

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Marcelino Maurílio Torres

RISCOS NA INSPEÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE

Taubaté – SP
2009

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Marcelino Maurílio Torres

RISCOS NA INSPEÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. João Alberto Bajerl

Taubaté – SP
2009

Marcelino Maurílio Torres

RISCOS NA INSPEÇÃO POR LÍQUIDO PENETRANTE

Monografia apresentada para obtenção do Certificado de Especialização de Engenharia de Segurança do Trabalho do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Taubaté.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Eng. João Alberto Bajerl

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Eng. Ms. Carlos Alberto Guimarães Garcez.

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Prof. Eng. Oseias Narcizo Simões Sene

Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Dedico esta conquista aos meus filhos Fabiano e Evelin pelo incentivo e apóio.

Ao meu pai João Eduvirgens Ferreira Torres “In Memoriam”

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor e engenheiro João Alberto Bajerl pelo apóio e incentivo na elaboração do trabalho.

A colega engenheira química e engenheira de segurança do Trabalho Tânia da Silva Barboza pela colaboração na elaboração do trabalho.

Ao coordenador, professores pela dedicação nos ensinamentos e aos colegas pela amizade e companheirismo.

RESUMO

São discutidos os riscos toxicológicos a que o usuário é submetido no manuseio dos produtos através de análise das substâncias presentes nos materiais penetrantes e de medições efetuadas da concentração de alguns agentes ambientais durante o ensaio de líquido penetrante.

Palavras chave: Penetrante. Toxicológico. Segurança.

ABSTRACT

This paper presents alternative propellents to traditional ones used with penetrant materials. The toxicological risks that usually are submitted during handling are discussed, by the analysis of present materials, and by the evaluation of the concentration of some environmental agents, during the liquid penetrant test.

Key words: Toxicological. Penetrant. Risks.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Tipos de líquidos penetrantes	23
Quadro 2 Removedor-propelente-hidrocarbonetos-butano/propano.....	29
Quadro 3 Removedor-propelente - CF_2Cl_2	29
Quadro 4 Removedor-propelente - CO_2	29
Quadro 5 Penetrante-propelente – hidrocarbonetos – butano/propano	30
Quadro 6 Penetrante- propelente – clorofluorcarbono - CF_2Cl_2	30
Quadro 7 Revelador -propelente – hidrocarbonetos – butano/propano	30
Quadro 8 Revelador - propelente – clorofluorcarbono – CF_2Cl_2	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Características de alguns líquidos à 20 °C	19
Tabela 2 Pontos de fulgor de alguns líquidos	20
Tabela 3 Resultados das medições	32
Tabela 4 Comparativo de medições.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Preparação e limpeza inicial da superfície.....	13
Figura 2 Tempo de penetração do líquido na abertura.	14
Figura 3 Remoção do excesso de líquido da superfície.....	14
Figura 4 Aplicação do revelador e observação da indicação.	15
Figura 5 Absorção de líquido, pelo revelador, de dentro da abertura.....	16
Figura 6 Junta soldada contendo trinca visual	17
Figura 7 Comparação entre três líquidos.	19
Figura 8 Comparação entre dois líquidos com propriedade de capilaridade diferentes.....	22
Figura 9 Resultado do ensaio por líquidos penetrantes de uma peça fundida.....	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo	11
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	12
2.1 Generalidades	12
2.1.1 Finalidade do ensaio	13
2.1.2 Princípios básicos	13
2.1.3 Vantagens e limitações do ensaio, em comparação com outros métodos	16
2.1.3.1 Vantagens	16
2.1.3.2 Limitações	17
2.2 Propriedades Físicas do Penetrante	17
2.3 Sensibilidade do Penetrante	22
2.3.1 Propriedades do revelador	23
2.4 Riscos Toxicológicos Durante a Realização do Ensaio por Líquido Penetrante	25
2.4.1 Riscos de incêndio e explosão	27
3 METODOLOGIA.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1 Coleta de Informações dos Fabricantes	29
4.2 Verificação da Existência de Substâncias Através de Medição dos Materias Penetrantes Coletados	31
4.2.1 Procedimento de Medição	31
4.2.1.1 Objetivo	31
4.2.1.2 Condições de medição	31
4.2.1.3 Equipamento	32
4.2.1.4 Resultados da medição	32
5 CONCLUSÃO.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	36

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve uma grande evolução nos aspectos de normalização e de elaboração de procedimentos de execução de ensaio de líquido penetrante. Ao mesmo tempo, os aspectos de segurança e toxicidade não foram contemplados na normalização. Isso contribuiu para que houvesse uma desinformação generalizada do usuário de manuseio levando-o a condições algumas vezes inseguras. Além disso, há ainda outras dificuldades quanto aos aspectos de segurança e toxicológicos como:

- inexistência de estudos de avaliação da saúde dos usuários;
- rótulos incompletos e de desacordo com a legislação vigente, com o código de defesa do consumidor e com o direito de saber do trabalhador.

Este trabalho apresenta na revisão bibliográfica, o princípio, finalidade e aplicação do ensaio de líquido penetrante.

A metodologia mostra a coleta de informações das substâncias junto aos seus fabricantes e as medições das concentrações das substâncias químicas nelas contidas durante a execução de uma inspeção.

Nos resultados e análises das medições, é feito uma comparação com as informações fornecidas pelos fabricantes dos produtos, medição das concentrações efetuadas e os valores de limite de tolerância.

1.1 Objetivo

O objetivo é mostrar aos usuários dos líquidos penetrantes os cuidados que devem ser tomados no manuseio dos produtos quanto aos aspectos de segurança e também que as substâncias químicas neles contidas são prejudiciais à saúde do trabalhador exposto ao ensaio.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 Generalidades

O ensaio por líquidos penetrantes, como é hoje conhecido, teve suas primeiras aplicações nas inspeções de componentes das locomotivas nos Estados Unidos (ANDREUCCI, 2003).

