

Vinícius Reis Leite

Universidade de Taubaté

viniciusreisleite@gmail.com

ENSAIO NÃO DESTRUTIVO APLICAÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE

RESUMO

Os ensaios não destrutivos (END) são técnicas e testes realizados em materiais acabados ou não acabados para verificar a existência ou não de descontinuidade, anomalias e ou defeitos. Estes ensaios são feitos através de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior. Eles determinam a integridade do material, peça ou estrutura e medem quantitativamente uma dada característica do material, ou seja, por não danificar na inspeção ou medição do material esse tipo de ensaio é denominado não destrutivo. END é atualmente uma ferramenta indispensável na indústria, diversas empresas reconhecem esta área tecnológica como essencial para contribuir na redução dos custos, aumentar a confiabilidade e garantir uma maior qualidade na inspeção de matérias e produtos.

Palavras-chave: líquido penetrante, ensaio não destrutivo, defeitos, confiabilidade.

ABSTRACT

The nondestructive testing (NDT) techniques and tests are conducted on finished or unfinished materials to verify the existence or not of discontinuity, and anomalies or defects. These tests are done through defined physical principles, without changing its physical, chemical, mechanical, dimensional and without interfering in its later use features. They determine the integrity of the material, part, or structure and quantitatively measure a given characteristic of the material, ie, by not damage inspection or measurement of the material this type of test is called non-destructive. END is now an indispensable tool in the industry, many companies recognize this technological area as essential to contribute to the reduction of costs, increase reliability and provide greater quality inspection of materials and products.

Keywords: liquid penetrant, non-destructive testing, defects, reliability.

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Evandro Luis Nohara
evandro@unitau.br

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

1 INTRODUÇÃO

A indústria aeronáutica é um setor que se descreve por uma credibilidade elevada em seus componentes, devido aos rigorosos métodos de construção e desenvolvimento utilizados e seus precisos sistemas de manutenção e inspeção aplicados durante a vida útil. Devido ao conjunto de situações ligadas em comum, que permite o avião realizar voos e permanecer voando a todo o momento com índice de falhas zero, os END (ensaios não destrutivos) são amplamente utilizados na aeronáutica, que se prende com a necessidade de assegurar que os componentes em serviço não falhem, o que torna necessário aumentar a produtividade e confiabilidade destes procedimentos.

Dentro da indústria aeronáutica, entre os diversos tipos de ligas e materiais que são trabalhados, há as ligas não ferrosas, que precisam absolutamente de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas, que são aplicáveis somente em materiais magnéticos, dessa forma foi desenvolvido o ensaio por líquido penetrante para realizar testes em materiais não magnéticos, como as ligas não ferrosas. A inspeção e manutenção com intervalos regulares dos componentes aeronáuticos exige que as aeronaves permaneçam longos períodos de tempo estacionadas em um hangar, o que origina para a companhia área grandes perdas financeiras, por si só, elas também acarretam elevados custos que podem ser reduzidos se os procedimentos de inspeção e manutenção criarem condições mais favoráveis, uma melhor otimização do trabalho a ser realizado, reduzindo-se assim a mão de obra e o tempo estacionado da aeronave.

O setor aeronáutico é muito conservador, com argumentos que se enlaçam com as garantias oferecidas pelos métodos muito mais antigos devidamente certificados, dessa forma torna-se necessário um aprofundado estudo de todas as alternativas existentes de END que devem ser exaustivamente inseridas na indústria aeronáutica, seguindo as normas brasileiras e internacionais de uso, aplicação e revisão.

2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Entre os diversos métodos de END empregados, existem diversos que possuem a capacidade de oferecer informações a respeito do conteúdo de defeitos de um determinado produto, das características tecnológicas de um material, da monitoração da degradação dos componentes e estruturas. Os mais utilizados no setor aeronáutico são:

- Inspeção Visual;
- Líquido Penetrante;
- Partículas Magnéticas;
- Ultrassom;
- Radiografia (Raios X e Gama);
- Correntes parasitas;
- Análise de vibrações;
- Termografia;

Para que os resultados sejam satisfatórios e tenham validade, é de extrema importância que os ensaios sejam realizados por profissionais treinados e qualificados.

