

ANÁLISE DOS RISCOS NO PROCESSO DE INSPEÇÃO DE ENSAIO NÃO DESTRUTIVO COM LÍQUIDO PENETRANTE¹

João Luiz Cesarino Ferreira²
José Cristiano Pereira
Fábio Esperança

RESUMO

Este estudo de caso analisa os potenciais riscos a que todo trabalhador está exposto com o uso do líquido penetrante. O objetivo é descrever os riscos à segurança do trabalho neste processo de inspeção, o que trará contribuições para a comunidade acadêmica e para os trabalhadores da área. A metodologia aplicada foi a pesquisa descritiva para justificar os limites e contribuições da própria pesquisa sobre os riscos de segurança do trabalho e no meio ambiente dos ensaios não destrutivos por líquido penetrante. Neste estudo foi utilizada para análise a tabela FISPQ e realizadas as comparações entre as normas americanas de higiene ocupacional da ACGIH e as normas regulamentadoras da ENIT. Como todas as etapas dos exames dependem da avaliação visual do operador, o grau de iluminação utilizado é extremamente importante, assim como o sistema de ventilação adequado, a verificação de radiação no local da luz negra utilizada e os equipamentos de proteção adequados são necessários para a proteção dos trabalhadores. No reconhecimento dos riscos, foram identificadas as etapas de limpeza e de revelação por ventilação das peças como aquelas em que os riscos químicos estavam em maior evidência. Este estudo mostrou-se importante por ter sido realizado com foco em laboratórios. Foram feitas propostas de melhorias no processo do ensaio que, se adotadas, poderão contribuir para as indústrias que utilizam o processo no que tange à proteção dos trabalhadores expostos.

Palavras-chave: Líquido penetrante. Ensaio não destrutivo. Análise de riscos.

RISK ANALYSIS IN NON-DESTRUCTIVE TESTING INSPECTION PROCEDURE WITH PENETRATING LIQUID

ABSTRACT

This study analyzes the potential risks to which every worker is exposed when using penetrating liquid. The objective is to describe the risks to occupational safety in inspection processes, which shall bring contributions to the academic community and workers in the area. The applied methodology was the descriptive research through which we tried to justify the limits and

¹ FERREIRA, J. L. C.; PEREIRA, J. C.; ESPERANÇA, F. Análise dos riscos no processo de inspeção de ensaio não destrutivo com líquido penetrante. **ForScience**, Formiga, v. 8, n. 2, e00724, jul./dez. 2020. DOI: 10.29069/forscience.2020v8n2.e724.

² Autor para correspondência: João Luiz Cesarino. E-mail: joao.ferreira@colegiopioxii.com.br.

contributions of the research itself about the risks to work safety and to the environment in non-destructive penetrating liquid tests. In this study, the FISPQ table was used for analysis and we performed comparisons between the ACGIH American occupational hygiene standards and ENIT regulatory standards. It was verified that, as all examination steps depends on the visual assessment of the operator, it is very important to consider the following aspects: the degree of lighting used; the proper ventilation system; the radiation inspection at the location of the black light used; and proper protective equipment required for workers protection. In recognizing the risks, the cleaning and venting stages of the parts were identified as those with the highest chemical risks. This study proved to be important because it was conducted with a focus on laboratories. Proposals for improvements in testing procedures were made, which, if adopted, could contribute to protect exposed workers in industries that use the process.

Keywords: Penetrating liquid. Non-destructive tests. Risk analysis.

1 INTRODUÇÃO

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, ainda que estejam abertas na superfície do material. Este método, iniciou-se 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 (SARAIVA, 2015).

Nessa época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas que, trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam de 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 houve o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual.

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. Baseado no fenômeno da capilaridade, esse líquido é muito utilizado em materiais não magnéticos como alumínio, magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio e zircônio, além dos materiais magnéticos. O mesmo é também aplicado em cerâmica vitrificada, vidro e plásticos. O ensaio por líquido penetrante possui algumas vantagens, como por exemplo: custo relativamente baixo, método simples, aplicabilidade em uma enorme variedade de materiais e a garantia de que todas as descontinuidades de superfície são detectadas em uma única operação (IAEA, 2000).

Neste estudo são apresentadas as etapas principais do método de ensaio não destrutivo por líquido penetrante, quais sejam estas: preparação da superfície (limpeza inicial); aplicação

do penetrante; remoção do excesso de penetrante; revelação; avaliação e inspeção; limpeza pós ensaio e uma análise de cada etapa dos riscos ocupacionais à saúde de um profissional que trabalha com inspeção com líquido penetrante. Para aplicações em campo, algumas informações apresentadas neste artigo não se aplicam, tais como a incidência de UV da lâmpada de luz negra.

Os questionamentos para a fundamentação dessa pesquisa são: “O ensaio por líquido penetrante é prejudicial à saúde dos trabalhadores?” e “Os equipamentos de proteção coletivas e individuais são eficazes?”.

A hipótese levantada foi de que o ensaio não destrutivo por líquido penetrante, especificamente os ensaios realizados em laboratórios, não são seguros em nível de saúde ocupacional para os trabalhadores do segmento, devido a produtos químicos e os processos realizados no ensaio.

O objetivo deste artigo é de contribuir com o conhecimento sobre os fatores ocupacionais e riscos no que tange aos requisitos de segurança do trabalho, tendo em vista a comunidade acadêmica, os profissionais da área e os trabalhadores que buscam uma nova oportunidade de trabalho.

2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi a pesquisa descritiva. No desenvolvimento deste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica, a fim de se obter o levantamento do estado da arte do tema. Os dados coletados, assim como a fundamentação teórica, partiram de artigos científicos, dissertações, além de documentos e textos em meio virtual de domínio público. As mesmas fontes subsidiaram as justificativas para os limites e contribuições da própria pesquisa sobre os riscos de segurança no trabalho e ao meio ambiente nos ensaios não destrutivos com o líquido penetrante.

O método utilizado para os ensaios realizados neste estudo foi o ensaio não destrutivo por líquido penetrante do tipo I – fluorescente – com método de remoção A – removível com água – e revelador seco. Suas etapas se resumem em: limpeza da peça, aplicação do líquido penetrante, remoção do líquido penetrante com água, secagem da peça, aplicação do revelador, inspeção visual e limpeza pós ensaio.

