Unisanta Science and Technology, 2021, 1, December
Published Online 2021 Vol 10 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Inspeção e Avaliação Preventiva para Trocador de Calor Casco Tubo

André Luiz Dionísio, André Sergio Rodrigues, Fabiano Fernandes e Gabriel Gomes da Silva

UNISANTA– Universidade Santa Cecília – Faculdade de Engenharia – Pós-Graduação em Engenharia da Confiabilidade
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

E-mail: andre.dionisio@hotmail.com
Received June, 2021

Resumo: O presente artigo traz uma proposta para elaboração de rotinas de inspeções, avaliação mecânica preventiva e de integridade para um trocador de calor casco com feixe tubular, utilizado para aquecimento de Álcool 70° em um processo de extração de óleo de soja. Buscou-se em literatura os principais problemas que afetam a eficiência na troca térmica, prazo para intervenção, métodos de remoção de incrustação, técnicas de inspeção de descontinuidade de tubos, métodos de aperto de juntas e inspeções termográficas. A análise dos resultados aponta para redução do consumo de combustível na geração de vapor, aumento da disponibilidade do equipamento e redução de peças sobressalentes em estoque.

Palavras chave: Confiabilidade. Avaliação Preventiva. Trocador de Calor. Inspeção mecânica.

Inspection and Preventive Assessment for Shell-Tube Heat Exchanger

Abstract: This article presents a proposal for the elaboration of inspection routines, preventive mechanical evaluation and integrity for a shell heat exchanger with tubular bundle, used for heating 70° Alcohol in a soybean oil extraction process. The main problems that affect the efficiency of thermal exchange, intervention deadlines, scale removal methods, pipe discontinuity inspection techniques, joint tightening methods and thermographic inspections were searched in the literature. The analysis of the results points to a reduction in fuel consumption in steam generation, an increase in equipment availability and a reduction in spare parts in stock.

Keywords: Reliability. Preventive Assessment. Heat exchanger. Mechanical inspection.

1. Introdução

Os trocadores de calor são equipamentos facilmente encontrados em processos fabris, utilizados para realizar troca térmica entre dois fluidos, resultando em aquecimento ou resfriamento de um fluido (PUNTEL, 2020). São equipamentos que podem utilizar pressões elevadas, extremos de temperatura, trabalhos inflamáveis e que necessitam de serviços especializados, operação e manutenção com foco em segurança e confiabilidade para manter a operação segura no ambiente em que se encontra (SCHENKEL, 2015).

Procedimentos de manutenção e operação com rotinas diárias de acompanhamento deste tipo de ativo são necessários para manter seu pleno funcionamento com segurança. Algumas ações simples como rotas de inspeções para verificação de termômetros, manômetros, verificação visual de válvula de alívio e drenos são importantes para manutenção das condições físicas e operacionais do equipamento.

Viana (2021, *apud*. XENOS, 2014) comenta que o gerenciamento da rotina representa a forma como as atividades são realizadas no dia a dia das empresas, ou seja, as ações e verificações diárias conduzidas para que cada pessoa adquira responsabilidades ao cumprimento de suas obrigações em relação a todo o sistema.

Copyright © 2021 ISESC.

O presente trabalho visou elaborar a rotina de inspeção preventiva de um trocador de calor de casco com feixe tubular removível que foi instalado em substituição a um trocador de placas com gaxetas com ranhuras, uma vez que o novo modelo possibilita agilidade nos processos de limpeza e inspeção. Para elaborar uma sugestão para um processo de inspeção, realizou-se pesquisa em literatura para evidenciar os principais motivos geradores de paradas e perda de eficiência de equipamentos com as características descritas anteriormente.

Na proposta são apresentadas técnicas para limpeza de incrustações nos tubos, inspeções de corrosão, descontinuidades e métodos de aperto para evitar vazamento de juntas de vedação, bem como prazos de intervenções, buscando o momento menos oneroso para o processo.

Telles (2019) relata que a frequência de inspeção é dada em função da confiabilidade do ativo, através do MTBF (Tempo Médio Entre Falhas). Conforme a confiabilidade do ativo aumenta, os intervalos entre uma inspeção e outra também ficarão mais longos.

Sabendo das particularidades de cada processo, a rotina de inspeção criada indica prazos para início das atividades de verificação, visto que o equipamento entrará em operação em janeiro de 2022.

1.1 Objetivos

O trabalho visa elaboração de rotina de inspeção, avaliação mecânica preventiva e de integridade de trocadores de calor tipo casco tubo. A proposta foi motivada pela substituição de um trocador de calor de placas para um trocador do tipo casco tubo com feixe tubular removível, no qual a troca de calor é realizada entre vapor de água que aquece o álcool 70°, empregado na fermentação do farelo de soja. O trocador entrou em funcionamento em janeiro de 2021. Pelas características do projeto e robustez de construção, espera-se um aumento de eficiência no processo e redução dos riscos envolvidos.