O ensaio era realizado com a finalidade de detectar trincas abertas à superfície em rodas e eixos das locomotivas. A técnica, ainda rudimentar, tinha como princípio a limpeza das peças em solução de soda cáustica. Após a limpeza, as peças eram submersas em óleo diluído com querosene, em que permaneciam por um longo tempo. Durante este tempo, o óleo se "infiltrava" nas falhas existentes. Após esse período, as peças eram secas e todo o óleo era removido da superfície. Em seguida era aplicada uma solução de pó de giz, diluída em álcool. Em toda a superfície, após a evaporação do álcool, formava-se uma casca fina branca que se aderiu à superfície. Através de golpes de martelo, fazia-se com que as peças vibrassem. Esta vibração era responsável por iniciar o processo de expulsão do óleo de dentro das falhas. Em seguida o giz da superfície dava continuidade ao processo de revelação, formando manchas de óleo nos locais onde existissem trincas.

Esse método teve aplicação do final do século XIX até aproximadamente 1940, quando foi desenvolvido o método por partículas magnéticas para aplicação em materiais ferro-magnéticos, que apresentou sensibilidade muito superior ao ensaio por líquido penetrante.

Após 1942, o ensaio por líquidos penetrantes recebeu um novo impulso, foi desenvolvido pela Magnaflix o sistema "zyglo" de inspeção, em que foram adicionados pigmentos fluorescentes ao líquido penetrante, Esses pigmentos apresentavam fluorescência, quando expostos a uma luz ultravioleta. Nessa época, descobriu-se uma aplicação importante do ensaio nas ligas não ferrosas, materiais dos principais componentes da indústria aeronáutica. A partir da Segunda Guerra Mundial o método foi se aprimorando até o estágio atual.

2.1.1 Finalidade do ensaio

O ensaio por líquidos penetrantes presta-se a detectar descontinuidades superficiais e que sejam abertas na superfície, tais como trincas, poros, dobras, etc. podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira.

É muito usado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, e zircônio, além dos materiais magnéticos. É também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos.

2.1.2 Princípios básicos

O método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. 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. Podemos descrever o método em seis etapas principais no ensaio, quais sejam:

a) Preparação da superfície - limpeza inicial

Antes de se iniciar o ensaio, a superfície deve ser limpa e seca, como mostra a Figura 1. Não deve existir água, óleo ou outro contaminante. Contaminantes, excesso de rugosidade, oxidação, tornam o ensaio não confiável.

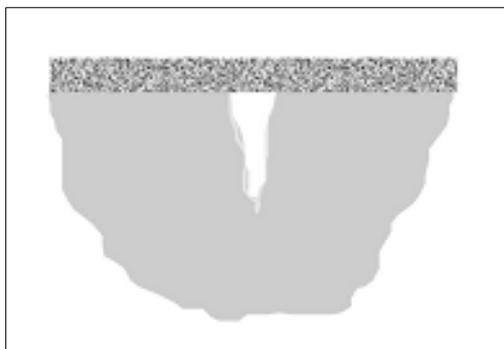


Figura 1 Preparação e limpeza inicial da superfície.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

b) Aplicação do líquido penetrante

Consiste na aplicação de um líquido chamado penetrante, geralmente de cor vermelha, de tal maneira que forme um filme sobre a superfície e que por ação do fenômeno chamado capilaridade penetre na descontinuidade. Deve ser dado um certo tempo para que a penetração se complete, conforme Figura 2.

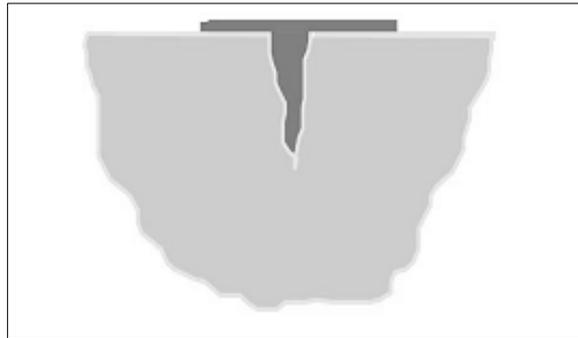


Figura 2 Tempo de penetração do líquido na abertura.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

c) Remoção do excesso de penetrante

Consiste na remoção do excesso do penetrante da superfície, através de produtos adequados, condizentes com o tipo de líquido penetrante aplicado, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo na superfície, conforme Figura 3.

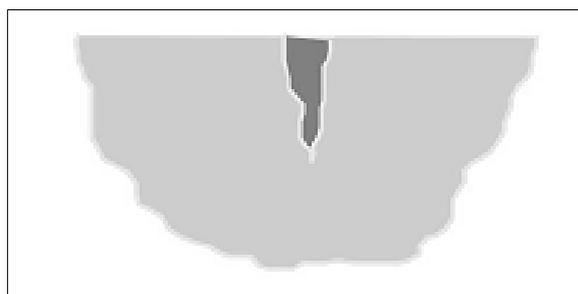


Figura 3 Remoção do excesso de líquido da superfície
Fonte: ANDREUCCI, 2003

d) Revelação

Consiste na aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície, como mostra a Figura 4. O revelador é usualmente um pó fino (talco) branco. Pode ser aplicado seco ou em suspensão, em algum líquido. O revelador

age absorvendo o penetrante das discontinuidades e revelando-as. Deve ser previsto um determinado tempo de revelação para sucesso do ensaio.



Figura 4 Aplicação do revelador e observação da indicação.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

e) Avaliação e inspeção

Após a aplicação do revelador, as indicações começam a serem observadas, através da mancha causada pela absorção do penetrante contido nas aberturas, e que serão objetos de avaliação.

A inspeção deve ser feita sob boas condições de luminosidade, se o penetrante é do tipo visível (cor contrastante com o revelador) ou sob luz negra, em área escurecida, caso o penetrante seja fluorescente.

