

ENSAIO NÃO DESTRUTIVO UTILIZANDO LÍQUIDO PENETRANTE EM MATERIAIS NÃO FERROSOS

NON-DESTRUCTIVE TESTING USING PENETRANT LIQUID IN NON-FERROUS MATERIALS

Rodrigo Alvarez Bonilha¹

Roger Oliva Felix²

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo sobre o processo de ensaio não destrutivo por líquido penetrante em materiais ferrosos e não ferrosos, dessa forma, enaltecendo a praticidade, simplicidade e eficácia para inspeção de superfícies em indústrias como aeroespacial, automotiva, metalúrgica e de fabricação geral. O líquido penetrante é um fluido viscoso que se infiltra em pequenas fissuras e descontinuidades na superfície do material. Esse líquido é amplamente utilizado na indústria para detectar defeitos superficiais nos materiais, como trincas, porosidades e inclusões. A metodologia utilizada neste trabalho envolve um processo de ensaio que se refere à aplicação do líquido penetrante na superfície do material, seguido por um tempo de penetração e remoção do excesso. Em seguida, aplicação de um revelador que absorve o líquido penetrante das descontinuidades, assim tornando-as visíveis. Esse ensaio é rápido, de baixo custo e pode ser aplicado em uma ampla variedade de materiais. Por meio dos resultados, foi possível verificar as descontinuidades de cada corpo de prova, de forma simples e prática. Portanto, o ensaio não destrutivo utilizando líquido penetrante oferece uma abordagem de baixo custo, rápida e eficaz para garantir a qualidade e a integridade dos materiais utilizados na indústria.

Palavras-chave: Capilaridade. Ensaios de materiais. Tratamento de superfícies.

ABSTRACT

This paper aims to present a study on the process of non-destructive testing by liquid penetrant in ferrous and non-ferrous materials, thus highlighting the practicality, simplicity and effectiveness for surface inspection in industries such as aerospace, automotive, metallurgy and general manufacturing. Penetrant liquid is a viscous fluid that seeps into small cracks and discontinuities on the surface of the material. It is widely used in industry to detect defects in materials, such as cracks, porosity and inclusions. Used methodology involves a testing process, which refers to applying the penetrating liquid on the surface of the material, followed by a penetration time and removal of excess. Next, it is applied a developer that absorbs the penetrating liquid from discontinuities, thus making them visible. This test is quick, inexpensive and can be applied to a wide variety of materials. Results show discontinuities of each specimen in a simple and practical way. Therefore, non-destructive testing using liquid penetrant offers a low-cost, fast and effective approach to ensuring the quality and integrity of materials used in industry.

Key words: Capillarity. Material tests. Surface treatment.

¹ Graduando em Tecnologia em Produção Industrial pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu.

² Professor Doutor de Ensino Superior pela Faculdade de Tecnologia de Botucatu. Avenida José Ítalo Bacchi s/n – jardim Aeroporto – Botucatu – SP CEP: 18606-855. e-mail: roger.felix@fatec.sp.gov.br.

1 INTRODUÇÃO

O ensaio não destrutivo (END) consiste na aplicação de metodologias e técnicas de ensaio que visam analisar a sanidade de vários tipos de materiais, peças ou mesmo equipamentos soldados, fundidos, forjados, laminados, entre outros (Soares *et al.*, 2021).

Os END aplicados com o uso de líquido penetrante (LP) são sem dúvida um dos tipos mais comuns e utilizados na indústria em geral, sendo claro que são testes que não alteram permanentemente as propriedades físicas, químicas, mecânicas e dimensionais das peças inspecionadas, o dano a elas é imperceptível ou simplesmente não há nenhum dano (Osma, 2021) (Carvalho *et al.*, 2015). Esse ensaio é fundamentado pelo fenômeno da capilaridade, que permite notabilizar de forma rápida e confiável, irregularidades abertas na superfície (fissuras, porosidades, dobras, entre outros) sobre qualquer tipo de material (ferrosos e não ferrosos) independente da geometria e do material do componente em questão (Salamão *et al.*, 2020) (Ferreira, 2022) (Da Silva *et al.*, 2019).

