalhe da Solda

A figura A.2 mostra a sonda inserida em uma das janelas de inspeção do forno.



Figura A.2 - Sonda Inserida na Janela do Forno

Anexo B - Fontes de Erro na Medição de Temperatura em Fornos (Informativo)

B.1 A medição de temperatura de parede em serpentinas ou tubos de fornos de processo é severamente afetada por uma série de fatores. As três maiores fontes de erros seriam a própria atmosfera do forno, a emissividade do alvo, que varia na extensão do comprimento do tubo, e o fluxo de calor refletido pelas vizinhanças. A questão da emissividade torna-se tanto mais crítica a depender da existência de depósitos aderidos às paredes do tubo, situação de ocorrência mais freqüente em fornos que queimam óleo. A leitura da temperatura superficial de um tubo receberá as parcelas de energia provenientes da reflexão de calor pelas paredes do forno, calor irradiado e refletido pelos tubos da vizinhança do alvo e calor irradiado pelas chamas.

B.2 O ideal seria que o inspetor pudesse minimizar o número de objetos visualizados em um mesmo termograma, situação, na maior parte das vezes, impossível.

B.3 O método mais freqüente de ajuste da câmera termográfica se dá através da comparação da leitura do instrumento com a leitura obtida por "skin points". Também é usual, como recomendado nesta guia, o método de comparação de leitura entre uma sonda monitorada e o objeto alvo, bem como a leitura dos mesmos alvos com um radiômetro.

B.4 No que se refere aos "skin points", o grande problema reside na junção. Ocorre uma natural mudança de temperatura da superfície no ponto de contato, bem como oxidação espontânea da junção com o tempo de campanha. O "skin point", como qualquer termopar, apresenta um erro inerente, ao qual se somam os erros oriundos da instalação e do tempo. Conhecer este erro total é importantíssimo, mas sua mensuração é dificultosa.

B.5 O método da sonda apresenta como ponto fraco a necessidade de se resfriar este corpo de prova com ar ou vapor, pois, do contrário, as condições encontradas nas serpentinas dos fornos não serão bem reproduzidas. A execução deste resfriamento também é uma prática dificultosa e sua não realização implica em menor exatidão, não quantificada, do método.

B.6 Idealmente, as medidas realizadas por câmera termográficas deveriam ser comparadas com as leituras de um radiômetro de duas cores. Os erros associados às leituras dos "skin points" seriam conhecidos, e a sonda representaria a serpentina com mais fidelidade. Adicionalmente, câmeras e radiômetros deveriam ter sua calibração checada em laboratório existente na unidade, através de corpos negros e de um instrumento de referência que nunca realizasse inspeções de campo. O investimento em tal estrutura teria como retorno o aumento da confiança nas medidas, trazendo os erros finais de medição para algo em torno de 7 °C a 10 °C, de acordo com a literatura. No entanto, as unidades teriam que contar com recursos para o investimento inicial e funcionários em cujas atribuições também constem a manutenção desta estrutura.

B.7 De qualquer modo, o tema precisa de mais estudo e atenção se a Companhia verificar como interessante que a termografia forneça informações cada vez mais quantitativas ao invés de apenas qualitativas.

Anexo C - Guia para a Determinação de Periodicidade de Inspeção Termográfica em Fornos de Processo (Informativo)

C.1 Monitoração do Forno

“Skins” posicionados adequadamente:	Pontos
Mais de 90 % operando	1
De 60 % a 89 % dos “skins” operando	5
De 50 % a 60 % dos “skins” operando	10
“Skins” posicionados inadequadamente e/ou menos de 50 % operando	15
Forno sem “skin” ou com todos “skins” inoperantes	20
Temperaturas dos “skins” (confiáveis):	Pontos
Nunca acima da máxima	1
Ocasionalmente acima da máxima	10

C.2 Condições de Operação do Forno

Vazão do forno:	Pontos
Opera até a vazão máxima	1
Opera acima da vazão máxima	5
Incidência de chama:	Pontos
Raramente ocorre	1
Ocorre ocasionalmente	5
Ocorre freqüentemente	10

C.3 Histórico do Forno (nas Duas Últimas Campanhas)

Ocorrências externas nos tubos:	Pontos
Leve oxidação	1
Oxidação de média intensidade	5
Ocorrência de oxidação intensa, “laranja” e/ou rompimento de tubo	10
Ocorrência de coque:	Pontos
Leve e uniforme camada ou ausência	1
Camada entre leve e intensa, facilmente removível	5
Camada entre leve e intensa, de difícil remoção	10
Empeno de tubos:	Pontos
Devido a falha de suportes ou sem empeno	1
Empeno devido a formação de coque	10