Neste trabalho foi utilizada para análise a tabela Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) que é um documento normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conforme a norma NBR 14725 (ABNT, 2001). Este documento

deve ser recebido e estar disponível para consulta pelos empregadores que utilizem produtos químicos, sendo este obrigatório para a comercialização desses tipos de produtos.

São realizadas comparações, quando disponíveis entre as normas americanas de higiene ocupacional da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* - ACGIH (ACGIH, 2018) e as Normas Regulamentadoras brasileiras da Escola Nacional da Inspeção do Trabalho - ENIT (ENIT, 2019).

3 LEVANTAMENTO DE RISCOS NO PROCESSO DE INSPEÇÃO

Ensaio Não Destrutivo (END) são técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos sem danificá-los, sendo executadas nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção. Eles contribuem para a qualidade dos bens e serviços, redução de custo, preservação da vida e do meio ambiente, sendo fator de competitividade para as empresas que os utilizam (ABENDI, 2018).

Líquido penetrante é um método que consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido específico para este fim. 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 indicada sobre a superfície.

A norma regulamentadora NR-12, que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, aborda os ensaios não destrutivos da seguinte forma:

12.114 A manutenção de máquinas e equipamentos contemplará, dentre outros itens, a realização de ensaios não destrutivos - END, nas estruturas e componentes submetidos a solicitações de força e cuja ruptura ou desgaste possa ocasionar acidentes.

12.114.1 Os ensaios não destrutivos - END, quando realizados, devem atender às normas técnicas oficiais nacionais vigentes e, na falta destas, normas técnicas internacionais.

12.115. Nas manutenções das máquinas e equipamentos, sempre que detectado qualquer defeito em peça ou componente que comprometa a segurança, deve ser providenciada sua reparação ou substituição imediata por outra peça ou componente original ou equivalente, de modo a garantir as mesmas características e condições seguras de uso (ENIT, 2019).

3.1 Limpeza inicial

Inicialmente, antes de começar o ensaio, a superfície deve ser limpa e seca. Não devem existir água, óleo, carepas, ferrugem ou outro contaminante. Contaminantes ou excesso de rugosidade, ferrugem, etc., tornam o ensaio não confiável. Para uma limpeza mecânica de

superfícies metálicas, em geral, utiliza-se uma escova manual ou rotativa. A escolha de um método de limpeza adequado é baseada em fatores tais como: o tipo de contaminante a ser removido, o efeito do método de limpeza sobre a peça, a praticabilidade do método de limpeza para a peça e os requisitos de limpeza especificados pela empresa fabricante da peça (ASME, 2009).

Os seguintes métodos de limpeza são recomendados: limpeza por detergentes, limpeza por vapor desengraxante, limpeza por vapor d'água, limpeza por solvente, remoção de oxidação e carepas e remoção de tintas. Segundo a EPA (1985), o desengorduramento a frio refere-se ao processo por imersão em tanques, tambores ou outros recipientes e o desengorduramento por vapor necessita de um tanque com serpentinas de aquecimento na parte inferior e uma zona de condensação próxima do topo, para que o solvente seja aquecido até a ebulição e o vapor quente encha a zona de condensação próxima ao topo do tanque.

O desengorduramento por vapor é um dos métodos mais utilizados para limpeza inicial de peças formadas por zinco, alumínio, latão, bronze e aço, podendo utilizar os produtos tricloroetileno e/ou percloroetileno para formação deste vapor. O tricloroetileno é confirmado como carcinogênico para humanos e o percloroetileno é considerado como provavelmente carcinogênico para humanos (CDC, 2015).

Para fim deste estudo, foi utilizada a tabela FISPQ da Metal-Check E59 embalada com a identificação de seus principais perigos: nocivo se inalado; pode ser nocivo se ingerido; provoca irritação à pele; provoca irritação ocular; pode provocar sonolência ou vertigens.

Segundo a Metal-Check (2019) estes vapores podem acumular-se rapidamente em áreas confinadas ou pouco ventiladas e sua exposição excessiva pode causar: irritações nas vias respiratórias superiores, aumentar a sensibilidade a epinefrina e aumentar a irritabilidade do miocárdio (batimentos irregulares do coração). Os níveis de concentração acima de 1000ppm causam tonturas e/ou sonolência, acima de 2000ppm ou exposições prolongadas podem resultar em perda de consciência e morte. As medidas de primeiros socorros, neste caso, consistem em conduzir a vítima para local ventilado, e se necessário, aplicar respiração artificial.

O contato com a pele pode causar irritação e a exposição prolongada ou repetida pode causar desengorduramento da pele. Neste caso, deve-se utilizar os "EPI's" indicados para o manuseio do produto e, em caso de contaminação, recomenda-se remover roupas contaminadas e lavar o local com água em abundância. O contato com os olhos pode causar irritação, e caso ocorra este contato, deve-se lavar os olhos com água fria em abundância durante 15 minutos e manter as pálpebras abertas. Em caso de ingestão, deve-se manter a vítima em repouso e não

induzir o vômito. Recomenda-se, também, procurar o atendimento médico imediatamente e não oferecer nada via oral a uma pessoa inconsciente (ASNT, 2012).

A Norma Regulamentadora NR-15, que trata de atividades e operações insalubres em seu Anexo 11, determina o limite de exposição para o tricloroetileno 78ppm ou 420mg/m³ e para o percloroetileno 78ppm ou 525mg/m³ com absorção pela pele. A ACGIH (2018) determina o limite de exposição para o tricloroetileno 10ppm e para o percloroetileno 25ppm (ENIT, 2019).

Conforme o trabalho realizado por Saraiva (2018), que analisa os riscos desses dois solventes, eles podem causar doenças como: as respiratórias; distúrbios na regulação do ciclo celular; câncer no pâncreas; reações alérgicas; danos genéticos; câncer de esôfago; câncer de colo de útero; lesão no fígado; entre outros efeitos para a saúde humana. Por conseguinte, tanto na lista da IARC (2014) como na lista do ENIT (2019), o tricloroetileno foi considerado carcinogênico para os seres humanos e o percloroetileno foi considerado como provavelmente carcinogênico para os seres humanos

3.2 Aplicação do líquido penetrante

A Figura 1, representa a aplicação de um líquido, geralmente de cor vermelha ou fluorescente, de tal maneira que forme um filme sobre a superfície e que, por ação do fenômeno chamado capilaridade, penetre na descontinuidade.



Figura 1 - Aplicação do líquido penetrante
Fonte: Andreucci (2004).