2. Referencial Teórico

2.1 Trocador de Calor

Trocadores de calor são equipamentos que realizam o processo de troca de calor entre dois fluidos que estão em diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida (INCROPERA, 1998).

Puntel (2020) ressalta que em raras aplicações tem-se um terceiro fluido. Do ponto de vista mecânico, é considerado um vaso de pressão não sujeito a chamas, onde há duas camadas com pressão que na maioria dos casos são diferentes. Como o equipamento recebe fluidos que podem estar com diferenças significativas de temperatura, o projeto deve prever dilatação diferencial entre as partes.

2.2 Inspeção e Avaliação de Equipamentos

MMTEC (2021) define inspeção como checagem preventiva, utilizando procedimentos simples, mas indispensáveis, que auxiliam na produtividade do equipamento. Além de trazer a produtividade do equipamento, prolonga a vida útil e garante segurança durante toda a operação (ENGENHARIA ADEQUADA, 2021).

2.3 Manutenção Preventiva

A Norma Brasileira Regulamentadora 5462/94 (NBR-5462/94), define que manutenção preventiva é aquela realizada em intervalos pré-determinados, de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação de funcionamento de um item.

Trojan et al (2013), ressalta que a manutenção preventiva, visa evitar a falha do equipamento, sendo realizada em equipamentos que não estejam em falha, ou seja, ainda estejam operando com um mínimo de condições. Podem-se ter duas situações bastante diferentes: quando se desativa o equipamento bem antes do necessário para fazer a manutenção ou quando a situação é a falha do equipamento, por estimar o período de reparo de maneira incorreta.

3. Metodologia do Estudo

Foi adotada uma abordagem qualitativa de estudo de caso, a partir de fonte secundária de dados, extraídos de um projeto de engenharia em uma indústria de extração de óleo de soja. A revisão de literatura buscou os problemas mais recorrentes que afetam o desempenho de trocadores de calor tipo casco tubo, os prazos definidos pela legislação brasileira e Normas técnicas que auxiliam nos métodos e matérias utilizados para reparos.

3.1 Apresentação do Caso

Trata-se de um projeto de substituição de um trocador de calor do tipo placa com gaxeta para o de casco com feixe de tubos.

Vieira (2017) ressalta que o processo de transferência de energia que ocorre em um trocador de calor se dá pela diferença de temperatura entre os fluidos, o potencial motriz para o fenômeno. Para uma taxa de transferência fixa, quanto menor a magnitude da diferença de temperaturas, maior será a área requerida do equipamento.

Beloti (2009, *apud*. KUPPAN, 2000), cita vários benefícios da utilização do trocador de calor de placas móveis, dentre eles é citada a flexibilidade de expansão e facilidade na limpeza e manutenção. Mesmo com tais pontos positivos a troca ocorreu devido a reincidência de vazamentos do fluido, liberando gás inflamável durante o processo de troca térmica, detectado por meio de equipamentos de monitoramento de gases.

Copyright © 2020 ISESC

Após análise das possíveis causas que originariam o gás, a conclusão mais plausível encontrada foi que ocorriam reações químicas entre o álcool 70° e material utilizado na confecção da gaxeta. Assim a empresa optou pela aquisição de um novo equipamento, com característica de funcionamento diferente.

Um dos requisitos na aquisição do trocador de calor casco tubo foi a possibilidade de remoção do feixe de tubos, possibilitando maior eficiência na limpeza e manutenção.

Trocadores de calor do tipo flamotubolar são caracterizados pelo ar aquecido circular no interior de tubos, que são envolvidos externamente pelo fluido a ser aquecido, como demonstrado na Figura 1.

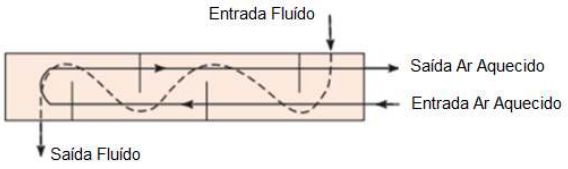

Figura 1. Circulação de fluidos no interior do Trocador de Calor.

A instalação pode ser realizada em disposição horizontal ou vertical, com variação no sentido dos fluxos entre fluído e ar quente conforme representado na Figura 2. Porém, é necessário que todos os dados de processos sejam abertos para o projetista responsável para atendimento da entrega do produto final. Connor (2019), define os fluxos de corrente, como ilustrado na Figura 2:

- Correntes paralelas: Na disposição de fluxo paralelo, o fluido entra na mesma extremidade com o ar aquecido, fluem na mesma direção e saem na mesma extremidade.
- Contracorrente: No arranjo de contracorrente, o fluido entra no extremo oposto ao ar aquecido, fluem em direções opostas e saem em extremos opostos.
- Correntes cruzadas: Na disposição de fluxo cruzado, o fluido e o ar quente fluem perpendicularmente um ao outro podendo ter escoamento misturado.