Todas as técnicas para a realização dos END, também devem seguir os procedimentos de execução de ensaios qualificados com base nas normas e critérios de aceitação, além de que os equipamentos tem a necessidade de estar devidamente calibrados.

Com o decorrer do tempo melhorias foram desenvolvidas para esse tipo de ensaio e conforme ANDREUCCI (2008), “o ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material. Esse método teve início antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso quando em 1942, nos EUA, foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nessa época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam um método de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método foi se desenvolvendo, através da pesquisa e o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual.”

Na indústria aeronáutica, todos os ensaios e técnicas de END são aplicados em fases, esse procedimento garante uma maior credibilidade para seus componentes e, conseqüentemente, um maior nível de segurança. Os materiais utilizados para a construção dos componentes, antes de entrar em fase de produção, são inspecionados pelas técnicas e métodos de END para garantir que não exista nenhum tipo de defeito em sua estrutura e que possuam as propriedades mecânicas esperadas. Durante a fase de produção e ou rapidamente após ter sido concluída, todos os componentes são situados em fase de inspeção, com o objetivo de garantir que se encontre em

plenas condições de serem colocados em serviço, sem defeitos, anomalias e fissuras que comprometam o desempenho e a sua confiabilidade.

Atualmente as técnicas de END tornam-se cada vez mais desenvolvidas, baseando-se nos mesmos princípios físicos e químicos que suas antecessoras, mas com a possibilidade de tirar vantagem das novas tecnologias, fazendo com que haja uma maior eficácia na detecção dos defeitos e redução do tempo dos ensaios e procedimentos.

Sendo assim, algumas das melhorias que os END podem proporcionar para a inspeção dos componentes aeronáuticos é a diminuição do tempo de inspeção dos componentes e consequentemente diminuição do tempo da aeronave estacionada, aumento da confiabilidade e dos resultados inicialmente pretendidos na detecção de defeitos da inspeção e redução da mão de obra para as tarefas de manutenção.

Todas essas melhorias, fundamentalmente, ajudam a reduzir os custos de inspeção e a aumentar sua confiabilidade, o que contribui também para garantir que normas e boas práticas de inspeção sejam cumpridas por todas as empresas e profissionais do setor.

2.1 Líquido Penetrante

Dentre todas as técnicas utilizadas no END, optei, através desse artigo, a explanar sobre a identificação de fissuração superficial, que utiliza o END denominado de Líquidos Penetrantes.

O ensaio por Líquidos Penetrantes é ponderado como um dos métodos com maior eficácia para a detecção de descontinuidades superficiais de materiais isentos de porosidade, dentre esses tipos de materiais podemos citar: metais ferrosos e não ferrosos, alumínio aeronáutico, magnésio, aços inoxidáveis, ligas metálicas e de titânio, cerâmicas, vidros e plásticos. Eles também são amplamente utilizados para a detecção de vazamentos em tanques, soldas, tubos e componentes.

2.2 Objetivo

Promover material didático para constituir conhecimento aos profissionais do setor aeronáutico sobre o tratamento de materiais e superfícies utilizados na indústria aeronáutica.

O propósito da técnica de END por Líquido Penetrante é afirmar a credibilidade do produto (qualidade), conseguindo uma imagem que descobre algum tipo de fissura e descontinuidade na superfície da peça por meio de uma mancha, do qual não são perceptíveis no ensaio visual, sem danificá-la ou destruí-la, o que torna possível separar as peças seguindo os critérios e normas de avaliação aceitáveis.

2.3 Normas de Referência

As normas que administram o END de líquidos penetrantes no Brasil são a ABNT NBR 1591:2009 e a ABNT NBR 8407:2007, para os Estados Unidos é a ASTM (American Society for Testing and Materials) E1417.