O ensaio por LP é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais (Andreucci, 2019). Esse método se iniciou antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso em 1942, nos EUA, com o desenvolvimento do método de penetrantes fluorescentes (Saraiva, 2015).

O END de materiais realizado por meio da técnica de LP, ainda que seja uma opção de baixo custo e elevada praticidade, não apresenta sofisticções na maneira de se executar desde sua atuação inicial, na década de 1940 (Da Silva *et al.*, 2019).

O END com LP consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, o líquido retido dentro da descontinuidade é absorvido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície (Andreucci, 2019).

Tendo em vista que a eficácia de qualquer aplicação de END depende da capacitação das pessoas que realizam ou que são responsáveis pelo ensaio, um procedimento foi desenvolvido para assegurar um meio de avaliação e documentação da competência dessas pessoas, cujas atribuições exigem conhecimento teórico e prático apropriado sobre os ensaios não destrutivos que realizam, especificam, supervisionam, monitoram ou avaliam (NBR ISO 9712).

O uso de END com LP oferece várias vantagens, incluindo alta sensibilidade, versatilidade, rapidez, baixo custo, segurança e conformidade com normas e regulamentos.

Essas vantagens tornam essa técnica uma opção valiosa para a detecção de defeitos superficiais em materiais (Ferreira *et al.*, 2020) (Faria *et al.*, 2019).

O trabalho tem como objetivo identificar e avaliar possíveis descontinuidades superficiais em materiais sem causar danos à sua integridade, por meio de ensaio não destrutivo. A justificativa para esse tipo de ensaio em materiais não ferrosos reside na necessidade de garantir a qualidade e a segurança desses materiais, uma vez que falhas ou descontinuidades superficiais podem comprometer sua funcionalidade e durabilidade. Sendo assim, a técnica do líquido penetrante é eficaz para detectar trincas, porosidades, inclusões e outras imperfeições que podem comprometer a integridade estrutural desses materiais.

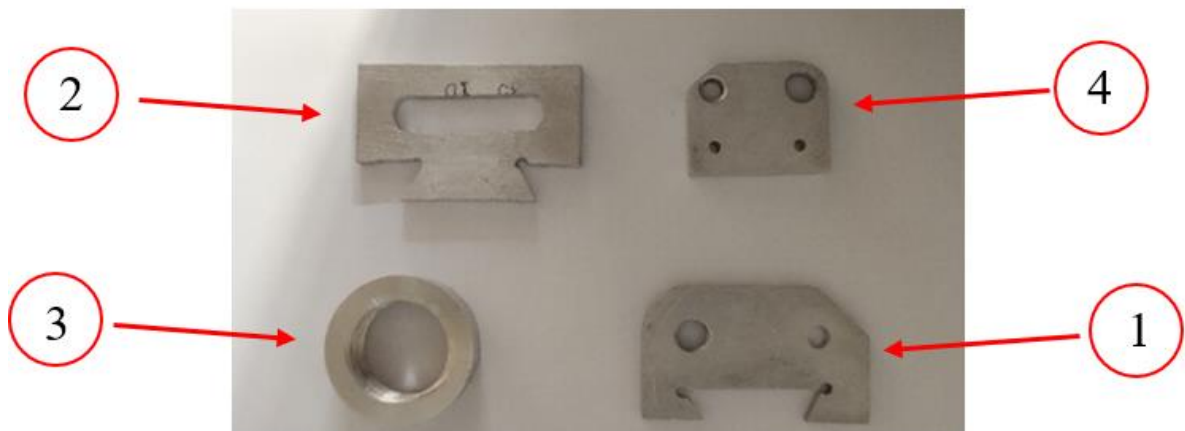
2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios não destrutivos foram realizados em quatro corpos de prova (alumínio – material não ferroso), conforme mostra a Figura 1. Esses ensaios foram conduzidos com o objetivo de avaliar a integridade e detectar possíveis defeitos superficiais nos materiais em questão. Para isso, utilizou-se a técnica do LP, que é amplamente reconhecida por sua eficácia na detecção de fissuras, trincas e porosidades.

Os materiais utilizados são:

- Removedor, da marca metal-chek e59;
- Penetrante Visível, da marca metal-chek vp30;
- Revelador não aquoso, da marca metal-chek d70.