Deve ser dado um certo tempo para que a penetração nas cavidades se complete. Os líquidos penetrantes classificam-se em Tipo I - fluorescente e Tipo II - visível (ASTM, 2013). Para este artigo foi utilizada a tabela FISPQ da Metal-Check FP 91 MF do líquido penetrante do Tipo I fluorescente lavável à água com a identificação de seus principais perigos: pode

provocar sonolência ou vertigem; pode ser nocivo se ingerido; provoca irritação moderada à pele; provoca irritação ocular.

Recomenda-se utilizar os EPIs indicados para o manuseio do produto e, em caso de contaminação, as medidas de primeiros socorros são: se inalado, conduzir a vítima para local ventilado e, se necessário, aplicar respiração artificial; em caso de contato com a pele, deve-se remover as roupas contaminadas, lavar o local com água em abundância; se tiver contato com os olhos, deve-se lavar com água fria em abundância durante 15 minutos e manter as pálpebras abertas; se ingerido não induzir o vômito, manter a vítima em repouso. Recomenda-se também procurar atendimento médico imediatamente e não oferecer nada via oral a uma pessoa inconsciente (METAL-CHECK, 2019).

3.3 Remoção do excesso do líquido penetrante

A remoção é feita através de água e produtos adequados para o tipo de líquido penetrante aplicado na superfície, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo, conforme mostrado na Figura 2. Nesta etapa, cuidados são tomados para que o penetrante na cavidade não seja removido e em seguida seja feita a secagem da peça. Em algumas aplicações, a peça é colocada em uma estufa com temperatura máxima de 70°C para que fique completamente seca. O tempo de permanência na estufa depende do tamanho da peça, da geometria e da característica para retenção de água (TRACY; MOORE, 1999).

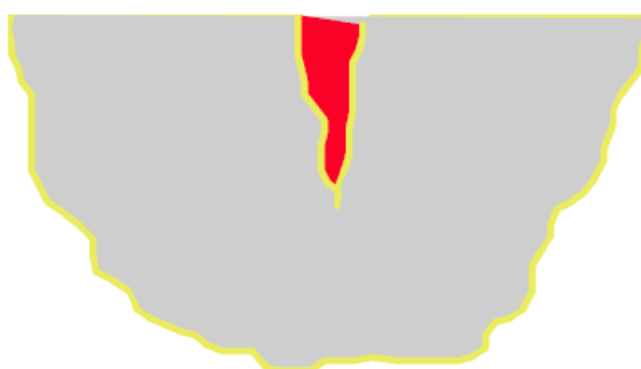


Figura 2 - Remoção do excesso do líquido penetrante
Fonte: Andreucci (2004).

3.4 A revelação do ensaio não destrutivo

A revelação ocorre pela aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície, como mostrado na Figura 3. O revelador é usualmente um pó fino branco, que 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 (GUIRONG, 2015).



Figura 3 - Aplicação do revelador
Fonte: Andreucci (2004).

Segundo a tabela FISPQ da Metal-Check D 70, embalado o revelador não aquoso, os principais perigos do revelador são: suspeito de afetar fertilidade ou nascituro (CAS 9016-45-9); pode afetar órgão após exposição prolongada ou repetida (CAS 9016-45-9); pode ser nocivo se inalado; pode ser nocivo se ingerido; provoca irritação à pele; provoca irritação ocular; pode provocar sonolência ou vertigens; nocivo para organismos aquáticos com efeitos duradouros (CAS 9016-45-9); líquido inflamável.

Em caso de exposição, recomendam-se as seguintes medidas de primeiro socorros: se inalado conduzir a vítima para local ventilado e, se necessário, aplicar respiração artificial; se em contato com a pele: remover roupas contaminadas, lavar o local com água em abundância; utilizar os EPIs indicados para o manuseio do produto; se em contato com os olhos: lavar com água fria em abundância durante 15 minutos e manter as pálpebras abertas; se ingerido não se deve induzir o vômito, deve-se manter a vítima em repouso e procurar atendimento médico imediatamente (METAL-CHECK, 2019).

3.5 A avaliação e inspeção do processo

Após a aplicação do revelador, as indicações começam a ser 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 iluminação, se o penetrante é do tipo visível (cor contrastante com o revelador) o uso de fonte de luz natural ou suplementar é

requerido, ou sob luz ultravioleta (luz negra) em área escurecida caso o penetrante seja fluorescente (REDDY, 2017).

A interpretação dos resultados deve ser baseada no código de fabricação da peça ou norma aplicável. Nessa 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.

3.6 Limpeza pós ensaio

A última etapa é a limpeza de todos os resíduos de produtos que podem prejudicar uma etapa posterior de trabalho na peça como a soldagem, usinagem e etc., conforme mostrado na Figura 4. Para essa limpeza final, deve-se seguir os procedimentos e requisitos de segurança do trabalho definidos no item 3.1.

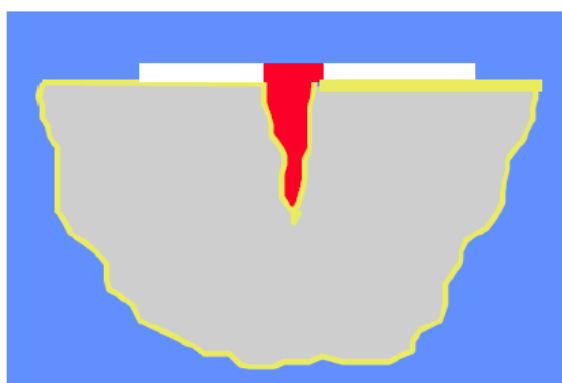


Figura 4 - Absorção do líquido penetrante
Fonte: Andreucci (2004).

4 RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES

Para a realização do ensaio por líquido penetrante, são necessárias algumas medidas mínimas de proteção para os trabalhadores, além dos equipamentos de proteção individual recomendados de acordo com as análises dos processos são de extrema importância. Para que não haja qualquer tipo de contaminação no organismo, são orientações operacionais: remover os equipamentos de proteção antes de entrar em áreas de alimentação; não ingerir alimentos durante qualquer etapa do processo do ensaio não destrutivo por líquido penetrante e não fumar.