2.4 Preparação do Roteiro para Aplicação

Todos os ensaios não destrutivos exigem um procedimento de acordo com a norma ou código aplicável ao elemento inspecionado. O processo para ensaio por líquidos penetrantes contém itens relevantes para sua aplicação. Abaixo segue o código ASME (American Society of Mechanical Engineers) Sec. V Art. 6:

- Materiais, formas ou tamanhos das peças a ser inspecionadas e extensão do ensaio;
- Tipo (número ou letra de designação se disponível de cada penetrante, removedor, emulsificador, e revelador);
- Detalhes de processamento para pré-limpeza, e secagem, incluindo materiais de limpeza usados, e tempo mínimo permitido para secagem;
- Detalhes de processamento para aplicação do penetrante, o tempo que o penetrante deve permanecer na superfície (tempo de penetração) temperatura da superfície e do penetrante durante o ensaio se diferente da faixa de 10 0C até 52 0C;
- Detalhes de processamento de remoção do excesso de penetrante da superfície, e para secagem da superfície antes de aplicar o revelador;
- Detalhes de processamento para aplicação do revelador, e o tempo de revelação antes da interpretação;
- Detalhes de processamento para limpeza após o ensaio.

Em caso de haver qualquer tipo de alteração ou substituição nos diversos tipos de materiais penetrantes (incluindo reveladores, emulsificadores, etc..) ou na técnica de processamento, o procedimento deverá ser revisado.

2.5 Classificação dos Penetrantes, Métodos e Materiais

As normas definem as características elementares para o controle e aplicação do ensaio e deve ser usada em conjunto com um procedimento detalhado.

Quando o objetivo é relevar a existência de descontinuidades em peças de aeronaves, é necessário seguir os critérios definidos no manual do fabricante e/ou boletins de serviços e no final do ensaio emitir um documento especificando o nível de aceitação ou rejeição. Dessa forma, os materiais utilizados no ensaio devem ser obrigatoriamente qualificados, somente os aprovados e listados na QPL (Qualified Products List) -AMS (Aerospace Material Specification) 2644 podem servir no ensaio por líquido penetrante, em casos que venha a utilizar materiais não listados na QPLAMS 2644, é necessário comprovar que o produto forneça a sensibilidade adequada, seja de excelente qualidade e que haja uma autorização da agência contratante.

Nem todos os materiais disponíveis no mercado Brasileiro para o ensaio por líquido penetrante estão listados na QPL-AMS 2644. Abaixo segue a classificação dos tipos de materiais e métodos definidos na ASTM E1417:

- **Tipo -Classificação dos Penetrantes**

Tipo I – fluorescente.

Tipo II – visível.

- **Classificação dos Métodos**

Método A – Lavável com água.

Método B – Pós-emulsificante, Lipofílico.

Método C – Removível com solvente.

Método D – Pós-emulsificante, Hidrofílico.

- **Sensibilidade: Os níveis de sensibilidade aplicam-se somente aos sistemas de penetrante Tipo I**

Sensibilidade Nível 1/2 -Muito baixa

Sensibilidade Nível 1 -Baixa

Sensibilidade Nível 2 – Média.

Sensibilidade Nível 3 – Alta.

Sensibilidade Nível 4 -Ultra-alta.

- **Classificação dos Reveladores:**

Forma a – pó seco.

Forma b – solúvel em água.

Forma c – suspensa em água.

Forma d – não aquoso.

Forma e – aplicação específica.

- **Classificação dos Solventes:**

Classe 1 – halogêneos.

Classe 2 – não halogêneos.

Classe 3 – aplicação específica.