No processo, o equipamento trabalha com vapor pressurizado, definido então como vaso de pressão. No Brasil, a Norma Regulamentadora 13 (NR-13), estabelece requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, visando a segurança e a saúde dos trabalhadores.

A NR-13 no parágrafo 13.2.1 alínea "b" cita que os equipamentos com pressão maior que 8,0 kgf/cm², avaliado pela regra $P \times V > 8$, caracterizam-se como vaso de pressão. O equipamento estudado possuía pressão de trabalho entre 2,0 a 3,5 kgf/cm², não se enquadrando neste requisito, porém, na alínea "c" do mesmo parágrafo, cita que vasos de pressão que contenham fluidos Classe A, independente das dimensões do equipamento e do produto da regra $P \times V > 8$, são abrangidos pela norma. O parágrafo 13.5.1.2 alínea "a", cita que fluidos inflamáveis são enquadrados como Classe A, o fluido de trabalho é o Álcool 70°, logo o equipamento é regulado pela NR 13.

No processo de troca térmica o equipamento novo deve abranger as seguintes especificações:

- Vazão: 125 m³/h.
- Fluido de aquecimento (Casco): Vapor Saturado.
- Fluido Aquecido (Tubo): Álcool.
- Pressão de Vapor (PV): 2,0 a 3,5 kgf/cm².
- Temperatura média do Vapor: 135°C.
- Temperatura de entrada (Álcool): 55°C.
- Temperatura saída (Álcool): 78°C.
- Pressão de Projeto (PP): Casco +5,0/Tubo +3,0 kgf/cm².
- Pressão de Operação (PO): Casco +3,5/Tubo +2,0 kgf/cm².

No parágrafo 13.5.1.2 são apresentados os requisitos para classificação dos vasos de pressão em categorias, segundo a classe de fluido e o potencial de risco:

- Grupo 1 – PV = 100 kgf/cm²,
- Grupo 2 – PV < 100 e P.V. = 30 kgf/cm²,
- Grupo 3 – PV < 30 e P.V. = 2,5 kgf/cm²,
- Grupo 4 – PV < 2,5 e P.V. = 1,0 kgf/cm² e
- Grupo 5 – PV < 1 kgf/cm².

Como a maior pressão exercida é de 3,5 kgf/cm², o trocador é classificado como Grupo 3.

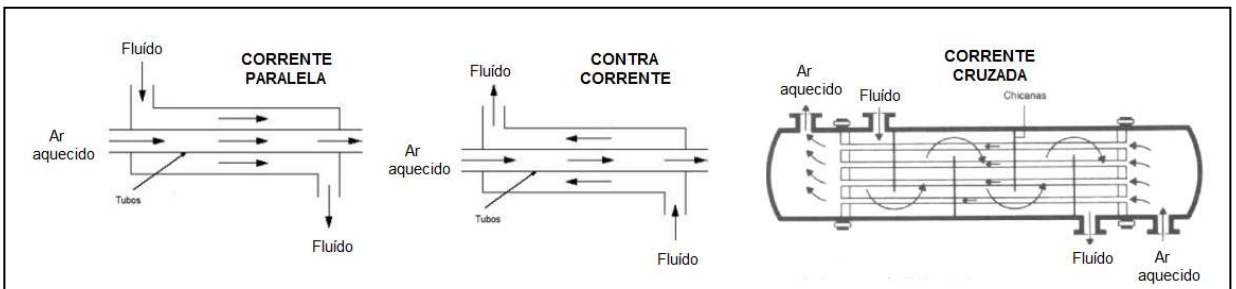

Figura 2. Sentido de fluxos de fluidos no interior do Trocador de Calor.

Copyright © 2020 ISESC.

3.2 Inspeções do Equipamento

Como base para elaboração de plano de inspeção tornou-se necessário abordar os requisitos obrigatórios descritos na NR-13 parágrafo 13.5.4, que determina que, em equipamentos novos devam ser realizadas inspeções iniciais bem como Teste Hidrostático (TH) em sua fase de construção, os valores devem constar em laudo assinado por Profissional Habilitado (PH), e a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) e a Pressão de Operação (PO) devem constar na placa de identificação do equipamento e no prontuário.

Quanto ao prazo máximo para inspeção periódica de segurança, constituída por exames internos e externos, no parágrafo 13.5.4.5 é possível observar os seguintes períodos apresentados na Tabela 1, levando em consideração se a empresa possui ou não o Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos (SPIE).

Como o equipamento do estudo é de categoria 3, toma-se por base que a empresa não possui SPIE, logo o prazo máximo para inspeção interna é 5 anos e externa de 10 anos.