A interpretação dos resultados deve ser baseada no código de fabricação da peça ou norma aplicável ou ainda na especificação técnica do cliente.

Nesta etapa deve ser preparado um relatório escrito que mostre as condições do ensaio, tipo e identificação da peça ensaiada, resultado da inspeção e condição de aprovação ou rejeição da peça.

Em geral a etapa de registro das indicações é bastante demorada e complexa, quando a peça mostra muitos defeitos. Portanto, o reparo imediato das indicações rejeitadas com posterior reteste, é mais recomendável, como mostra a Figura 5.

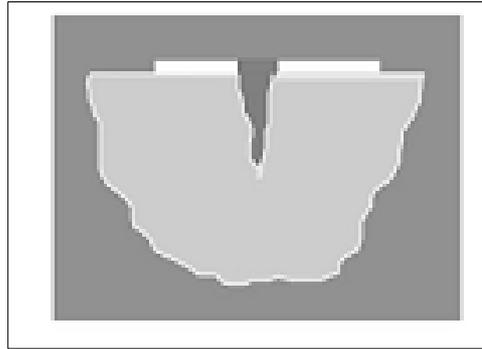


Figura 5 Absorção de líquido, pelo revelador, de dentro da abertura.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

f) Limpeza pós ensaio

A última etapa, geralmente obrigatória, é a limpeza de todos os resíduos de produtos, que podem prejudicar uma etapa posterior de trabalho da peça (soldagem, usinagem, etc.).

2.1.3 Vantagens e limitações do ensaio, em comparação com outros métodos.

2.1.3.1 Vantagens

Poderíamos dizer que a principal vantagem do método é a sua simplicidade. É fácil de fazer de interpretar os resultados. O aprendizado é simples, requer pouco tempo de treinamento do inspetor.

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.

Não há limitação para o tamanho e forma das peças a ensaiar, nem tipo de material; por outro lado, as peças devem ser susceptíveis à limpeza e sua superfície não pode ser muito rugosa e nem porosa.

O método pode revelar descontinuidades (trincas) extremamente finas (da ordem de 0,001 mm de abertura).

2.1.3.2 Limitações

Só detecta descontinuidades abertas para a superfície, como mostra a Figura 6, já que o penetrante tem que entrar na descontinuidade para ser posteriormente revelado. Por esta razão, a descontinuidade não deve estar preenchida com material estranho.

A superfície do material não pode ser porosa ou absorvente já que não haveria possibilidade de remover totalmente o excesso de penetrante, causando mascaramento de resultados.

A aplicação do penetrante deve ser feita numa determinada faixa de temperatura. Superfícies muito frias (abaixo de 10 °C) ou muito quentes (acima de 52 °C) não são recomendáveis ao ensaio.

Algumas aplicações das peças em inspeção fazem com que a limpeza seja efetuada da maneira mais completa possível após o ensaio (caso de maquinaria para indústria alimentícia, material a ser soldado posteriormente, etc). Este fato pode tornar-se limitativo ao exame, especialmente quando esta limpeza for difícil de fazer.

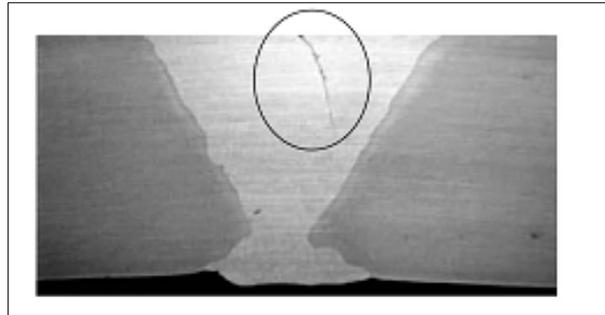


Figura 6 Junta soldada contendo trinca visual
Fonte: ANDREUCCI, 2003

2.2 Propriedades Físicas do Penetrante

O nome penetrante vem da propriedade essencial que este produto deve ter, ou seja, sua habilidade de penetrar em aberturas finas. Um produto penetrante com boas características deve:

- a) ter habilidade para rapidamente penetrar em aberturas finas;
- b) ter habilidade de permanecer em aberturas relativamente grandes;
- c) não evaporar ou secar rapidamente;

- d) ser facilmente limpo da superfície onde for aplicado;
- e) em pouco tempo, quando aplicado o revelador, sair das discontinuidades onde tinha penetrado;
- f) ter habilidade em espalhar-se nas superfícies, formando camadas finas;
- g) ter um forte brilho (cor ou fluorescente);
- h) a cor ou a fluorescência deve permanecer quando exposto ao calor, luz ou luz negra;
- i) não reagir com sua embalagem nem com o material a ser testado;
- j) não ser facilmente inflamável;
- k) ser estável quando estocado ou em uso;
- l) não ser demasiadamente tóxico ;
- m) ter baixo custo.

Para que o penetrante tenha as qualidades acima, é necessário que certas propriedades estejam presentes. Dentre elas destacam-se:

a) Viscosidade

Esta propriedade por si só não define um bom ou mal penetrante (quando falamos em bom ou mal penetrante nos referimos a sua habilidade em penetrar nas discontinuidades). A intuição nos diz que um líquido menos viscoso seria melhor penetrante que um mais viscoso. Isto nem sempre é verdadeiro, pois a água que tem baixa viscosidade não é um bom penetrante. Todavia, a viscosidade tem efeito em alguns aspectos práticos do uso do penetrante. Ele é importante na velocidade com que o penetrante entra num defeito. Penetrantes mais viscosos demoram mais a penetrar nas discontinuidades. Penetrantes pouco viscosos têm a tendência de não permanecerem muito tempo sobre a superfície da peça, o que pode ocasionar tempo insuficiente para penetração.