Os profissionais envolvidos no ensaio devem ser qualificados por uma das seguintes normas:

- SNT-TC-1A;
- ANSI/ASNT CP 189;
- NAS 410. (Norma adotada para qualificação de profissionais em ensaios não destrutivos na área aeronáutica);

2.6 APLICAÇÃO

O procedimento para execução em que se baseia esta técnica de END segundo BRAY e McBRIDE (1992) consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido de características especiais. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície. Pode-se descrever o método em seis etapas principais no ensaio, quais sejam: a) Preparação da superfície – Limpeza inicial; b) Aplicação do penetrante; c) Remoção do excesso de penetrante; d) Revelação; e) Avaliação e Inspeção; f) Limpeza após o ensaio.

O líquido penetrante contém uma elevada capilaridade, baixa tensão superficial e viscosidade, a que é adicionado um corante para contraste, que pode ser avermelhado ou fluorescente. O ensaio é semelhante para muitos tipos de peças, com formatos e dimensões diferentes, deve-se haver um modo de atuar geral, que seja capaz de gerar informações comuns para todos os tipos de peças e componentes. A norma ASTM E1417 define que cada peça ou componente deve ter um procedimento específico, trazendo informações detalhadas da técnica adotada, ela fornece os requisitos para o procedimento geral e os manuais e boletins de serviços para o específico. Abaixo segue o que o procedimento específico deve conter segundo a ASTM E1417:

- Detalhes da limpeza e pré-limpeza, incluindo os materiais utilizados;
- Parâmetros de secagem e tempo das etapas do processo;
- Documentos utilizados;
- Classificação dos materiais;
- Parâmetros completos de todas as etapas do processo, incluindo os tempos, concentração, temperaturas, controles de todas as etapas e controles para evitar a secagem excessiva etc..

Formas a e b (reveladores secos e solúveis em água), não podem ser usados com o penetrante tipo II (visível). O penetrante tipo II não deve ser usado antes do tipo I na mesma superfície. Isto não se aplica para ensaios realizados durante a fabricação, pois a superfície ensaiada será trabalhada e poderá ser ensaiada posteriormente com o tipo I. A inspeção/vistoria de componentes críticos de turbina deve ser feitas somente com penetrantes Tipo I (fluorescente) e Métodos C e D (removíveis com solvente ou pós emulsificável hidrofílico), sendo que o penetrante deverá ter a sensibilidade 3 ou 4.

Ao iniciar o END o elemento deve estar totalmente limpo, seco, isento de óleo, graxa, tinta, corrosão ou camada que possa impedir a ação do penetrante e sem nenhum tipo de impureza sobre a superfície. Contaminantes tornam o ensaio não confiável. O material que será utilizado na limpeza do componente deve ser compatível com o contaminante a ser removido e em hipótese alguma deve ser nocivo ao componente. A tarefa de selecionar qual é o melhor tipo de penetrante e o método de remoção apropriado envolve um grau de dificuldade, pois exige conhecimento a respeito do processo de fabricação de cada elemento a ensaiar, as fissuras esperadas, o tipo de material, o peso e o tamanho. É recomendado utilizar o penetrante mais sensível, junto ao melhor método de remoção dos excessos.

Na aplicação do líquido é utilizado um pincel, lata de aerossol (como pode ser visualizado na Figura 1), pistola ou mesmo a imersão do produto que receberá o ensaio em tanques, em qualquer dos casos o líquido penetrante sempre é aplicado em excesso, toda a superfície deve ser coberta. As partes que não puderem ser afetadas pelo penetrante devem ser protegidas.



Figura 1 – Aplicação do líquido penetrante utilizando lata de aerossol.

Fonte: <http://www.faend.com.br/galeria/liquido6.jpg>

Depois de aplicado, deve-se aguardar algum tempo para realizar a penetração do líquido no interior das eventuais fissuras superficiais existentes, como, normalmente, elas são pequenas e estreitas, o fenômeno da capilaridade propicia a penetração, o tempo mínimo de penetração deve ser de 5 minutos, e em casos que exceda duas horas, o penetrante deve ser reaplicado para prevenir a secagem.