Após definido os prazos máximos de inspeção iniciou-se a revisão bibliográfica por trabalhos que o equipamento abordado seriam trocadores de calor de casco e tubos, com objetivo de evidenciar os principais problemas e períodos de ocorrência de paradas não planejadas ou perda de eficiência.

Puntel (2020) cita três pontos importantes para monitorar em trocadores de calor: incrustação, corrosão dos tubos e vazamento em juntas.

3.3 Incrustação

As incrustações são responsáveis pela perda de eficiência na troca térmica. Puntel (2020) comenta que as incrustações correspondem ao aparecimento de uma camada na superfície de transferência de calor que reduz a capacidade da troca térmica, podendo acontecer por diversos mecanismos agindo individualmente ou de forma combinada.

A utilização de vapor de qualidade é fator preponderante para auxiliar na redução das incrustações.

Vapor com muito arraste possibilita a inserção de minerais e micro-organismos no interior do trocador.

Santos (2018) comenta que os problemas mais frequentes em unidades geradoras de vapor ocorrem principalmente devido ao tratamento ineficiente da água, provocando corrosão, incrustações nas tubulações e arraste de partículas junto ao vapor.

Estas informações reforçam a necessidade de acompanhamento dos níveis de incrustação do equipamento. Alguns estudos relatam o momento ideal para a realização da limpeza dos tubos do feixe, porém, se faz necessário o acompanhamento de indicadores, sejam eles modelos matemáticos com o auxílio de *software* e sensores de temperatura ou até mesmo um acompanhamento mais simples, utilizando como base a variação no consumo do combustível utilizado para gerar vapor comparado com a variação da temperatura na saída do fluido do trocador de calor.

Schenkel (2015) realizou um estudo sobre efetividade na troca térmica, onde foram monitorados três índices de eficiências, os quais nomeou de Efetividade Limpa (*El*), Efetividade Suja (*Es*) – Efetividade Média (*Em*). O monitoramento era realizado com auxílio do *software Aspen Process Explorer*®, que realizava o cruzamento de informações em tempo real do equipamento, especificações de projeto e dados limite do processo.

No acompanhamento, quando a *Em* alcançava a *Es* e superava a marca de 0,90 era momento de ficar atento com o processo, como representado no gráfico da Figura 3 entre os meses de outubro e novembro de 2013.

A parada para limpeza ocorria quando a *Em* alcançava 0,75, e logo após a limpeza, os índices retornavam aos patamares aceitáveis definidos no projeto do equipamento de 0,90 a 0,95.

Esse comportamento se repetia ao longo do estudo constatando que o tempo limite para limpeza era de aproximadamente quatro meses, porém, ao analisar o gráfico da Figura 4, em setembro 2013 foi realizada a limpeza, no período entre o final de outubro 2013 até a parada para a limpeza em janeiro 2014 provavelmente ocorreu consumo maior de combustível, como descrito anteriormente, a queda de eficiência do equipamento é compensada com geração de vapor com maior calor.

COM SPIE		
Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno
I	1 ano	3 anos
II	2 anos	4 anos
III	3 anos	6 anos
IV	4 anos	8 anos
V	5 anos	10 anos

SEM SPIE		
Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno
I	3 anos	6 anos
II	4 anos	8 anos
III	5 anos	10 anos
IV	6 anos	12 anos
V	7 anos	a critério

Tabela 1. Prazo máximo para inspeção de segurança. (Fonte: NR-13)

Copyright © 2020 ISESC

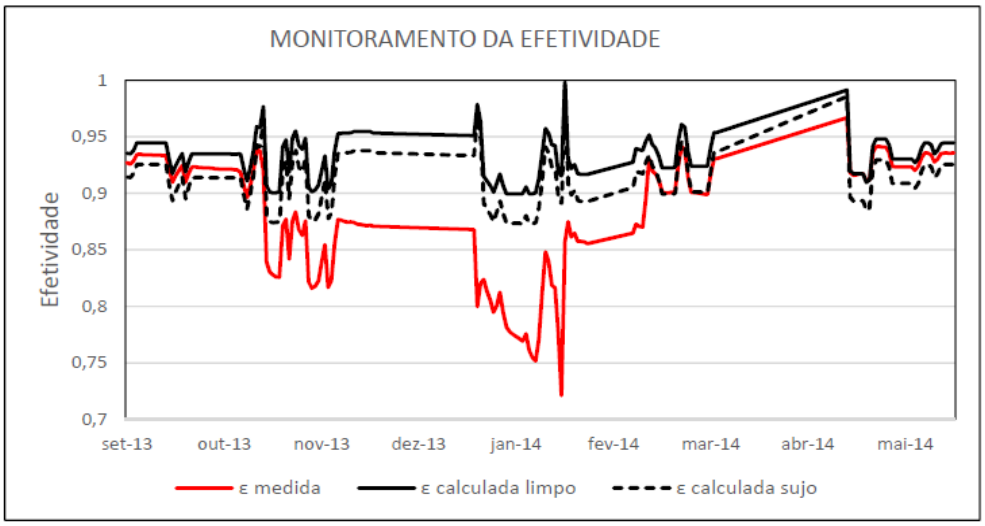

Figura 3. Monitoramento da efetividade. (Fonte: Schenkel, 2015).