Líquidos de alta viscosidade têm a tendência de serem retirados dos defeitos quando se executa a limpeza do excesso.

b) Tensão superficial

A tensão superficial de um líquido é o resultado das forças de coesão entre as moléculas que formam a superfície do líquido. Observem a figura abaixo, o líquido 1 possui menor tensão superficial que os outros dois , e o líquido 3 é o que

possui a mais alta tensão superficial, lembrando o mercúrio como exemplo, como mostra a Figura 7.

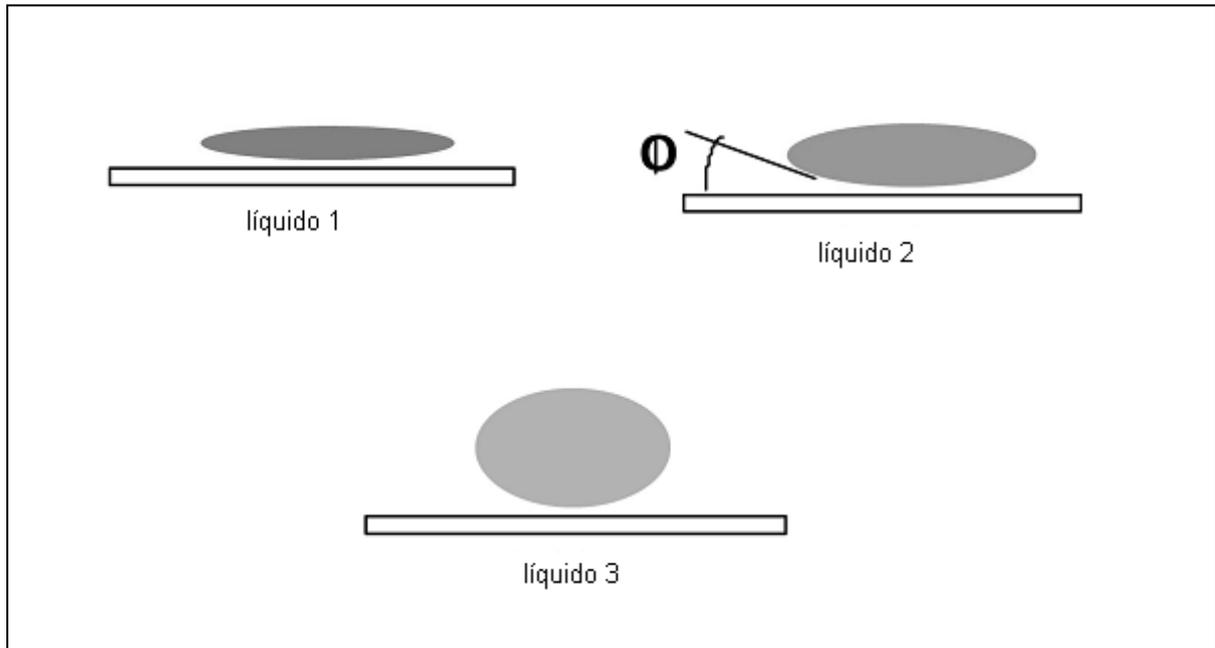


Figura 7 Comparação entre três líquidos.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

Comparação entre três líquidos com propriedades de tensão superficial diferentes.

Um líquido com baixa tensão superficial é melhor penetrante, pois ele tem a habilidade de penetrar nas discontinuidades.

Tabela 1 Características de alguns líquidos à 20 °C

Líquido	Viscosidade (centistoke)	Tensão Superficial (Dina/cm)
Água	1,0	72,8
Éter	0,3	17,0
Nafta	0,6	21,8
Querosene	1,6	23,0
óleo lubrificante	112,3	31,0
Álcool etílico	1,5	23,0

Fonte: ANDREUCCI, 2003

c) Molhabilidade

É a propriedade que um líquido tem em se espalhar por toda a superfície, não se juntando em porções ou gotas. Melhor a molhabilidade, melhor o penetrante.

d) Volatilidade

Podemos dizer, como regra geral, que um penetrante não deve ser volátil, porém devemos considerar que para derivados de petróleo, quanto maior a volatilidade, maior a viscosidade. Como é desejável uma viscosidade média, os penetrantes são mediamente voláteis.

A desvantagem é que quanto mais volátil o penetrante, menos tempo de penetração pode ser dado.

Por outro lado, ele tende a se volatilizar quando no interior do defeito.

e) Ponto de fulgor

Ponto de fulgor é a temperatura na qual há uma quantidade tal de vapor na superfície do líquido que a presença de uma chama pode inflamá-lo.

Um penetrante bom deve ter um alto ponto de fulgor (acima de 200°C). A Tabela 2 mostra os pontos de fulgor de alguns líquidos, para comparação. Esta propriedade é importante quando considerações sobre a segurança estão relacionadas à utilização do produto.

Tabela 2 Pontos de fulgor de alguns líquidos

LÍQUIDO	Ponto de Fulgor
Acetona	-18°C
Nafta	- 1°C
Álcool metílico	12°C
Álcool etílico	14°C
Glicerina	160°C

Fonte: ANDREUCCI, 2003

f) Inércia química

É obvio que um penetrante deve ser não inerte e não corrosivo com o material a ser ensaiado ou com sua embalagem quanto possível.

Os produtos oleosos não apresentam perigo. A exceção é quando existem emulsificantes alcalinos. Quando em contato com água vai se formar uma mistura alcalina.

Numa inspeção de alumínio ou magnésio, caso a limpeza final não seja bem executada, pode haver aparecimento após um certo período de corrosão na forma de "*pitting*".