Figura 1. Corpos de Prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

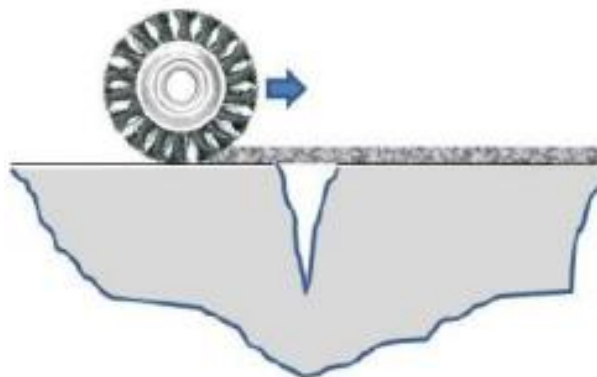
O método END consiste em introduzir nas discontinuidades uma solução química à base de óleo com um corante, seja ele visível ou fluorescente, que possui a capacidade de adentrar-se nas irregularidades abertas pela ação de um fenômeno denominado capilaridade.

Sendo assim, para obter o melhor resultado possível foi necessário seguir rigorosamente as cinco etapas a seguir:

2.1 Preparação da superfície

Para dar início ao ensaio é fundamental que seja realizado a limpeza inicial, conforme mostra a Figura 2, onde é feita a eliminação de todos os contaminantes que possam prejudicar a aplicação da solução, ou seja, deve-se extinguir todo e qualquer tipo de substância ou característica que atrapalhe o andamento do ensaio, a exemplo de: água, óleo, excesso de rugosidade, ferrugem, entre outros.

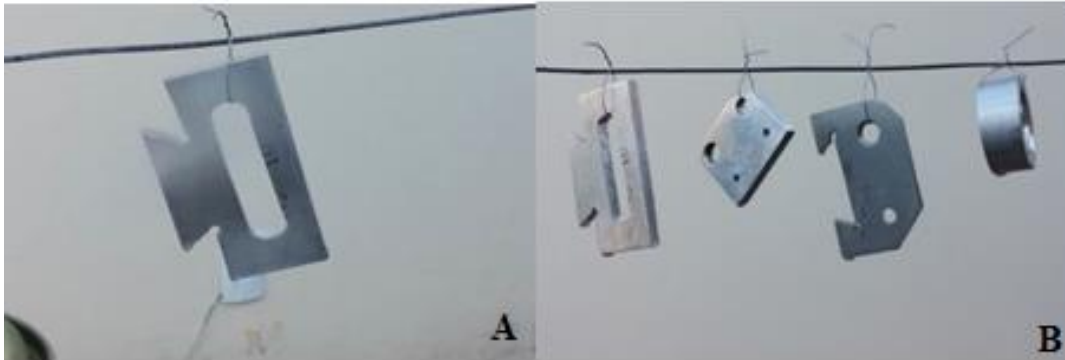
Figura 2. Limpeza inicial da superfície



Fonte: Andreucci, 2019.

Com a execução dessa etapa, não se vê necessário o lixamento dos corpos de prova pois eles já se encontravam lixados e polidos, sendo assim, foi aplicado o removedor metal-chek e-59 através do próprio aplicador aerossol do produto, em uma temperatura de 24°C, conforme aponta o fabricante, onde ele indica a aplicação em uma temperatura de 10°C a 52°C. Assim, livrando os corpos de prova de contaminantes que podem colocar o resultado do ensaio em risco. A Figura 3 mostra a aplicação do removedor e a secagem do removedor.

Figura 3. A. aplicação do removedor metalchek e59. B. Corpos de prova esperando a secagem do removedor

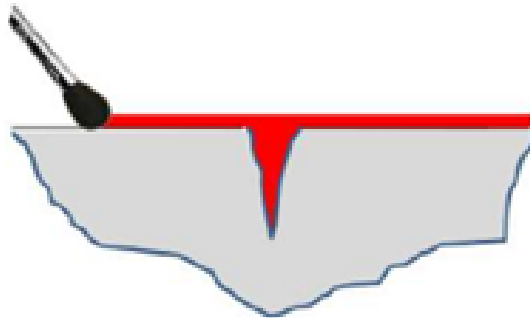


Fonte: Próprio Autor, 2023.