Figura 2 – Aguardando tempo de penetração do líquido.

Fonte: <http://www.faend.com.br/galeria/liquido14.jpg>

Tabela 1 – Tempos mínimos de penetração recomendados pelo ASME Sec. V Art. 6.

Material	Forma	Tipo de Descontinuidade	Tempo de Espera	
			Penetrante	Revelador
Alumínio, magnésio, aço, bronze, titânio, altas ligas	Fundidos e Soldas	Porosidade, trincas, (todas as formas) falta de fusão, gota fria	5	7
Plásticos	Todas as formas	Trincas	5	7
Vidros	Todas as formas	Trincas	5	7
Cerâmicas	Todas as formas	Trincas, porosidades	5	7

Em seguida, remova o penetrante do produto por meio de lavagem com água ou remoção com solventes (não usar solvente em excesso, isto pode remover o penetrante da descontinuidade), um revelador (talco) mostra a localização das descontinuidades superficiais com precisão. O revelador deve ter a capacidade de absorver o penetrante da descontinuidade, de cobrir a superfície evitando confusão com a imagem do defeito, ser facilmente removível e não deve conter elementos prejudiciais ao elemento inspecionado e ao operador do ensaio. Se o penetrante for do tipo I, a remoção deve ser feita sob luz negra (Figura 3), para que seja possível controlar melhor o enxague.

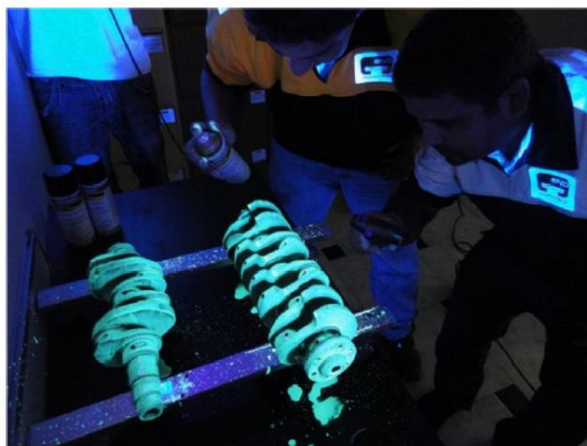


Figura 3 – Remoção do penetrante utilizando luz negra.

Fonte: <http://www.faend.com.br/galeria/232012173538.JPG>

Se for do tipo II, visualmente se não constatar traços vermelhos na peça ou no pano utilizado, garante que houve uma completa remoção. Neste momento todo o líquido penetrante excedente é removido e permanece apenas aquele que penetrou nas fissuras (Figura 4).



Figura 4 – Descontinuidades destacadas na peça.

Fonte: <http://soudap.com.br/wp-content/uploads/2012/11/e.jpg>

Para o processo de inspeção, a norma ASTM E1417 diz que:

- Os componentes devem ser examinados (inspecionados) antes do tempo máximo de revelação, e se requerido em procedimento, deve ser monitorado durante o tempo de revelação.
- Componentes não inspecionados antes do tempo máximo de revelação, devem ser limpos e reprocessados.
- Se o intervalo entre a remoção do penetrante e a inspeção exceder 5 horas, o completo reprocessamento do componente é requerido.
- Para penetrantes do TIPO I: o tempo de adaptação ao escuro deve ser no mínimo de 1 minuto, antes de inspecionar os componentes. Tempos maiores para a adaptação ao escuro, deverão ser usados se necessário.
- O inspetor não deve usar óculos com lentes fotocromáticas ou com lentes escuras quando estiver processando ou inspecionando as peças sob luz negra.
- Todas as áreas de fluorescência devem ser interpretadas.
- Componentes sem indicações ou somente com indicações não relevantes devem ser aprovados.
- Componentes com indicações relevantes, devem ser avaliados de acordo com o critério de aceitação aplicável.
- Componentes com excessiva fluorescência de fundo, devem ser limpos e reprocessados.
- Para penetrantes do TIPO II: todas as indicações devem ser interpretadas.
- Componentes sem indicações ou somente com indicações não relevantes, devem ser aprovados.
- Componentes com indicações relevantes devem ser avaliados de acordo com o critério de aceitação aplicável.
- Componentes com excesso de fundo vermelho, dificultando o contraste e com a possibilidade de estar mascarando uma indicação verdadeira, devem ser limpos e reprocessados.