O contato direto da pele com solventes orgânicos deve ser impedido através do uso de luvas de borracha nitrílica resistentes a solventes. Para o manuseio de produtos químicos é recomendada a utilização de avental de PVC ou de trevira (tecido plastificado), sendo o avental

com mangas o ideal, pois protege o corpo e os braços dos respingos na execução da atividade laboral. Roupas contaminadas devem ser trocadas e lavadas antes da sua reutilização.

Para a proteção respiratória, utiliza-se o respirador purificador de ar com filtro químico, o Confo II com filtro *GMA*. Este, sendo peça semifacial de classe 1, permite a remoção de um único vapor ou gás do ar, como por exemplo, o cloro. Para este tipo de trabalho sugere-se a aquisição de botas em *PVC*, dessa forma evitar-se-ia que se alguns dos produtos químicos utilizados no ensaio se derramassem, evitar-se-ia o contato com os pés, pois estes estariam protegidos pelas botas adequadas (METAL-CHECK, 2019).

O uso de óculos de segurança deve ser adotado por trabalhadores que realizem quaisquer atividades com risco de danos aos olhos. O tricloroetileno e o percloroetileno, por serem solventes clorados, podem causar irritação nos olhos, então, quando se trabalha com solventes clorados, deve-se utilizar óculos de segurança com proteção lateral, uma vez que o contato direto com vapores de solventes pode causar irritação nos olhos. Quando existe a necessidade de proteger os olhos contra impactos, respingos de produtos químicos e poeiras, o tipo de óculos mais indicado é o de segurança tipo ampla visão, que possua lentes em policarbonato e visor com tratamento anti-embaçante para maior conforto do usuário.

É recomendável, ainda, que os produtos químicos sejam manipulados em uma área bem ventilada, com uma iluminação adequada a fim de limitar o contato do trabalhador com as substâncias químicas (ACGIH, 2018).

4.2 Iluminação do ambiente para os ensaios não destrutivos

Nas questões que envolvem a iluminação do ambiente de trabalho para o profissional da área, a NR-17, que trata de ergonomia, determina os seguintes requisitos:

17.5.3. Em todos os locais de trabalho deve haver iluminação adequada, natural ou artificial, geral ou suplementar, apropriada à natureza da atividade.

17.5.3.1. A iluminação geral deve ser uniformemente distribuída e difusa.

17.5.3.2. A iluminação geral ou suplementar deve ser projetada e instalada de forma a evitar ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos.

17.5.3.3 Os métodos de medição e os níveis mínimos de iluminamento a serem observados nos locais de trabalho são os estabelecidos na Norma de Higiene Ocupacional n.º 11 (NHO 11) da Fundacentro - Avaliação dos Níveis de Iluminamento em Ambientes de Trabalho Internos (ENIT, 2019).

Como todos os exames dependem da avaliação visual do operador, o grau de iluminação utilizado é extremamente importante, pois, iluminação baixa ou deficiente pode induzir a erro na interpretação. Além disso, uma iluminação adequada diminui a fadiga do inspetor. A

intensidade de iluminação é definida como sendo a quantidade de luz por segundo na unidade de ângulo sólido por uma fonte pontual em uma dada direção. A unidade "candela" é definida como sendo a intensidade luminosa por superfície de $1/600.000 \text{ m}^2$ de um corpo negro na temperatura de congelamento da platina sob pressão de 101325 N/m^2 (ABENDI, 2018).

4.3 Ventilação nos ensaios não destrutivos

O sistema de ventilação local exaustora é um dos sistemas mais eficazes no local de trabalho para proteger os trabalhadores da exposição a produtos químicos perigosos para a saúde. De acordo com a *Health and Safety Authority - HSA* (HSA, 2014), para se ter um sistema eficaz com a finalidade de manter o local de trabalho dentro dos parâmetros seguros em termos de impurezas no ar e de preservação da saúde dos trabalhadores, é importante que ele seja bem projetado, instalado, corretamente usado e adequadamente mantido.

4.4 Enclausuramento

Outro ponto que se pode observar é o odor que pode ficar no laboratório quando o tanque de vapor desengraxante está aberto e/ou em uso. Segundo Silva (2010), o cheiro do tricloroetileno é sentido em concentrações acima de 19ppm (limite de odor), o que nos leva a crer que, possivelmente, existe uma concentração maior ou igual a esta quando da realização do ensaio e que o sistema de ventilação local exaustora (SVLE) existente não está conseguindo alcançar seu objetivo. A escolha conveniente de um coletor dos poluentes é uma decisão importante para que se tenha o controle adequado da poluição do ar.

O enclausuramento correto dos processos ou das operações mostra-se como requisito básico para a captação ideal e exaustão dos poluentes (ACGIH, 2013). O coletor recomendado para gases ou vapores emitidos por tanques nos quais a movimentação do material verifica-se verticalmente é o do tipo fenda (multifrestas). Segundo Costa (2005), este deve ser colocado próximo à superfície do banho. As Figuras 5 e 6 mostram o coletor do tipo fenda, como a opção correta para o risco contra gases e vapores, e o coletor do tipo coifa, como opção errada, de forma que, com o coletor do tipo fenda, o poluente é removido para longe da zona de respiração do trabalhador (ACGIH, 2013).

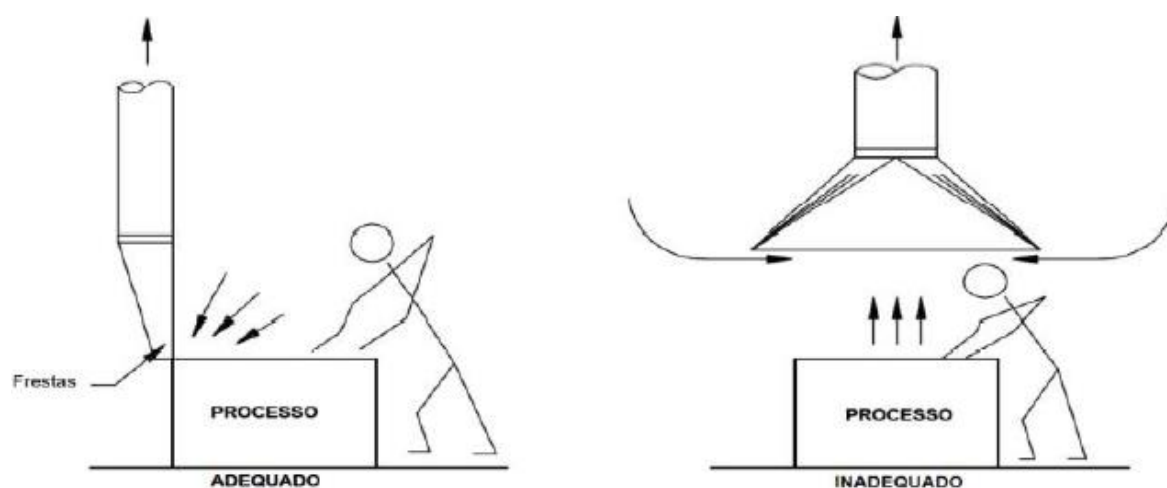


Figura 5 - Sistema de aspiração adequado e inadequado
Fonte: Adaptado Acgih (2013).