Quando se trabalha com ligas à base de níquel, requer-se um penetrante com baixos teores de alguns elementos prejudiciais.

g) Habilidade de dissolução

Os penetrantes incorporam o produto corante ou fluorescente que deve estar o mais possível dissolvido. Portanto, um bom penetrante deve ter a habilidade de manter dissolvidos estes agentes.

h) Toxidez

Evidentemente um bom penetrante não pode ser tóxico, possuir odor exagerado e nem causar irritação na pele.

i) Penetrabilidade

Apesar de penetrabilidade (capacidade de penetrar em finas descontinuidades) não seja a única qualidade do líquido, a penetrabilidade está intimamente ligada às forças de atração capilar - capilaridade. Estas forças são aquelas que fazem um líquido penetrar espontaneamente num tubo de pequeno diâmetro. Observem a figura abaixo, o líquido 1 consegue penetrar até uma altura h_1 no tubo capilar, enquanto que o líquido 2 consegue penetrar a uma altura h_2 , menor que h_1 , no mesmo tubo capilar. Assim, o líquido 1 possuirá melhor características de penetrabilidade nas descontinuidades, que o líquido 2, uma vez que as finas aberturas se comportam como o tubo capilar, conforme mostra a Figura 8.

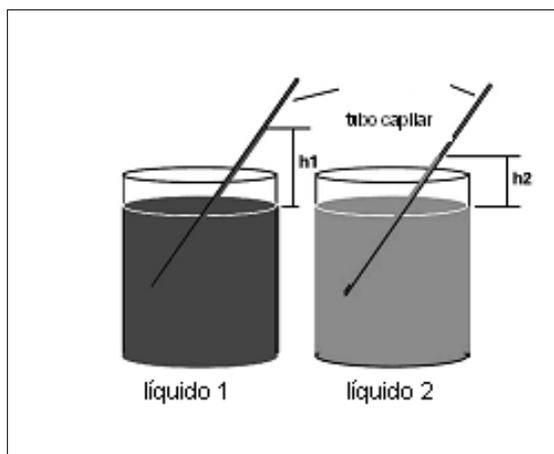


Figura 8 Comparação entre dois líquidos com propriedade de capilaridade diferentes.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

A capilaridade é função da tensão superficial do líquido e de sua molhabilidade. A abertura da descontinuidade afetará a força capilar - menor a abertura (mais fina uma trinca) maior a força.

2.3 Sensibilidade do Penetrante

Sensibilidade do penetrante é sua capacidade de detectar descontinuidades. Podemos dizer que um penetrante é mais sensível que outro quando, para aquelas descontinuidades em particular, o primeiro detecta melhor os defeitos que o segundo.

Os fatores que afetam a sensibilidade são:

- a) Capacidade de penetrar na descontinuidade
- b) Capacidade de ser removido da superfície, mas não do defeito
- c) Capacidade de ser absorvido pelo revelador
- d) Capacidade de ser visualizado quando absorvido pelo revelador, mesmo em pequenas quantidades.

Algumas normas técnicas classificam os líquidos penetrantes quanto à visibilidade e tipo de remoção, conforme Quadro 1, abaixo:

TIPOS Quanto à visibilidade	MÉTODOS		
	Água	Pós-Emulsificável	Solvente
“TIPO I” (Fluorescente)	A	B (hidrofílico) D (ipofílico)	C
“TIPO II” (Luz normal)	A	-	C

Quadro 1 Tipos de líquidos penetrantes
Fonte: ASME Sec. V – SE-165, 2008

Os líquidos penetrantes devem se analisados quanto aos teores de contaminantes, tais como enxofre, flúor e cloro quando sua aplicação for efetuada em materiais inoxidáveis austeníticos, titânio e ligas a base de níquel. O procedimento e os limites aceitáveis para estas análises, devem ser de acordo com a norma aplicável de inspeção do material ensaiado.

2.3.1 Propriedades do revelador

Um revelador com boas características, deve:

- a) ter ação de absorver o penetrante da descontinuidade;
- b) servir com uma base por onde o penetrante se espalhe - granulação fina ;
- c) servir para cobrir a superfície evitando confusão com a imagem do defeito formando uma camada fina e uniforme;
- d) deve ser facilmente removível;
- e) não deve conter elementos prejudiciais ao operador e ao material que esteja sendo inspecionado.

Classifica-se os reveladores conforme segue:

- a) Pós secos

Foram os primeiros e continuam a ser usados com penetrantes fluorescentes. Os primeiros usados compunham-se de talco ou giz. Atualmente os melhores reveladores consistem de uma combinação cuidadosamente selecionada de pós.

Os pós devem ser leves e fofos. Devem aderir em superfícies metálicas numa camada fina, se bem que não devem aderir em excesso, já que seriam de difícil remoção. Por outro lado, não podem flutuar no ar, formando uma poeira. Os cuidados devem ser tomados para proteger o operador. A falta de confiabilidade deste tipo de revelador, torna o seu uso muito restrito.

b) Suspensão aquosa de pós

Geralmente usado em inspeção pelo método fluorescente. A suspensão aumenta a velocidade de aplicação quando pelo tamanho da peça pode-se mergulha-la na suspensão. Após aplicação a peça é seca em estufa, o que diminui o tempo de secagem. É um método que pode se aplicar quando usa-se inspeção automática. A suspensão deve conter agentes dispersantes, inibidores de corrosão, agentes que facilitam a remoção posterior.

c) Solução aquosa

A solução elimina os problemas que eventualmente possam existir com a suspensão (dispersão, etc).

Porém, materiais solúveis em água geralmente não são bons reveladores.

Deve ser adicionado à solução inibidor de corrosão e a concentração deve ser controlada, pois há evaporação.

Sua aplicação, deve ser feita através de pulverização.

d) Suspensão do pó revelador em solvente

É um método muito efetivo para se conseguir uma camada adequada (fina e uniforme) sobre a superfície.

Como os solventes volatilizam rapidamente, existe pouca possibilidade de escorrimento do revelador até em superfícies em posição vertical. Sua aplicação , deve ser feita através de pulverização.

Os solventes devem evaporar rapidamente e ajudar a retirar o penetrante das discontinuidades dando mais mobilidade a ele. Exemplos de solventes são: álcool, solventes clorados (não inflamáveis). O pó tem normalmente as mesmas características do método de pó seco.