Na análise individual da *Em*, Schenkel (2015) descreve que o período de 30 dias seria ideal ou menos oneroso para realizar a limpeza conforme representado com a seta vermelha no gráfico da Figura 4.

Com relação à remoção das incrustações, existem vários métodos que utilizam desde agentes inibidores adicionados em um dos fluidos, remoção química ou mecânica, Barboza (2020, *apud*. BOTT, 1995) classifica as limpezas como *online* (em operação) e *off-line* (fora de operação), o método *online* deve ser previsto no projeto de fabricação do trocador ou da rede.

No trocador estudado o fluido que tende a formar incrustações circula no lado externo dos tubos, neste caso a limpeza *off-line* se dá por meio de jateamento com água pressurizada, produtos químicos, escovação mecânica ou vapor. Antes de definir qual método será utilizado para a limpeza, é de suma importância conhecer os agentes responsáveis pela incrustação. Barboza (2020, *apud*. AWARD, 2011) relata que obter informações sobre a composição do depósito através de análises é extremamente útil para a identificação dos principais componentes para posterior desenvolvimento do tratamento adequado.

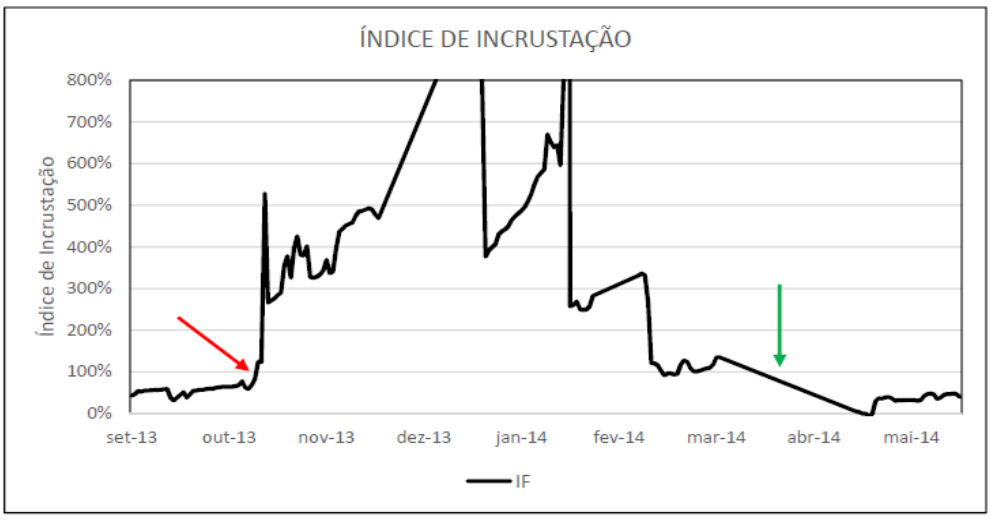

Figura 4. Índice de Incrustação. (Fonte: Schenkel, 2015).

Copyright © 2020 ISESC.

Quanto à utilização da limpeza química, se faz necessário observar algumas informações antes de sua aplicação, Barboza (2020, apud. Bott, 1995) relata as principais:

- Natureza do deposito para que o tratamento adequado possa ser selecionado;
- Material de construção do equipamento bem como da tubulação e equipamentos associados, a fim de evitar avarias provenientes de corrosão;
- Volume total do sistema para que a quantidade de produto químico possa ser estimada;
- Problemas do efluente gerado associados ao descarte seguro e adequado do produto químico utilizado;
- Riscos associados ao processo de limpeza e medidas de segurança necessárias;

3.4 Corrosão

A corrosão, especificamente dos tubos do feixe, pode ser originada pelas incrustações ou pelos fluidos empregados no processo de troca. Como as incrustações se alojam na rugosidade dos tubos, e para manter o processo de troca eficiente é necessário adicionar mais calor, podendo alcançar os limites de resistência térmica dos materiais utilizados no tubo, provocando fragilidade em suas ligações, facilitando a ação dos micros organismos no processo de corrosão.

O acompanhamento dos indicadores de eficiência pode indicar possíveis anomalias no equipamento, porém, limpezas realizadas de modo ineficiente podem maquiar este resultado.

No monitoramento aplicado por Schenkel (2015) citado anteriormente, logo após início do funcionamento do equipamento em julho de 2011, depois de duas semanas de uso o equipamento sofreu uma queda abrupta na *Em* conforme representado no gráfico da Figura 5, ao realizar a inspeção constatou que alguns tubos já estavam furados, porém as médias *El* e *Es* estavam dentro dos limites aceitáveis, este fato se deu devido ao fator temperatura não ter influência relevante sobre elas.