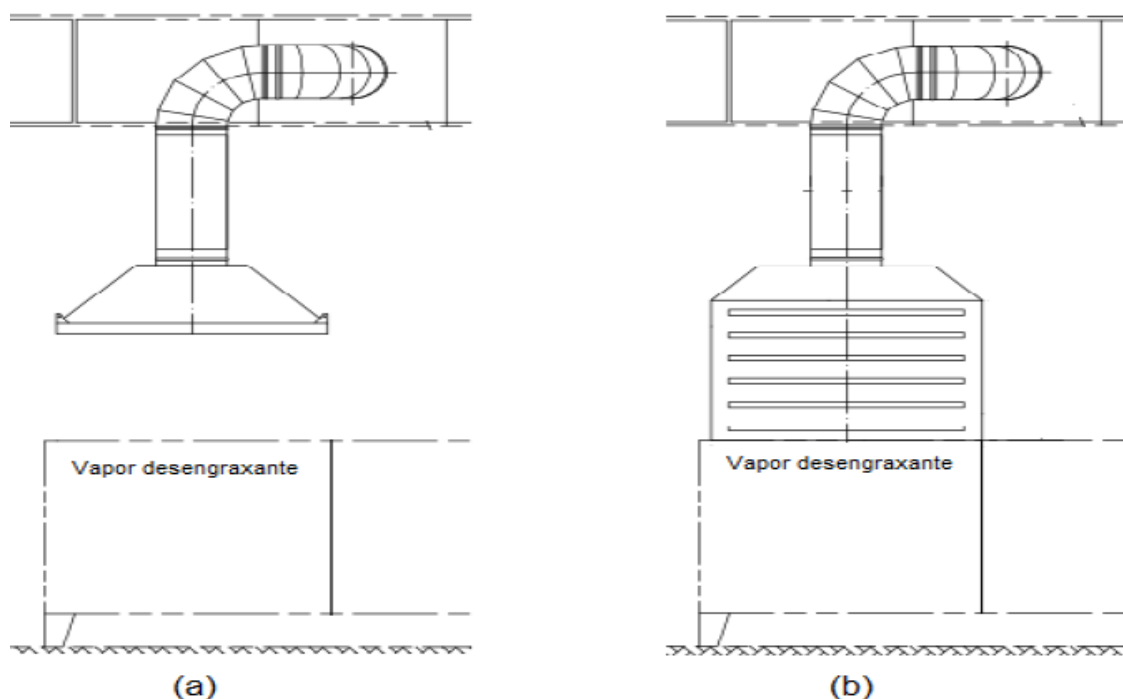


Figura 6 - Coletor do tipo coifa (a) e coletor do tipo fenda (b)
Fonte: Adaptado Saraiva (2015).

4.5 Chuveiro e lava olhos de emergência

Segundo a Norma Brasileira NBR 16291, é definido que as exposições químicas acidentais podem ocorrer mesmo com bons controles de engenharia e precauções de segurança, sendo essencial olhar para além do uso de óculos, viseiras e procedimentos que levem a utilização de equipamentos de proteção individual, tendo assim, os chuveiros de emergência e os lava-olhos como equipamentos de segurança necessários para minimizar os efeitos de acidentes com produtos químicos (ABNT, 2014).



Figura 7 - Chuveiro e lava olhos de emergência.
Fonte: Adaptado ABNT (2014).

4.6 Riscos ocupacionais à exposição a luz ultravioleta – luz negra

A radiação ultravioleta (UV) não está presente somente na luz do sol. Foi descoberta em 1801 pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810). A radiação UV é definida como toda a radiação com comprimento de onda menor que 400nm ($\lambda < 400\text{nm}$, 1nm).

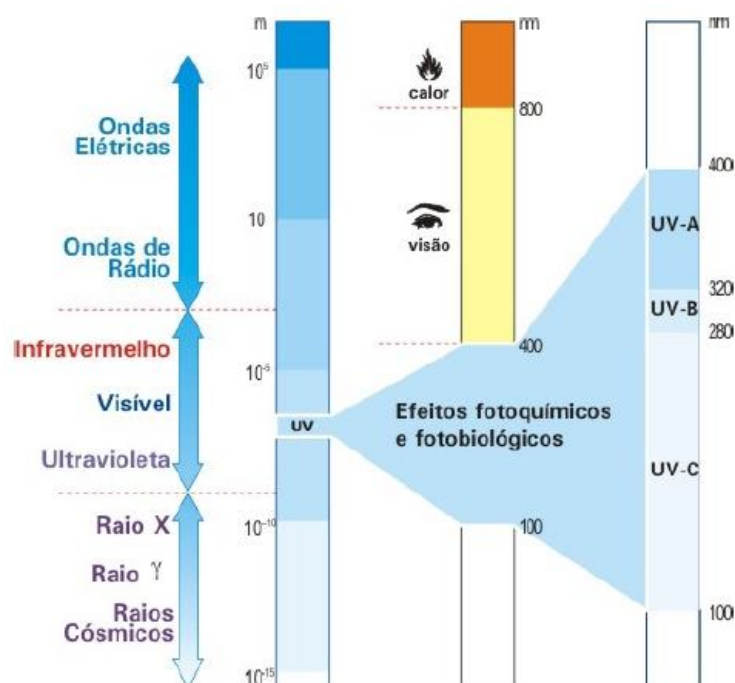


Figura 8 - Espectro magnético de radiações.
Fonte: CPTEC/INPE (2015).

O espectro ultravioleta é classificado como a região entre 200nm e 400nm . A região entre 400nm e 320nm , denominada região "da luz negra", é chamada UV-A e é responsável

pela pigmentação da pele ou bronzeado. A luz negra é utilizada em controle de qualidade industrial. A região entre 320nm e 280nm é denominada UV-B, a região do eritema. A maioria dos efeitos biológicos e potencialmente danosos da radiação UV das fontes naturais situam-se nesta faixa (INPE/CPTEC, 2015).