Os reveladores devem ser analisados quanto aos teores de contaminantes, tais como enxofre, flúor e cloro, quando sua aplicação for efetuada

em materiais inoxidáveis austeníticos, titânio e ligas a base de níquel. O ensaio de líquido penetrante deve ser realizado de acordo com a norma aplicável, ver figura 9.

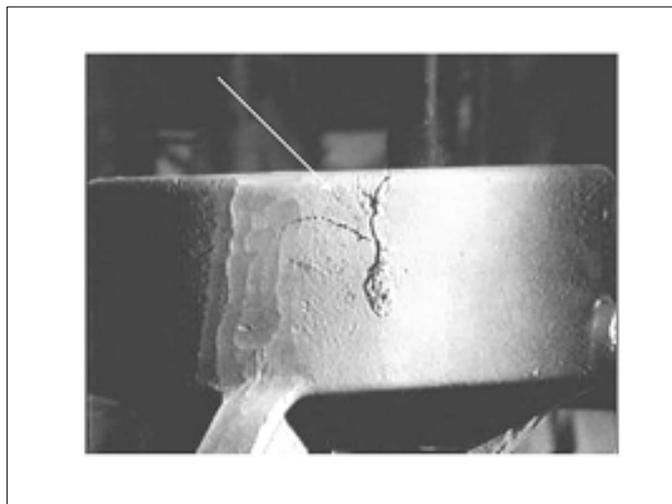


Figura 9 Resultado do ensaio por líquidos penetrantes de uma peça fundida.
Fonte: ANDREUCCI, 2003.

2.4 Riscos Toxicológicos Durante a Realização do Ensaio por Líquido Penetrante

Solventes e propelentes.

Estão bem documentadas na literatura científica as propriedades toxicológicas dos solventes/propelentes orgânicos industriais. Em geral, eles causam narcose devido ao fato do conteúdo gorduroso das células nervosas ser sensível aos solventes/propelentes quando estes circulam na corrente sanguínea (SAX, 2002). Além disso, alguns solventes/propelentes apresentam propriedades tóxicas que podem causar efeitos graves na saúde das pessoas. Se, por um lado, a recuperação de um estado de narcose é geralmente integral, a recuperação de uma manifestação tóxica pode não ser total e são conhecidos alguns efeitos irreversíveis à saúde devido à exposição continuada a solventes/propelentes industriais.

A forma de exposição mais comum é através da inalação. Os solventes/propelentes orgânicos que foram inspirados podem ser exalados junto com o ar expirado, excretados ou ainda atuar como fonte de energia dentro de certo limites. Alguns solventes/propelentes podem ser biotransformados no organismo em substâncias menos tóxicas. A conversão, em geral, se dá no fígado e os produtos de

conversão são excretados pelos rins. Isto explica porque os rins e fígado são os órgãos principalmente afetados devido à exposição crônica a determinados tipos de solventes orgânicos.

O contato direto com solventes/propelentes orgânicos tem ação local sobre a pele e deve ser evitado, pois pode causar dermatites. Alguns solventes/propelentes também podem ser absorvidos pela pele quando dispersos no ar, causando o mesmo tipo de problema.

A reação de um indivíduo em relação a um solvente/propelente é função da toxicidade específica e do tempo de duração da exposição.

HIDROCARBONETOS – Em geral os hidrocarbonetos têm efeito narcótico mas, não apresentam alta toxicidade quando comparados a outros solventes/propelentes orgânicos. Os limites de exposição ficam mais restritivos à medida que o número de carbonos na molécula aumenta.

ORGANOHALOGENADOS – Os organoclorados são os mais utilizados industrialmente, sendo alguns extremamente tóxicos. São poderosos narcóticos.

ALCOOIS – Em geral, seus vapores são moderadamente narcóticos.

Partículas sólidas

Os efeitos tóxicos das partículas no organismo estão relacionados principalmente a dois fatores: toxicidade específica da substância e granulometria.

Toxicidade específica da substância – Em dados fornecidos por alguns fornecedores, encontramos limites de exposição para um dos componentes da mistura em um dos reveladores de 5 mg/m³. Este valor seguramente é ultrapassado, quando o usuário trabalha durante sua jornada de trabalho realizando o ensaio por líquido penetrante em local pouco ventilado.

Granulometria – Segundo informações fornecidas por alguns dos fabricantes, podemos supor que ocorra inalação do material particulado presente nos reveladores durante a utilização do produto, pois a granulometria de alguns pós varia de 0,3 a 10 µ m de diâmetro. Está bem documentado que o homem só está capacitado a reter nas vias respiratórias superiores partículas com granulometria superior a 10 µm de diâmetro.

2.4.1 Riscos de incêndio e explosão

São bem conhecidas as propriedades inflamáveis dos hidrocarbonetos. Para que haja o risco de incêndio é necessário que haja uma proporção definida de oxigênio e combustível, que varia de acordo com a mistura.

3 METODOLOGIA

Este estudo foi feito no laboratório de qualificação de procedimentos de ensaio de líquido penetrante da PETROBRAS, em São José dos Campos, onde são manipulados produtos químicos. Foi estudado em separado a toxicologia dos solventes/propelentes e das partículas sólidas que provavelmente estão contidas nas formulações. Ressalta-se que os fabricantes normalmente se limitam a misturar as substâncias de modo a obter a formulação requerida uma vez que não produzem as matérias primas necessárias. Assim, dependem em grande parte das informações prestadas pelos fornecedores das matérias primas.

Para realizar o trabalho foram contactados diversos fabricantes para os quais, solicitamos que nos fossem informado as substâncias químicas presentes em 10 (dez) tipos de removedores, 6 (seis) tipos de líquidos penetrantes e 7 tipos de reveladores. Todos os produtos estudados foram recebidos em acondicionamento na embalagem aerosol e foram invasados com diversos tipos de propelentes a saber: hidrocarbonetos (butano, propano), clorofluorcarbono e dióxido de carbono (CO₂).