C.4 Periodicidade

— até 10 pontos	(Categoria Z6)	.....	18 meses
— de 11 a 19 pontos	(Categoria Z5)	.....	1 vez ao ano
— de 20 a 29 pontos	(Categoria Z4)	.....	2 vezes ao ano
— de 30 a 45 pontos	(Categoria Z3)	.....	3 vezes ao ano
— de 46 a 60 pontos	(Categoria Z2)	.....	4 vezes ao ano
— acima de 60 pontos	(Categoria Z1)	.....	6 vezes ao ano

NOTA 1 Esta guia baseia-se nos principais parâmetros dos fornos, no entanto, a análise das particularidades específicas de cada forno, bem como os resultados das termografias anteriores, devem complementar a definição da periodicidade termográfica. Além disso, descontinuidades operacionais que levem a temperaturas de “skin point” acima da máxima devem ser avaliadas mensalmente. Caso o desvio seja sistêmico, considerado crítico para a integridade dos tubos (de acordo com análise pelo API [530:2008](#)), a periodicidade da termografia deve ser reduzida ao nível mais crítico (Z1). Neste caso a inspeção termográfica deve auxiliar a monitoração do forno até que as temperaturas voltem aos níveis toleráveis, a critério do engenheiro de inspeção responsável.

NOTA 2 A cada inspeção termográfica, ou sempre que houver mudanças significativas em algum dos parâmetros analisados, efetuar novo levantamento de dados e análise de periodicidade.

NOTA 3 Após definida a periodicidade de inspeção termográfica, esse prazo pode ser menor que o indicado, em função da necessidade de acompanhamento de qualquer anormalidade observada na inspeção de rotina.

Anexo D - Fatores de Correção**D.1 Fator de Correção de Velocidade do Vento (FCVV)****Tabela 1 - Fator de Correção de Velocidade do Vento**

Velocidade do vento (m/s [km/h])	Até 1 [3,6]	> 1 até 2 [7,2]	> 2 até 3 [10,8]	> 3 até 4 [14,4]	> 4 até 5 [18]	> 5 até 6 [21,6]
FCVV	1,00	1,37	1,64	1,86	2,06	2,23
NOTA 1 A velocidade do vento nas condições de ensaio deve ser conhecida. NOTA 2 O FCVV é válido para velocidades do vento iguais ou inferiores a 6 m/s ou aproximadamente 20 km/h.						

D.2 Fator de Correção de Carga (FCC)

O FCC é obtido através da equação:

$$FCC = \left(\frac{I_n}{I_m} \right)^2$$

Onde:

I_n é a carga nominal [A];
 I_m é a carga medida [A].

NOTA Os valores do FCC são válidos para cargas iguais ou superiores a 50 % da carga nominal.

O FCC também pode ser obtido através da Tabela 2.

Tabela 2 - Fator de Correção de Carga

Carga %	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
FCC	1,00	1,11	1,23	1,38	1,56	1,77	2,00	2,37	2,78	3,30	4,00

D.3 Temperatura Final Corrigida (TFC)

A TFC é obtida através da equação:

$$TFC = \Delta TC + T_a$$

Onde:

ΔTC é a elevação de temperatura corrigida calculada para carga nominal (100 %);
 T_a é a temperatura ambiente.

Sendo:

$$\Delta TC = (T_m - T_a) \times FCC \times FCVV$$

Onde:

T_m é a temperatura medida.

NOTA Para efeito deste cálculo, a carga nas condições de ensaio deve ser conhecida e para cargas medidas superiores à normal não deve ser usado o FCC.

ÍNDICE DE REVISÕES

REV. A e B

Não existe índice de revisões.

REV. C

Partes Atingidas	Descrição da Alteração
Todas	Revisadas

REV. D

[illegible]

1 Escopo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis na realização do ensaio não destrutivo por meio da técnica de termografia.

1.2 Esta Norma se aplica a inspeção de sistemas elétricos e mecânicos e de equipamentos de processo através da termografia, com obtenção de termogramas e registro de temperaturas.