Segundo o INPE/CPTEC (2015), as radiações são classificadas como ionizantes ou não ionizantes. As ionizantes são aquelas que cedem às moléculas quantidade de energia suficiente para arrancar elétrons orbitais e conferir-lhes energia cinética (ionização). As não ionizantes não têm energia suficiente para provocar ionização, mas conseguem passar os elétrons para um nível energético superior, deixando-os em estado ativado (excitação). Existem também situações em que a energia é muito baixa e apenas aumenta a velocidade de rotação, translação ou de vibração da molécula.

A radiação UV é não ionizante. Seu efeito somático apresenta-se apenas na pessoa que sofreu a irradiação, não interferindo nas gerações posteriores. Contudo, não é menos perigoso que o de uma radiação ionizante, pois ela, além de atuar a nível atômico, também atua em nível molecular. A radiação UV interage com a molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico), portadora da informação genética na célula. O DNA absorve principalmente os menores comprimentos de UV (C e parte da B), absorção que pode provocar quebra de suas cadeias, implicando em alterações (DRURY; WATSON, 1998).

A pele humana tem uma importante função relativa à atividade imunológica. A radiação UVB pode interferir com o sistema imunológico humano através da pele. A supressão da capacidade imunológica enfraquece o sistema de defesa contra o câncer de pele e debilita a defesa contra doenças infecciosas.

Se os danos forem sérios, a célula poderá morrer. Também é possível que os danos alterem as funções da célula e, em alguns casos, a célula crie réplicas de si mesma. Isto pode gerar um câncer. A Figura 9 demonstra os níveis de penetração na pele e, basicamente, podem ocorrer quatro situações quando uma radiação entra em uma célula (CORRÊA, 2007):

1. A radiação pode atravessar a célula sem causar dano algum;
2. A radiação pode danificar a célula, mas ela consegue reparar o problema;
3. A radiação pode causar danos que não podem ser reparados e, para piorar, a célula cria réplicas defeituosas de si mesma;
4. A radiação causa tantos danos a célula que ela morre.

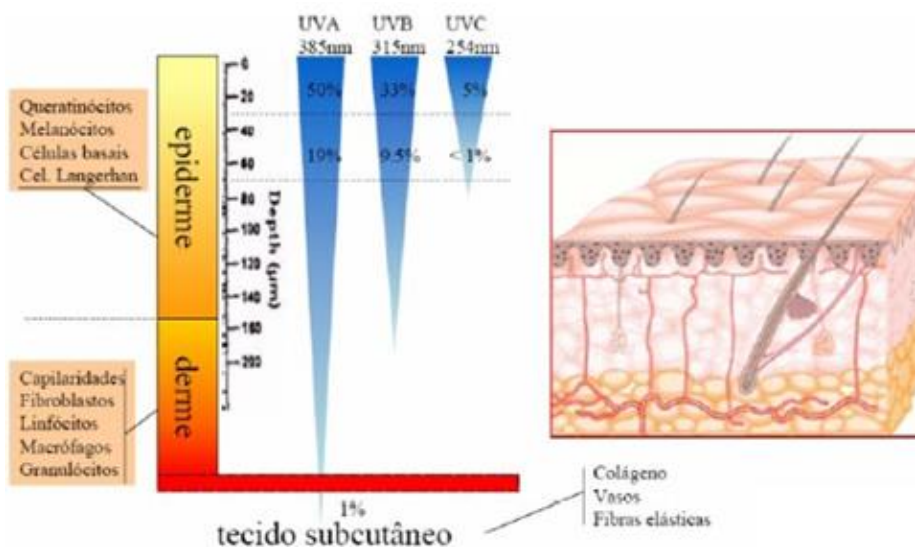


Figura 9 - Níveis de penetração de UV na pele.
Fonte: Corrêa (2007).

Enquanto uma pequena quantidade de UV pode não produzir dano permanente aos olhos, o único procedimento seguro a seguir é excluir completamente todos os níveis de exposição. O comprimento de onda mais efetivo para a indução de catarata pelos UVs são de 290nm a 310nm, ou seja, muito próximo ao comprimento de onda da luz negra.

Estudos comprovam que os comprimentos de onda da radiação envolvidos na indução de tumores parecem estar na região ultravioleta do espectro (comprimentos de onda entre 200nm e 400nm), especialmente na faixa UVB (290nm à 320nm). Os comprimentos de onda primariamente carcinogênico encontram-se entre 290nm e 320nm (CORRÊA, 2007).

A ACGIH (2018) considera que os limites de tolerância referem-se à radiação ultravioleta na região espectral entre 200nm e 400nm e representam condições sob as quais, acredita-se, a maioria dos trabalhadores possa estar exposta repetidamente sem sofrer efeitos adversos.

Segundo a ACGIH (2018), o valor do limite de tolerância para exposição ocupacional à radiação ultravioleta incide sobre os olhos ou pele, onde os valores de irradiação são conhecidos e o tempo de exposição é controlado. Para a região do espectro ultravioleta próximo (320nm à 400nm), a irradiação total incidente sobre os olhos ou pele desprotegidos não deve exceder 1mw/cm² para períodos de aproximadamente 16 minutos, e não deve exceder 1J/cm² (ACGIH, 2018).

Para o ENIT (2019) a NR-15, anexo 07, as atividades ou operações que exponham os trabalhadores às radiações da luz negra (ultravioleta na faixa de 400 - 320 nanômetros) não serão consideradas insalubres.

4.6 Ergonomia: habilidades perceptivas e cognitivas

A técnica da ergonomia depende fortemente de julgamento humano e visual, com a sua capacidade de identificar quaisquer falhas ou defeitos na amostra no processo final. Apesar do fato de que o humano desempenha um papel importante na confiabilidade dos resultados, há poucas pesquisas realizadas no campo da Ergonomia. Há vários fatores humanos que podem afetar a confiabilidade dos testes.