Após obter essas informações foram realizadas medições de concentração química de substâncias contidas nos produtos, para confrontar com as informações prestadas.

Para dar suporte ao trabalho foram utilizadas as seguintes normas:

- N-1596F – Ensaio Não-Destrutivo - Líquido Penetrante, Petróleo Brasileiro S/A, Rio de Janeiro, Abril de 2008.
- N-2370C – Líquido Penetrante – Especificação, Petróleo Brasileiro S/A, Rio de Janeiro, Janeiro de 2003.
- ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. Section V - Exame Não destrutivo, Liquid Penetrant Standards article 2, American Society of Mechanical Engineers, EUA, 2008.
- MIL - I - 25135E. Military Specification - Inspection Materials Penetrants, Military Standard, Washington, 1998.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Coleta de Informações dos Fabricantes

A seguir apresentamos os quadros correspondentes das informações coletadas conforme exposto no item 3. Por questões comerciais, os fabricantes foram identificados com a letra de A a D e os produtos com o numeral à frente do material penetrante.

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES
A	removedor (1)	compostos alifáticos
B	removedor (2)	Nafta
B	removedor (3)	Isoparafina
C	removedor (4)	Óleo mineral branco
D	removedor (5)	Naftênicos

Quadro 2 Removedor-propelente-hidrocarbonetos-butano/propano

Fonte: O Autor

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES
B	removedor (6)	Nafta
C	removedor (7)	Tricloroetano
C	removedor (8)	Percloroetileno

Quadro 3 Removedor-propelente - CF_2Cl_2

Fonte: O Autor

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES
A	removedor (9)	Tricloroetano
D	Removedor (10)	tricloroetano, methylal álcool isopropílico

Quadro 4 Removedor-propelente - CO_2

Fonte: O Autor

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES	OBSERVAÇÕES
A	penetrante (1)	Aromáticos	Segundo informações do fabricante o teor de aromáticos não ultrapassa 0,2% v/v
B	penetrante (2)	querosene butilglicol	
C	penetrante (3)	aromáticos	
D	penetrante (4)	alifáticos (CH)	Segundo informações do fabricante o teor de aromáticos não ultrapassa 0,2% v/v

Quadro 5 Penetrante-propelente – hidrocarbonetos – butano/propano

Fonte: O Autor

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES	OBSERVAÇÕES
A	penetrante (5)	Aromáticos	Segundo informações do fabricante o teor de aromáticos não ultrapassa 0,2% v/v
B	penetrante (6)	querosene butilglicol	

Quadro 6 Penetrante- propelente – clorofluorcarbono - CF₂Cl₂

Fonte: O Autor

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES	OBSERVAÇÕES
A	Revelador (1)	álcool isopropílico	
B	Revelador (2)	álcool isopropílico acetona, álcool etílico	
C	Revelador (3)	álcool isopropílico álcool etílico	Granulometria na faixa de 0,3 a 0,5 micra.
D	Revelador (4)	Álcool isopropílico álcool etílico (Ca, Mg, Al, Si)	Granulometria na faixa de 350 mesh (40 micra)

Quadro 7 Revelador -propelente – hidrocarbonetos – butano/propano

Fonte: O Autor

FABRICANTE	PRODUTO	SUBSTÂNCIAS PRESENTES
A	revelador (4)	tricloroetano ou cloreto de metileno
B	revelador (5)	álcool isopropílico acetona, álcool etílico
B	revelador (6)	percloroetileno, cloreto de metileno
C	revelador (7)	álcool isopropílico álcool etílico

Quadro 8 Revelador - propelente – clorofluorcarbono – CF₂Cl₂

Fonte: O Autor

4.2 Verificação da Existência de Substâncias Através de Medição dos Materiais Penetrantes Coletados

Após a coleta de dados e dos materiais penetrantes conforme os Quadros de 1 a 8, foi elaborado um procedimento para efetuar a medição da concentração das substâncias contidas nos materiais, com o objetivo de que as medições fossem efetuadas de forma a ter um parâmetro sistematizado.

4.2.1 Procedimento medição

4.2.1.1 Objetivo

Realizar uma medição instantânea semi-quantitativa da concentração de alguns agentes ambientais durante o ensaio de líquido penetrante.

4.2.1.2 Condições de medição

- a) Foram simuladas as condições normais de trabalho do técnico.
- b) Cada agente foi medido considerando que os outros componentes dos produtos não são interferentes na medição.
- c) Para evitar resultados cumulativos, ao fim de cada ensaio de Líquido Penetrante foi esperado a concentração dos agentes voltar a um valor “background”.

- d) Foram realizados dois ensaios de líquido penetrante, o primeiro com um conjunto de produtos com propelente hidrocarbonetos e, o segundo, com Clorofluorcarbono como propelente.
- e) As medições foram do tipo instantâneas, o mais próximo possível à zona respiratória do trabalhador.

4.2.1.3 Equipamento

O equipamento utilizado foi um analisador de gases – espectrofotômetro modelo MIRAN 1B2, fabricado pela FOXBORO.

4.2.1.4 Resultados da medição

Foi solicitado ao técnico que realizasse um ensaio de líquido penetrante para qualificação de procedimentos. O equipamento de medição foi calibrado para os agentes e medidos as concentrações de pico. Os resultados estão apresentados nas Tabelas a seguir.