2.2. Aplicação da solução

Nessa etapa foi realizada a aplicação de uma solução, conforme mostra a Figura 4, que na linguagem coloquial é denominado de líquido penetrante (LP), e pela capilaridade adentra-se nas descontinuidades do material. Normalmente, deve-se esperar um tempo especificado pelo fabricante¹ para que a penetração se complete.

Figura 4. Aplicação do LP

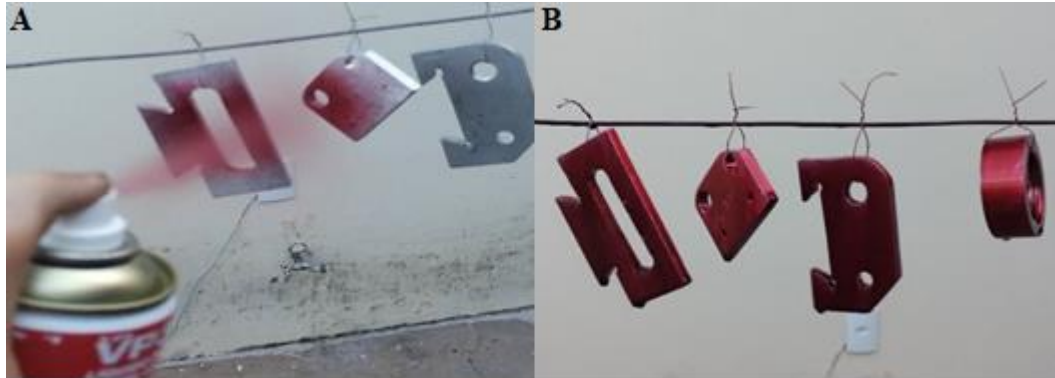


Fonte: Próprio Autor, 2023.

Dito isso, foi realizado a aplicação do Líquido Penetrante vp-30, conforme mostra a Figura 5, seguindo rigorosamente as instruções do fabricante, sendo que, a substância LP foi aplicada em modo aerossol, esperando o tempo de penetração de 60 (sessenta) minutos a uma temperatura de 24°C.

¹ Cada fabricante especifica um tempo para o processo completo de penetração

Figura 5. Aplicação do LP. A. Nos corpos de prova. B. Corpos de provas esperando secagem

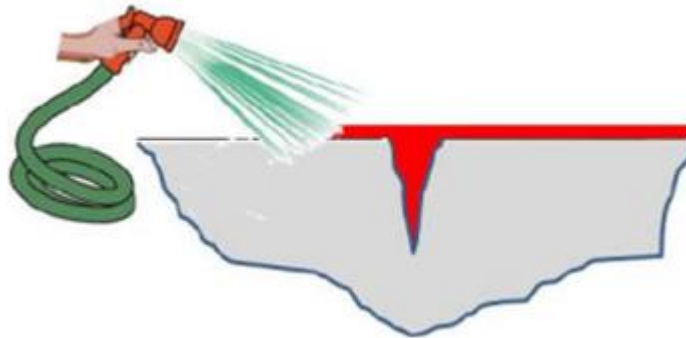


Fonte: Próprio Autor, 2023.

2.3 Extração do excedente de líquido:

Refere-se na retirada do excesso da substância penetrante da superfície, mediante produtos apropriados, concordantes com o tipo de substância aplicada, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo. A Figura 6 mostra a remoção do excesso do LP na superfície.