Conforme Luk e Chan (2007), ao contrário da maioria das técnicas populares de END, nenhum instrumento eletrônico é usado para detectar falhas e defeitos neste método. Em vez disso, esse processo depende das habilidades visuais e do processo de decisão cognitiva. A capacidade visual dos inspetores é crítica para a identificação de qualquer defeito em inspeções com líquidos penetrantes. Sua acuidade visual deve atender a determinado padrão, a fim de executar as tarefas de inspeção com competência. O padrão europeu EN473: 2008 (CEN, 1993) estabelece um sistema para a qualificação e certificação do pessoal que executa END, no qual os inspetores devem fornecer evidência de visão satisfatória conforme determinado por um especialista. A verificação da acuidade visual deve ser feita anualmente.

Segundo Wickens (2004), aproximadamente sete por cento da população masculina é deficiente na distinção de cor e não consegue discriminar certas cores umas das outras. O mais prevalente é o daltonismo vermelho-verde em que os comprimentos de onda destas duas matizes criam sensações idênticas se eles são da mesma intensidade de luminância. No entanto, é difícil determinar com precisão o tipo e o grau de cor deficiente de uma pessoa, visto que há grande variabilidade dentro de uma classe de deficiência de cor. Como a acuidade visual, a sensibilidade ao contraste diminui com a idade dos operadores e pode ser necessário um exame para consideração no teste de seleção para operadores.

Para detectar a presença ou ausência de descontinuidade, a busca visual é realizada através de uma série de fixações oculares sistemáticas. Uma descontinuidade é geralmente detectada pela primeira vez através de visão periférica e depois confirmada por fixação foveal. Para uma área de superfície de produto grande, a visão periférica é tão importante quanto a capacidade de visão foveal. A iluminação pode tornar os detalhes mais fáceis de se ver e as cores mais fáceis de se discriminar, sem produzir desconforto ou distração. Inspeção de END depende muito da visão para julgar a presença de defeito. Se ocorrerem reflexos na superfície de qualquer espécime, a fadiga instalar-se-á rapidamente e causará desconforto e redução do desempenho do inspetor (CHAN; SO, 2006).

A postura de trabalho dos inspetores é geralmente determinada pela localização real, tamanho e mobilidade do modelo analisado. Se a peça que está sendo inspecionada é imóvel, os inspetores podem precisar adotar uma estrutura de trabalho desconfortável. Em alguns casos os inspetores têm que se agachar ao lado da amostra localizada em posição baixa, durante a execução do END. Trabalhar com esse tipo de postura inadequada pode levar a diferentes formas de dores musculoesqueléticas.

De acordo com McAtamney e Corlett (2004), o método de avaliação do membro superior (*Rapid Upper Limb Assessment - RULA*), analisa o direcionamento postural para estimar os riscos de distúrbios do membro superior relacionados ao trabalho. A avaliação fornece uma análise rápida e sistemática dos riscos posturais de um trabalhador. A posição da amostra sendo inspecionada é variável, o que torna impossível propor uma postura de trabalho padrão para os inspetores seguirem. Em vez disso, algumas diretrizes podem ser recomendadas. Pheasant (1986) sugeriu que os inspetores devem evitar a inclinação para a frente da cabeça, pescoço e tronco. Tarefas que requerem a parte superior com os membros a serem usados em posição elevada também devem ser evitadas. Se for possível, as juntas devem ser mantidas dentro do terço médio da sua amplitude de movimento.

5 CONCLUSÃO

Através de análise documental, no reconhecimento dos riscos, foram identificadas as etapas de limpeza e de revelação por ventilação das peças como aquelas em que os riscos químicos estavam em maior evidência, tendo como fonte do perigo o vapor desengraxante composto por tricloroetileno e tetracloroetileno no tanque de limpeza, quando da utilização do tanque de revelação com revelador seco.

Este artigo além de alertar sobre a prevenção de riscos na realização de ensaios não destrutivos na adoção de líquido penetrante, destaca a importância da segurança do trabalho, que não deve ser encarada como um fator que caminha em direção oposta à produção, mas sim uma ferramenta para aperfeiçoar o trabalho na medida em que evita perdas desnecessárias e cria um ambiente favorável à realização das atividades.

Este estudo mostrou-se de importância por ter sido realizado com foco em laboratórios, podendo assim, serem propostas melhorias no processo do ensaio que, se adotados, poderão proteger os trabalhadores expostos e, principalmente, fazer com que estes aprendam sobre formas de realização de ensaio mais seguras e sobre meios de se evitar a exposição aos riscos.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS - ABENDI. **Ensaaios não destrutivos e inspeção**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=>. Acesso em: 02 abri. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16291: Chuveiros e lava-olhos de emergência**: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14725: Ficha de informações de segurança de produtos químicos**. Rio de Janeiro, 2001.
- ANDREUCCI, Ricardo. **Ensaio por líquidos penetrantes**. São Paulo: ABENDI, 2008. 68 p.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH. **Documentation of the TLVs and BEIs**. Cincinnati, Ohio, 2018.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH. **Industrial ventilation**: a manual of recommended practice. 28. ed. Cincinnati, Ohio, 2013.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS - ASME. **Standard test method for liquid penetrant examination**: SE-165. West Conshohocken, PA-United States, 2009. Disponível em: <http://elmundodelocalidad.files.wordpress.com/2009/07/asme-sec-v-b-se-165-examen-con-liquidos-penetrantes.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR NONDESTRUCTIVE TESTING - ASNT. Material hazards in penetrant testing. **NDT Technician**, v. 11, n. 1, p. 6-8, jan. 2012. Disponível em: <https://ndtlibrary.asnt.org/scholar/access/2012/MaterialHazardsinPenetrantTesting.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **165/E165M-12**: Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry. West Conshohocken, PA-United States, 2012. Disponível em: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/E165E165M-12.htm>. Acesso em: 14 abr. 2019.
- CENTER FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION - CDC. **Tetrachloroethylene**. Atlanta, GA-United States, 2015. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0599.html>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- CHAN, Alan H. S.; SO, Derek K. T. Measurement and Quantification of Visual Lobe Shape Characteristics. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 36, n. 6, p. 541-552, jun. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814106000308>. Acesso em: 07 abr. 2019.

CORRÊA, Marcelo de Paula. **Ozônio, radiação UV e saúde**: um panorama das pesquisas mais recentes realizadas no país. São Paulo, 2007. Slide. In: SEMINÁRIO DE COMEMORAÇÃO DO DIA INTERNACIONAL DE PROTEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO, 12., 2007, São Paulo. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/prozonesp/wp-content/uploads/sites/16/2014/02/Marcelo.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2019.

COSTA, Ennio Cruz da. **Ventilação**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. 256 p.