Tabela 3 Resultados das medições

PRODUTO	SUBSTÂNCIA	CONC. (ppm)	EXPLOSIVIDADE (%)
Thinner	Tolueno	77	4
Penetrante (HC)	Butano	16	4 – 6
Penetrante (HC)	Propano	7	4 – 6
Revelador (HC)	Butano	494	4 – 6
Revelador (CH)	Propano	326	4 – 6
Penetrante (CFC)	Diclorodifluormetano	33	0
Revelador (CFC)	Diclorodifluormetano	91	6
Revelador (CFC)	Dicloroetano	113	6

Fonte: O Autor

Tabela 4 Comparativo de medições

PRODUTO	SUBSTÂNCIA	LIMITE DE ESPOSIÇÃO TWA- STEL ACG (ppm)	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA (NR-15)	VALOR MEDIDO
Removedor	Tolueno	50*	77	77
Penetrante	Butano	800	470	16
Revelador	Butano	800	470	494
Penetrante	Propano	Asfixiante simples	asfixiante simples	7
Revelador	Propano	Asfixiante simples	asfixiante simples	326
Penetrante	Diclorodifluormetano	1000	780	33
Revelador	Diclorodifluormetano	1000	780	91
Revelador	Dicloroetano	100	156	113
Revelador	Álcool isopropílico	400 – 500	156*	-
Revelador	Acetona	750 – 1000	780	-
Removedor	Tricloroetano	350 – 450	275	-
Removedor	Methylal	1000		-
Revelador	Álcool etílico	1000	780	-
Removedor	Tetracloroetileno**	25 – 100	78*	-
Revelador	Diclorometano***	50	156	-

Fonte : O Autor

* absorção pela pele

** causa câncer em animais

*** suspeito de causar câncer no homem

As análises aqui apresentadas são originadas a partir de três fontes:- dados dos fornecedores, conforme Quadros 2, 3, 4, 5, 6, 7, dados de literatura e resultados de medições semi-quantitativas tabela 3, realizadas no laboratório da Petrobrás, no Setor de Qualificação e certificação de pessoal e de Procedimentos.

Outro dado interessante é que realizamos o ensaio por líquido penetrante em bancada, trabalhando portanto com quantidades de produtos muito menores do que as manuseadas no campo. Este fato nos leva a crer que as concentrações das substâncias no ar devam ser mais elevadas em trabalhos de campo em locais menos ventilados.

Como podemos observar nos Quadros 2 e 3, as substâncias informadas como presentes nos removedores tais como nafta, isoparafina e óleo mineral são frações pesadas de petróleo. Como o removedor deve ser volátil e não possuir frações pesadas é provável que a informação esteja incorreta, pois produtos testados anteriormente para estes fabricantes não apresentavam esta característica.

Com relação às informações prestadas nos Quadros 5 e 6, nada se pôde concluir pois as mesmas foram incompletas ao não caracterizar qual aromático foi utilizado.

A parte sólida dos reveladores, conforme Quadro 4, apresenta granulometria de partículas inaláveis e, segundo informações dos próprios fornecedores, alguns dos componentes apresentam limites e, segundo informações dos próprios fornecedores, alguns dos componentes apresentam limites de exposição muito baixos ($5\text{mg}/\text{m}^3$), valores seguramente ultrapassados durante a realização dos ensaios por líquido penetrante. Foi confirmado por medição que o valor de granulometria fornecido pelo fabricante "C" estava correto e o do fabricante "D" incorreto, o que confirma a necessidade de efetuar medições visando comprovar as informações recebidas.

Em função dos dados obtidos ver Quadro 8, verificamos que são empregados produtos suspeitos de carcinogênese humana (cloreto de metileno).

Segundo dados de medição ver Tabela 3, mesmo o ensaio por líquido penetrante realizado com clorofluorcarbono como propelente apresentou explosividade diferente de zero, o que indica a presença de substância inflamável na mistura.

A análise das medições apresentadas na Tabela 4, indica que algumas substâncias estão próximas ou ultrapassam o limite de exposição permitido. Deve servir como orientação aos fabricantes no tocante a darem preferência à utilização de substâncias que apresentem alto limite de exposição, quando da formulação de seus produtos.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se desta forma que é necessário a utilização dos equipamentos de proteção individual, (EPI), mencionados abaixo, para dar maior segurança e proteção aos trabalhadores que manuseiam esses produtos.

- . Protetor auricular, Luvas de vaqueta e óculos de proteção durante a utilização de lixadeiras para a preparação e limpeza das peças para o ensaio;

- . Luvas de borracha ou látex e máscaras durante o manuseio e do ensaio de líquido penetrante;

- . Máscara contra pó durante a preparação e limpeza das peças e quando do uso do revelador não aquoso aplicado por pulverização;

- . Máscara com filtro químico, quando da realização do ensaio de líquido penetrante em locais confinados e ainda deve-se prover de ventilação forçada para dispersar os gases dos propelentes tais como o butano e propano por serem gases asfixiantes.

BIBLIOGRAFIA

ANDREUCCI, Ricardo. **Ensaio por Líquido Penetrantes**. São Paulo: ABENDE: 2003.

ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE. **Exame Não_destrutivo, Liquid Penetrant**. Section V. Standards article 2. EUA: American Society of Mechanical Engineers, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS, ABENDE. In: **Congresso Nacional de Ensaio Não Destrutivos**, São Paulo: ABENDE, 18 a 21 de setembro de 1994.

ATLAS. **Segurança e Medicina do Trabalho, Manuais de Legislação**. 64. ed. São Paulo: ATLAS, 2009.

CRONER PUBLICATIONS LTD. **Substances Hazardous to Health**. EUA,1994.

IRVING, Sax N. **Dangerous Properties of Industrial Materials**. EUA, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, IBP. In: **3º Seminário Latino-Americano de Inspeção de Equipamentos e 21º Seminário Brasileiro de Inspeção de Equipamentos**, Foz do Iguaçu: IBP, 20 a 22 de setembro de 1995.

MIL- I – 25135E. MILITARY SPECIFICATION. **Inspection Materials Penetrants**. Washington: MIL,1998.

PETRÓLEO BRASILEIRO S/A. **N-1596F, Ensaio Não-Destrutivo Líquido Penetrante**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.

PETRÓLEO BRASILEIRO S/A. **N-2370C Líquido Penetrante – Especificação**. Rio de Janeiro: Petrobras 2003.

SILVA, Luiz Eduardo da. **Líquido Penetrante**. 2. ed. São Paulo: ABENDE,2008.