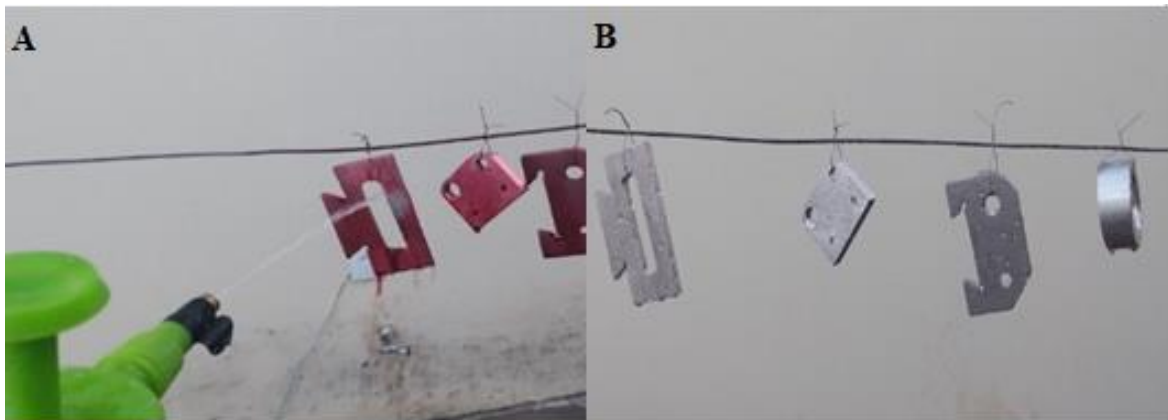
Figura 6. Remoção do excesso do LP na superfície



Fonte: Andreucci 2019

Nessa etapa, na mesma temperatura de aplicação (24°C) foi realizada a pulverização de água para a remoção do excesso do LP, a seguir sendo realizada a secagem de modo natural do corpo de prova, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7. A. Pulverização da água nos corpos de prova. B. Corpos de provas esperando secagem da água

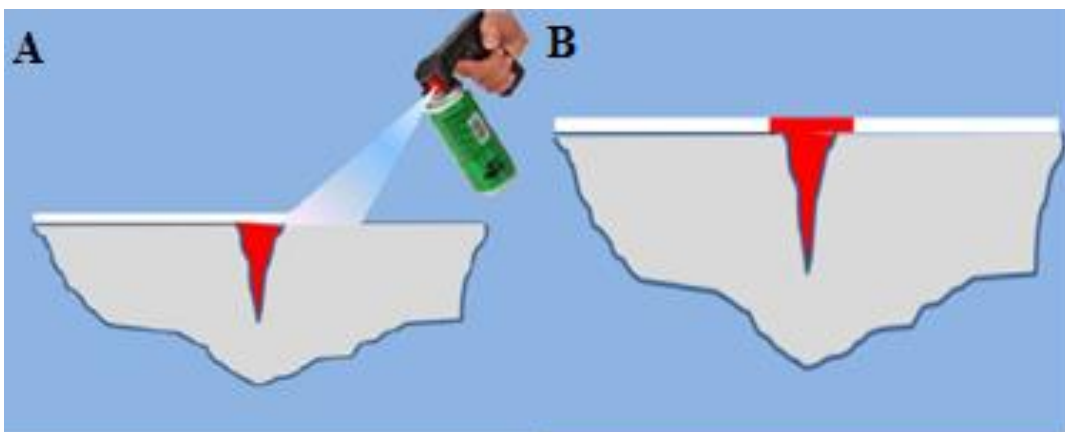


Fonte: Próprio Autor, 2023.

2.4 Revelação

Consiste na aplicação da substância reveladora usualmente vista em um pó fino de coloração branca. Pode ser aplicado seco ou combinado com algum tipo de líquido. O revelador age absorvendo o penetrante das discontinuidades e manifestando-as. Deve ser previsto um determinado tempo de revelação para sucesso do ensaio. A Figura 8 mostra a aplicação do revelador e a absorção do líquido de dentro da cavidade.

Figura 8. A. Aplicação do revelador; B. Absorção do líquido de dentro da cavidade