1.3 O ensaio não destrutivo, objeto desta Norma, se aplica a partir da data de sua emissão.

1.4 Esta Norma contém Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

2 Referências Normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (incluindo emendas).

INMETRO [VIM:2008](#) - Vocabulário Internacional de Metrologia (Primeira Edição Brasileira do VIM 2008);

Norma Regulamentadora nº 10 ([NR-10](#)) - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;

PETROBRAS [N-2830](#) - Critérios de Segurança para Ambientes e Serviços em Painéis e Equipamentos Elétricos com Potencial de Arco Elétrico;

ABNT [NBR 8221:2003](#) - Equipamento de Proteção Individual - Capacete de Segurança para Uso na Indústria;

ABNT [NBR 13377:1995](#) - Medidas do Corpo Humano para Vestuário - Padrões de Referência;

ABNT [NBR 13712:1996](#) - Luvas de Proteção;

ABNT [NBR 15424:2010](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Terminologia;

ABNT [NBR 15572:2008](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Guia para Inspeção de Equipamentos Elétricos e Mecânicos;

ABNT [NBR 15718:2009](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Guia para Verificação de Termovisores;

ABNT [NBR 15763:2009](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Critérios de Definição de Periodicidade de Inspeção em Sistemas Elétricos de Potência;

ABNT [NBR 15866:2010](#) - Ensaios Não Destrutivos - Termografia - Metodologia de Avaliação de Temperatura de Trabalho de Equipamentos em Sistemas Elétricos;

API [530:2008](#) - Calculation of Heater-Tube Thickness in Petroleum Refineries;

ASTM [D 737:2008](#) - Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics;

ASTM [D 6413:2008](#) - Standard Test Method for Flame Resistance of Textiles (Vertical Test);

ASTM [E 1933:2005](#) - Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers;

NOTA O uso da capa 7/8 dispensa o uso do blusão de segurança citado em a).

- c) macacão de segurança;
- d) calça de segurança;
- e) camisa de segurança;
- f) capuz protetor contra arco elétrico com capacete;
- g) luva com ATPV mínimo maior ou igual à energia de arco incidente calculada;
- h) capacete com protetor facial;
- i) bota para eletricitista, sem biqueira de aço e sem partes metálicas, com isolamento para 14 kV / 1min;

NOTA Nos casos em que a energia incidente calculada estiver igual ou abaixo de 8 cal/cm², o uso de c) ou d) e e) dispensa o uso das a) ou b), do mesmo modo que o uso da h) dispensa o uso da f).

- os EPI citados deverão estar de acordo com as NFPA 70E:2009, PETROBRAS N-2830, ABNT NBR 13377:1995, ASTM F 1506:2010, ASTM F 2621:2006, ASTM F 1959/F 1959M:2007, NFPA 2112:2007, ASTM D 6413:2008, ASTM F 1930:2008, ASTM D 737:2008, ISEA Z87.1, ASTM F 2178:2008, ABNT NBR 13712:1996 e NBR 8221:2003;
- a Companhia deve disponibilizar os EPI adequados a todas as subestações e painéis elétricos existentes. No caso de serviços prestados por terceiros, esta função recai para a(s) empresa(s) contratada(s);
- os EPI adequados devem ser utilizados por todas as pessoas que executam tarefas de risco de queimadura por arco elétrico e devem ser apropriados para o nível de energia incidente à qual o trabalhador está exposto;
- o uso de botas com biqueira de metal ou partes condutoras, de adornos pessoais metálicos e de acessórios metálicos como canetas, pranchetas etc. não é permitido;
- Os empregados contratados devem seguir os mesmos requisitos de segurança que os empregados próprios.

5.3 Modificações, Adições e Supressões na ABNT NBR 15763:2009 - Item 5 - Parâmetros dos Critérios da Aplicação da Termografia em Sistemas Elétricos - Modificar

No Item 5.2 da ABNT NBR 15763:2009 o intervalo recomendado entre as inspeções termográficas é de seis meses para os sistemas elétricos citados no item 5.1 da ABNT NBR 15763:2009, não devendo, na impossibilidade de se cumprir esse período, ser superior a 12 meses.

5.4 Modificações, Adições e Supressões na ABNT NBR 15866:2010 - Item 8.2 Avaliação Quantitativa - Adicionar

5.4.1 Critérios para Classificação das Medições

A elevação máxima de temperatura admissível é obtida através da equação:

$$\Delta T_{\max} = T_{\max} - T_a$$

Onde:

- ΔT_{\max} é a elevação máxima de temperatura admissível;
- T_{\max} é a temperatura máxima admissível para o componente;
- T_a é a temperatura ambiente.

NOTA A T_{\max} é normalmente especificada pelo fabricante do componente a partir da qual tem início o processo de degradação do material. O anexo A da ABNT NBR 15866:2010 provê alguma informação a respeito.