Para detecção de furos ou descontinuidades nos tubos, Uehara (2020) destaca três métodos para inspeção:

Teste de corrente parasita (ECT) Figura 6: É um método não destrutivo, de fácil e rápida aplicação e diagnostico, usado para detectar e dimensionar descontinuidades de metal, como corrosão, erosão, desgaste, atrição, cortes defletores, perda de parede e rachaduras em tubos não ferromagnéticos, onde uma sonda é excitada com uma corrente alternada é induzindo no tubo.

Quaisquer descontinuidades ou variações nas propriedades dos materiais que alterem o fluxo da corrente parasita são detectados como defeitos potenciais e representados graficamente (UEHARA, 2020).

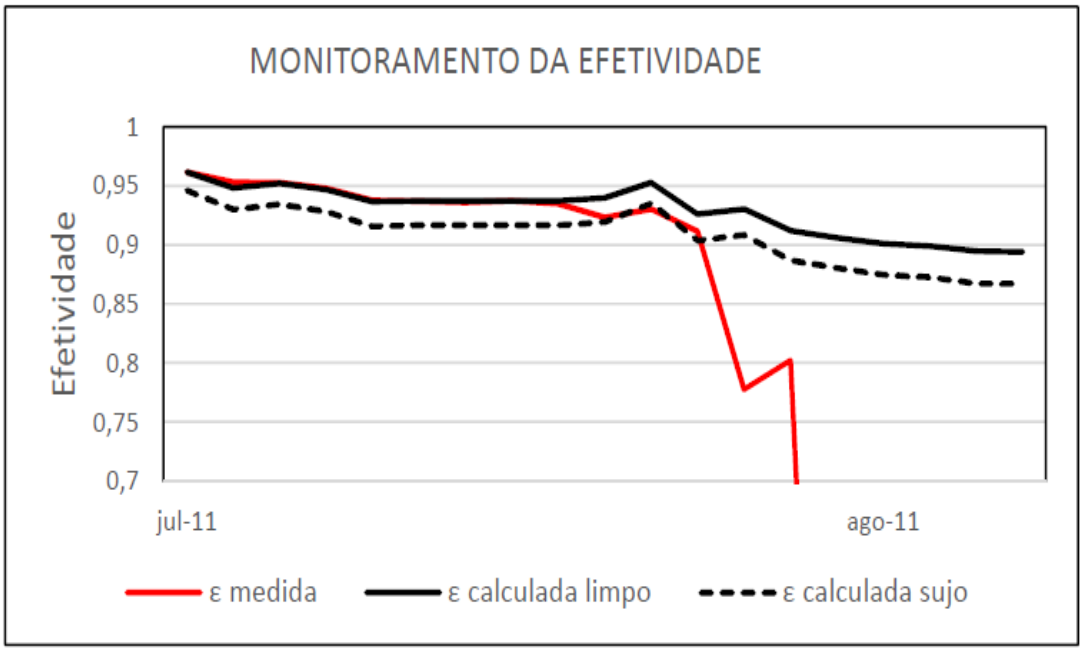

Figura 5. Monitoramento da efetividade. (Fonte: Schenkel, 2015).

Copyright © 2020 ISESC

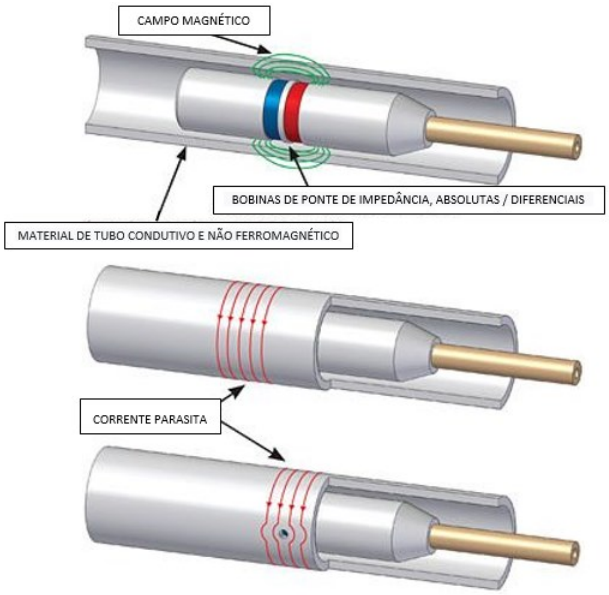

Figura 6. Ilustração funcionamento do teste de corrente parasita. (Fonte: Uehara, 2020)

Sistema de inspeção rotativo interno: ou *Internal Rotary Inspection System* ou *IRIS*, ilustrado na Figura 7, é uma técnica ultrassônica frequentemente usada em inspeções de tubos petroquímicos e de equilíbrio da planta (*balance of plant equipment* ou *BOP*). Este equipamento opera no modo pulso-eco, através de pulsos ultrassônicos que são transmitidos e recebidos pela sonda *IRIS* que faz a medição da espessura da parede do tubo sendo inspecionado, assim como a perda de material e a orientação do defeito dentro da faixa de 0,5 a 3 pol. de diâmetro interno (UEHARA, 2020).