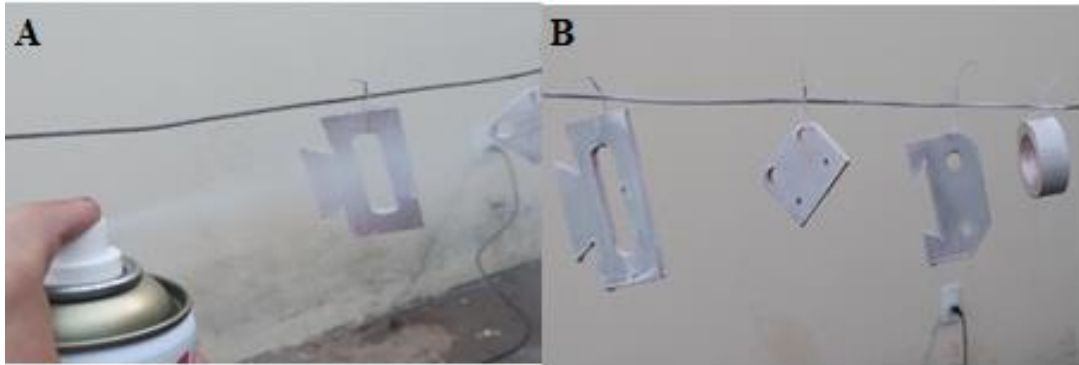


Fonte: Andreucci 2019

O óleo revelador d-70 foi aplicado através do aerossol, gerando uma camada fina, uniforme e mais absorvente do produto, garantindo uma melhor aplicabilidade e visualização

das descontinuidades, assim, esperando um tempo de 60 (sessenta) minutos para ser feita a inspeção. A Figura 9 mostra a pulverização do revelador e a secagem do revelador.

Figura 9. A. Pulverização do revelador nos corpos de prova; B. Corpos de provas esperando secagem do revelador



Fonte: Próprio Autor, 2023.

2.5 Avaliação e inspeção

Com a aplicação do revelador surge manchas que serão objetos de avaliação para a identificação de descontinuidades na peça. A inspeção deve ser feita sob boas condições de luminosidade, se o penetrante é do tipo visível ou se utilizando de uma luz negra em caso de substâncias fluorescentes. Nessa etapa, deve ser preparado um relatório indicando as condições do ensaio, tipo e identificação da peça ensaiada, resultado da inspeção e condição de aprovação ou rejeição da peça.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a finalização do END por LP, inicia-se a inspeção dos resultados de cada corpo de prova. Na inspeção do primeiro corpo de prova, conforme mostra a Figura 10, foi identificada uma trinca e uma descontinuidade de acabamento, que podem ser visualizadas, respectivamente, nas Figuras 11 e 12. Essas descontinuidades são identificadas visualmente por meio das manchas “rosas” que surgem após a aplicação do revelador.

Figura 10. Primeiro corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 11. Trinca no rasgo da peça



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 12. Descontinuidade de acabamento do primeiro corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

No segundo corpo de prova, conforme mostra a figura 13, foram descobertas duas descontinuidades críticas, uma trinca na parte inferior da peça e uma trinca no rasgo, que podem ser visualizadas, respectivamente, nas Figuras 14 e 15. Essa trinca é semelhante à trinca encontrada no primeiro corpo de prova.

Figura 13. Segundo corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 14. Primeira trinca do segundo corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 15. Trinca no rasgo do segundo corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

No terceiro corpo de prova, conforme mostra a Figura 16, foi identificado descontinuidades referentes ao acabamento externo da peça e algumas trincas dentro da rosca da peça, que podem ser visualizadas, respectivamente, nas Figuras 17 e 18.

Figura 16. Terceiro corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 17. Acabamento defeituoso no terceiro corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 18. Trincas na rosca do terceiro corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

No quarto corpo de prova, conforme mostra a Figura 19, foram identificadas duas descontinuidades referentes ao acabamento da peça, que são mostradas nas Figuras 20 e 21.

Figura 19. Quarto corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 20. Primeira descontinuidade de acabamento no quarto corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Figura 21. Segunda descontinuidade de acabamento no quarto corpo de prova



Fonte: Próprio Autor, 2023.

Os resultados desses END foram essenciais para avaliar a qualidade dos materiais testados. A detecção de eventuais defeitos superficiais permite tomar medidas corretivas

adequadas e garantir a integridade estrutural dos corpos de prova. A técnica do LP demonstrou sua eficácia como uma ferramenta confiável para a inspeção de materiais e assegurar a qualidade em diversas aplicações industriais.

As indicações dadas pela cor “rosa” podem variar em tamanho, forma e intensidade, dependendo da natureza e do tamanho das descontinuidades presentes. Essas indicações são então avaliadas por um inspetor qualificado, que pode determinar a natureza e a extensão do defeito com base em sua experiência e nas normas aplicáveis. O inspetor pode classificar as indicações de acordo com sua importância e tomar decisões sobre a aceitabilidade da peça.