O resultado positivo deste END depende se é possível visualizar a descontinuidade ou não. Por esse motivo o líquido penetrante possui um corante, de cor vermelha, que pode ser analisado sob a luz branca, ou agente químico fluorescente, de cor amarelo-esverdeada, para ser analisado sob a luz ultravioleta. Ele pode ser aplicado durante ou no final do processo de fabricação e também durante a manutenção, para revelar o surgimento do que está oculto nas descontinuidades de serviço do produto. Todas as peças necessariamente devem ser limpas logo após o ensaio (Tabela 2), independente se o elemento foi aprovado ou rejeitado, apenas não necessita de limpeza as peças que tiver um destino onde os resíduos não causem nenhum tipo de problema.

Tabela 2 – Etapas de realização do ensaio.

Etapas do ensaio	Resumo
Preparação da superfície	Avaliação da superfície a ser examinada
Limpeza da superfície	A superfície deve estar limpa, normalmente utiliza-se um solvente para esse efeito
Aplicação do Penetrante	Consiste na aplicação do líquido penetrante, geralmente de cor vermelha ou fluorescente, para que toda a área de interesse seja coberta, formando um filme sobre a mesma
Remoção do excesso	Após aguardar o tempo de penetração, o líquido em excesso deve ser removido da superfície
Aplicação do revelador	Consiste na aplicação do revelador sobre a superfície da peça
Avaliação ou inspeção das indicações produzidas	A avaliação deve ser feita em boas condições de luminosidade, podendo esta ser feita com luz natural ou luz negra
Limpeza após o ensaio	É necessário limpar completamente a superfície da peça, para remover todos os resíduos das etapas anteriores

Todo o processo do END por líquido penetrante, desde a preparação da peça até a limpeza após ensaio, deve obrigatoriamente seguir os requisitos mínimos que são exigidos em suas respectivas normas, esse cuidado busca aumentar o grau de qualidade na realização do ensaio, bem como orientar o profissional a frente da tarefa.

2.7 VANTAGENS

É um tipo de ensaio muito fácil e prático de realizar, entretanto, Andreucci (2008) esclarece que “[...] Como a indicação assemelha-se a uma fotografia do defeito, é muito fácil de avaliar os resultados. Em contrapartida o inspetor deve estar ciente dos cuidados básicos a serem tomados (limpeza, tempo de penetração, etc), pois a simplicidade pode se tornar uma faca de dois gumes [...]”.

O sucesso do ensaio está sujeito a visibilidade da indicação da fissura, e entre suas vantagens, posso citar: é barata e não necessita de equipamentos sofisticados, pode detectar descontinuidades superficiais em fissuras minúsculas, possui a capacidade de examinar peças com várias formas e tamanhos diferentes e também áreas isoladas em uma superfície, a imagem da descontinuidade fica desenhada sobre a superfície, tornando fácil a interpretação, avaliação e é aplicado em uma grande quantidade de materiais, desde que não sejam porosos.

2.8 LIMITAÇÕES DO MÉTODO

- A superfície deve estar completamente limpa e seca; não pode ser porosa ou absorvente;
- Excesso de ferrugem e rugosidade torna o ensaio não confiável;
- A aplicação deve ser feita em uma faixa de temperatura permitida pelo fabricante do produto, não muito fria ou muito quente;
- Os líquidos utilizados no END podem danificar alguns materiais ou ficarem permanentemente retidos em materiais porosos, além de causar irritação na pele do profissional que o manuseia.