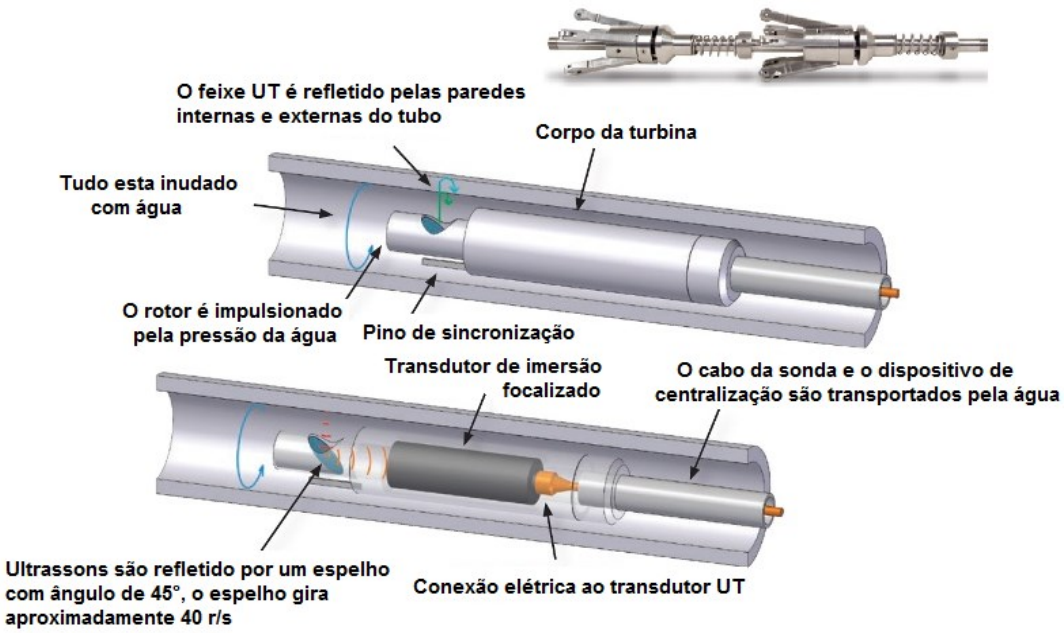

Figura 7. Ilustração funcionamento do teste rotativo interno. (Fonte: Uehara, 2020)

Copyright © 2020 ISESC.

Inspeção visual usando um videoscópio: ou *remote visual inspection* ou *RVI*, ilustrada na Figura 8, é o procedimento ideal quando se faz necessário visualizar internamente áreas de difícil acesso. Os videoscópios possuem um pequeno *chip* sensor na ponta de seus tubos de inserção que permite capturar vídeos e imagens estáticas. O sensor envia essas imagens para uma tela LCD, onde são visualizadas pelo inspetor (UERARA, 2020).

Além da corrosão dos tubos do feixe tubular, pode ocorrer corrosão no casco do trocador, nestes casos a capacidade a PMTA é afetada, podendo levar a desativação do equipamento por não suportar mais a pressão necessária para desempenho do processo.

3.5. Juntas

As juntas de vedação são itens de suma importância para reduzir taxa de vazamento. Para sua aplicação é necessário considerar a pressão que será submetida, fluído vedado, temperatura de processo e característica de aperto para vedação. As características de vedação sofrem influência de mais dois componentes, flange e parafusos.

A utilização adequada dos flanges e parafusos são orientados pela norma ASME (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos), as flanges projetadas seguem os requisitos da seção VIII, divisão 1, apêndice mandatório 2, onde é determinado o valor mínimo de carga do parafuso para assentamento da junta e um valor de carga para o parafuso na operação. Já para flanges padronizadas pela B16.50, estas utilizam juntas padronizadas conforme a norma ASME B16.20. Cada junta demanda de um acabamento de face da flange, devendo ser selecionado adequadamente para que quando submetida à compressão consiga deformar e preencher as imperfeições da superfície.

Os parafusos influenciam diretamente na vedação, Puntel (2020) ressalta que na estanqueidade da junção dos tubos, seu aperto deve resistir à separação, manter a vedação, compensar e o relaxamento da união ao longo do tempo. Sobre eles são atuantes várias forças como: força radial, força de vedação, força de estojo e de separação. A norma ASME define um valor para área mínima de parafuso, o espaçamento máximo e mínimo entre os parafusos adjacentes, em casos que utilizam flanges padronizados o número de parafusos já é definido.