É importante ressaltar que a interpretação dos resultados dos ensaios de líquido penetrante requer conhecimento técnico e experiência por parte do inspetor. Além disso, a sensibilidade do ensaio pode variar dependendo dos parâmetros utilizados durante o ensaio, como tempo de penetração, revelador utilizado e condições de iluminação.

4 CONCLUSÕES

O líquido penetrante é amplamente utilizado em uma variedade de setores industriais, como aviação, automotivo, petroquímico e muitos outros. É um método eficaz para inspecionar peças e componentes de diferentes materiais, incluindo metais, cerâmicas, plásticos e compósitos.

Apesar de suas vantagens, o líquido penetrante também possui algumas limitações. Ele só é capaz de detectar descontinuidades superficiais e não é adequado para detectar falhas internas. Além disso, é um método sensível à limpeza da superfície, pois qualquer contaminante pode interferir nos resultados. Também é importante ressaltar que o líquido penetrante é um ensaio qualitativo, fornecendo informações sobre a presença ou ausência de descontinuidades, mas não sobre sua extensão ou critérios de aceitação.

Portanto, o líquido penetrante pode ser considerado um método valioso para a detecção de descontinuidades superficiais em materiais. Sua simplicidade de uso, ampla aplicabilidade e resultados visuais tornam-no uma opção popular na indústria. No entanto, é importante considerar suas limitações e complementá-lo com outros métodos de ensaio para obter uma avaliação completa da integridade dos materiais.

REFERÊNCIAS

ANDREUCCI, R. Líquidos Penetrantes. **Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção - ABENDI**, São Paulo, 2019. Disponível em:

https://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/apostila_lp_2019.pdf. Acesso em: 27 mar. 2023.

CARVALHO, N. F.; SANTOS, A. R.; DE MORAES JR, D. Planning of inspection equipment using the technique of non-destructive testing. **Unisanta Science and Technology**, v. 4, n. 1, p. 34-38, 2015.

DA SILVA, A. S. C.; SILVEIRA, V. A. L.; DE SOUZA, H. C. Non-destructive tests in the manufacture and recovery of shell and tube heat exchangers. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 8767-8786, 2019.

FARIA, B. C.; DE OLIVEIRA, B. F.; DA SILVA, S. E. T. P. Análise de Falha e do Projeto Construtivo de um Vaso de Pressão. **Exatas & Engenharias**, v. 9, n. 24, 2019.

FERREIRA, J. A. Lantanogliceróis: síntese e aplicação alternativa em inspeções por líquidos penetrantes em estruturas metálicas: synthesis and alternative application in penetrating liquid inspections in metallic structure. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 14, n. 2, 2022.

FERREIRA, J. L. C.; PEREIRA, J. C.; ESPERANÇA, F. Análise dos riscos no processo de inspeção de ensaio não destrutivo com líquido penetrante. **ForScience**, v. 8, n. 2, p. 724-724, 2020.

NBR ISO 9712. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 9712: Ensaio não destrutivos – Qualificação e certificação de pessoal em END (ISO 9712:2012, IDT)**. Disponível em: <https://dokumen.tips/documents/nm-iso-97122014-vc2014.html?page=1>. Acesso: 03 abr. 2023.

OSMA, J. L. R. **Equipo para inspección de partes mediante líquidos penetrantes tipo II método A lavable con agua**. 2021. Tese de Doutorado. Corporación Universitaria Minuto de Dios

SALAMÃO, R. O. V.; GONÇALVES, E. P. Estudo da influência nas propriedades mecânicas entre chapas dissimilares soldadas com gap no processo mig/mag aplicada em carrocerias na indústria automotiva. **Revista Univap**, v. 26, n. 51, p. 171-180, 2020.

SARAIVA, C. D. G. **Segurança ocupacional para os trabalhadores: estudo de caso em laboratório de ensaios não destrutivos por líquido penetrante**. 2015. 137f. Dissertação (Mestrado em Trabalho, Saúde e Ambiente) - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - Fundacentro, São Paulo, 2015. 138p. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3147204. Acesso em: 13 abr. 2023.

SOARES, A. R.; DE QUEIRÓZ LAMAS, W.; CAMARGO, J. R. Ensaio e avaliação por líquidos penetrantes em placas de bocais de elementos combustíveis na área nuclear. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 3101-3112, 2021.