DRURY, Colin G.; WATSON, Jean. **Human factors good practices in fluorescent penetrant inspection**. Buffalo, NY-United States: State University of New York at Buffalo Department of Industrial Engineering Buffalo, 1998.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. Survey of trichloroethylene emission sources. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 1985. EPA-450/3-85-021. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000JE3Q.PDF?Dockey=2000JE3Q.PDF>. Acesso em: 10 abr. 2019.

ESCOLA NACIONAL DA INSPEÇÃO DO TRABALHO - ENIT. **NR-12. Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília, 2019. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-12.pdf. Acesso em: 31 mar. 2019.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. **EN473: 2008. Qualification and certification of NDT personnel**: general principles. Bruxelas, Bélgica 2008. Disponível em: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/fa4e5d29-122e-40bc-93df-7cd4f3034ff5/en-473-2008>. Acesso em: 15 out. 2020.

GUIRONG, Xu; XUESONG, Guan; YULIANG, Qiao; YAN, Gao. Analysis and innovation for penetrant testing for airplane parts. **Procedia Engineering**, v. 99, p. 1438-1442, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814037989>. Acesso em: 31 mar. 2019.

HEALTH AND SAFETY AUTHORITY - HSA. **Local exhaust ventilation guidance**. Dublin, Irish, 2014. 69 p. Disponível em: http://www.hsa.ie/eng/Publications_and_Forms/Publications/Occupational_Health/Local_Exhaust_Ventilation_LEV_Guidance.pdf. Acesso em: 31 mar. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. **Espectro magnético de radiações**. Cachoeira Paulista, 2015. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/energia>. Acesso em: 07 abr. 2019.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Liquid penetrant and magnetic particle testing at level 2**. Vienna, Austria, 2000. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/tcs-11.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2019.

INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER - IARC. **Agents classified by the IARC Monographs, vol. 1–123**. Lyon, France, 2014. Disponível em: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/>. Acesso em: 10 abr. 2019.

LUK, B. L.; CHAN, Alan H. S. Human factors and ergonomics in dye penetrant and magnetic particles nondestructive inspection methods. **Engineering Letters**, v. 15, n. 1, p. 163-169, 2007. Disponível em: http://www.engineeringletters.com/issues_v15/issue_1/EL_15_1_25.pdf. Acesso em: 10 abr. 2019.

MCATAMNEY, Lynn; CORLETT, E. Nigel. Rapid Upper Limb Assessment (RULA). *In*: Stanton, Neville A. *et al.* (Ed.). **Handbook of human factors and ergonomics methods**. Boca Raton: CRC Press, 2004. Chapter 7.

METAL-CHECK. **Ensaaios não destrutivos por líquido penetrante**. Bragança Paulista, 2019. Disponível em: <http://www.metalchek.com.br/>. Acesso em: 1 abr. 2019.

PHEASANT, Stephen. **Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design**. London; Philadelphia: Taylor & Francis, 1986.

REDDY, K. Ashok. Non-Destructive Testing, Evaluation Of Stainless Steel Materials. **Materialstoday Proceedings**, v. 4, n. 8, p. 7302-7312, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317313482>. Acesso em: 7 abr. 2019.

SARAIVA, Camila Dantas Gadelha. **Segurança ocupacional para os trabalhadores: estudo de caso em laboratório de ensaios não destrutivos por líquido penetrante**. 2015. 137 f. Dissertação (Mestrado em Trabalho, Saúde e Ambiente) - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - Fundacentro, São Paulo, 2015. 138 p. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=3147204. Acesso em: 10 abr. 2019.

SILVA, Carlos Sergio da. **Um estudo crítico sobre a saúde dos trabalhadores de galvânicas, por meio das relações entre as avaliações ambientais, biológicas e otorrinolaringológicas**. 2. ed. São Paulo: Fundacentro, 2010. 168 p.

TRACY, Noel A.; MOORE, Patrick O. (ed.). Health and safety precautions. *In*: TRACY, Noel A.; MOORE, Patrick O. (ed.). **Liquid Penetrant Testing**. Columbus, OH: American Society for Nondestructive Testing, 1999. Chapter 2, part 8. p. 71-82.

WICKENS, Christopher D. **An introduction to human factors engineering**. Upper Saddle River, N. J.: Pearson Prentice Hall, 2004.

DADOS DOS AUTORES

Nome: João Luiz Cesarino Ferreira

E-mail: joao.ferreira@colegiopioxii.com.br

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/4951500952052797>

Mestrado Profissional em Gestão de Sistemas de Engenharia pela Universidade Católica de Petrópolis. MBA em Gestão de Energias Renováveis. Especialização em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico e Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho e Engenharia de Produção. Professor de curso Técnico do Colégio Politécnico Pio XII de Juiz de Fora

(Sociedade Educadora Moraes Júnior) há mais de 16 anos. Conhecimentos em processos produtivos, de gestão e segurança do trabalho em indústrias têxteis e de malharias.

Nome: José Cristiano Pereira

E-mail: josecristiano.pereira@ucp.br

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/1475081617592277>

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Católica de Petrópolis em 2005. Certificado como PMP (Project Management Professional) pelo PMI (Project Management Institute) em 2008. MBA em Gerenciamento de Projetos pela FGV em 2009. Certificado como RMP (Risk Management Professional) pelo PMI (Project Management Institute) em 2009. Especialização em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF) em 2011. Mestrado em Sistemas de Gestão pela UFJF em 2012. Doutorado em Engenharia de Produção pela UFF em 2014. Pós-doutorado (em curso) no Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC). Professor nos cursos de graduação e mestrado em Engenharia na Universidade Católica de Petrópolis (UCP).

Nome: Fábio Esperança

E-mail: fabiohope@hotmail.com

Currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0165153886167155>

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP) em 1979. Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela PUC-RJ em 1981, Especialização em Engenharia Ambiental pela UFRJ em 1993, MBA em Engenharia de Manutenção pela UFRJ em 1996 e Especialização em Gestão Imobiliária pela PUC-RJ em 1999. Mestrado em Gestão de Sistemas de Engenharia pela Universidade Católica de Petrópolis (UCP) em 2020. Certificado Internacional em Gerenciamento de Projetos, Prince 2 Practitioner, pela empresa de acreditação internacional do Reino Unido, APMG International em 2017. Prince 2 Agile, Scrum & Kanban pela Raro Training em 2020. Sócio Gerente da AFDC desde Julho de 2008.