O END por líquido penetrante é muito prático e de fácil execução, ele revela fissuras extremamente finas, pouco profundas e de largura apreciável (na ordem de 0,001 mm de abertura). Para as fissuras mais profundas, normalmente onde os líquidos não penetram ou onde a superfície não favorece a observação da revelação do desenho, são usados outros métodos de END, dentre eles pode-se citar as partículas magnéticas.

2.9 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Conforme ASME Seção VIII, Divisão 1, Apêndice 8:

- **Avaliação das indicações:** Indicação é evidência de imperfeição mecânica. Devem ser consideradas relevantes somente as indicações que tenham dimensões maiores do que 1,6mm.
 - a) Indicação linear é a que apresenta um comprimento maior que três vezes a largura.
 - b) Indicação arredondada é a que apresenta formato circular ou elíptico, com comprimento igual ou menor que três a largura.
 - c) Quaisquer indicações questionáveis ou duvidosas devem ser submetidas a um reexame, para que se defina se as mesmas são relevantes ou não.
- **Padrões de aceitação:** Devem se aplicados os seguintes padrões de aceitação, exceto se outros padrões mais restritivos forem estipulados para aplicações ou materiais específicos, dentro dos limites desta Divisão. Todas as superfícies examinadas devem estar isentas de:
 - a) Indicações lineares relevantes
 - b) Indicações arredondadas relevantes, maiores do que 4,8mm
 - c) Quatro ou mais indicações arredondadas relevantes alinhadas, separadas por uma distância igual ou menor que 1,6mm, medidas entre bordas de indicações consecutivas.
 - d) A indicação de uma descontinuidade pode ser maior do que a própria descontinuidade; entretanto, a indicação é que deve ser utilizada para a aplicação do critério de aceitação.

3 CONCLUSÃO

A técnica de END utilizando líquido penetrante é útil para detectar poros, dobras e trincas que estão abertas na superfície e que aparentemente não demonstrava nenhum tipo de risco, ela pode ser utilizada em todos os tipos de materiais sólidos, desde que não sejam porosos e possuam alta rugosidade. É muito utilizado em material não magnético como alumínio, ligas de titânio, magnésio, aços inoxidáveis, vidro, cerâmica, plásticos e também em materiais magnéticos. Os ensaios por líquido penetrante exigem a correta aplicação das técnicas de ensaio e um grande conhecimento e prática para a interpretação e avaliação das indicações, conhecimento prévios sobre os documentos aplicáveis ao ensaio, o tipo de material, o processo de fabricação da peça e uma grande dose de bom senso, somando tudo isso à qualificação do profissional segundo as normas.

Ele é um método simples e muito eficiente, pois consiste em um líquido penetrar na descontinuidade da peça e após a remoção do excesso desse líquido da superfície, através de um revelador, a imagem da descontinuidade fica desenhada sobre a superfície. O que pode prevenir acidentes, diminuir os custos, aumentar o nível de confiabilidade e obter informações de reparo, por isso os resultados de todos os ensaios obrigatoriamente devem ser registrados e arquivados.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS -ASME Boiler and Pressure Vessel
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS, *Metals Handbook*, 8ed, vol. 8, Metals Park, 1973, p.207
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OF MATERIALS, ASTM E1417, ASTM, Philadelphia, 1980.
- ANDREUCCI, R. *Ensaio por líquidos penetrantes*. ABENDE Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos. São Paulo, 2008. 68 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT 1591:2009, NBR 8407:2007, ABNT, Rio de Janeiro, 1969.
- BRAY, D. E.; McBRIDE, D. *Nondestructive Testing Techniques*. NY. A Wiley-Interscience Publication, 1992.765p.
- GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. dos. *Ensaios dos Materiais*. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora. UNICAMP, Campinas. 2000.
- MAC Master R ; *Non Destructive Testing Handbook*, N.York, Ronald Press,
- Sakamoto, A, *Ensaio por Líquidos Penetrantes*, ABENDE