Veiga (2019) comenta que para o bom desempenho de uma união flangeada é de suma importância sua instalação correta. Somente a especificação correta não é garantia de eficiência, pois os procedimentos de montagem têm grande influência no seu desempenho. Na prática, a grande maioria dos vazamentos são causados por erros de instalação, fundamentos básicos como falta de lubrificação, aperto excessivo ou insuficiente e a não centralização na flange são os principais.

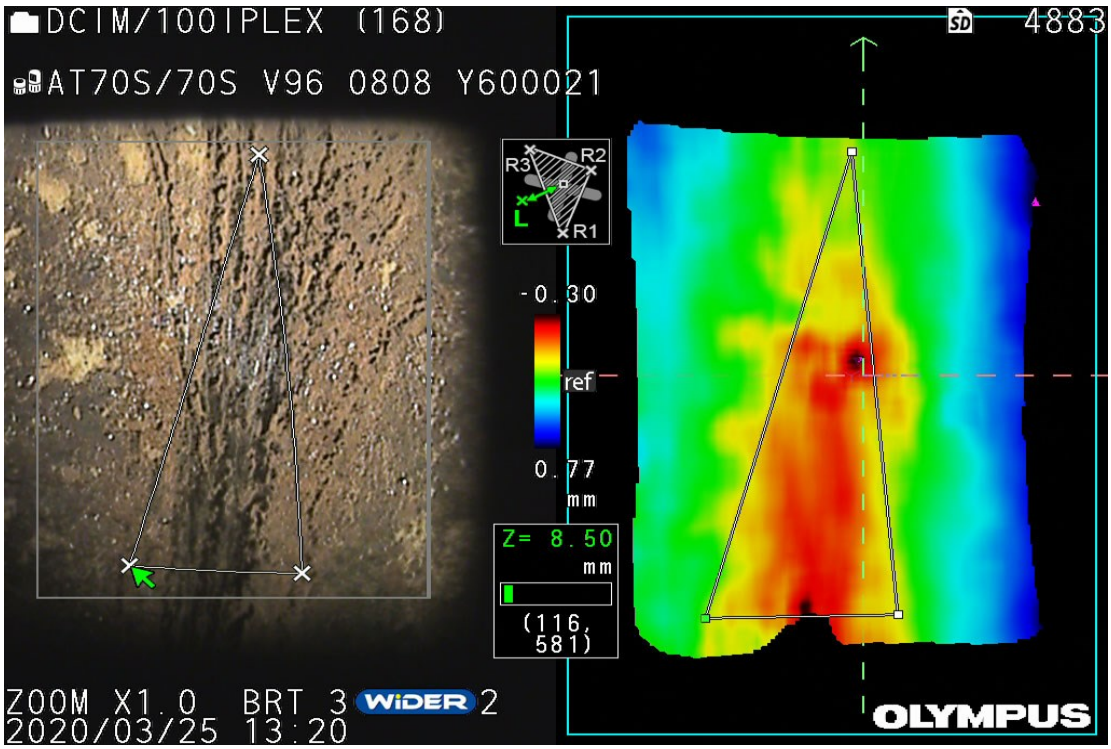

Figura 8. Imagem de modelagem 3D. (Fonte: Uehara, 2020)

Copyright © 2020 ISESC

A norma ASME PCC-1-2013 foi emitida com o objetivo de orientar a instalação de juntas de tubulações e vasos de pressão. Em casos de juntas novas, é necessário o reaperto depois de um curto período de tempo.

Veiga (2019) relata que logo após a instalação e aperto dos estojos se dá início ao relaxamento da junta, esta característica deve ser considerada de forma a assegurar o seu desempenho ao longo da campanha prevista para o equipamento ou tubulação.

O reaperto pode ser realizado em temperatura ambiente ou de processo, o método mais indicado é realizá-lo na temperatura de processo conforme comparativo realizado por Veiga (2019) representado no gráfico da Figura 9.

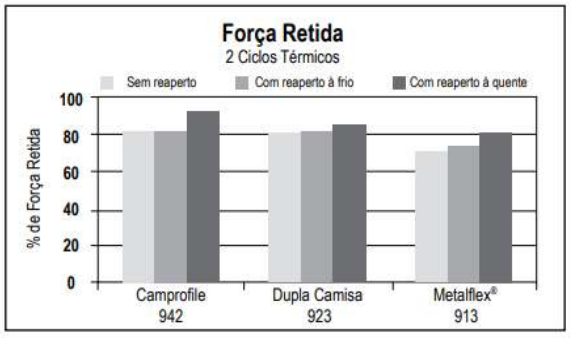

Figura 9. Comparativo da eficiência entre técnicas de reaperto. (Fonte: Veiga, 2019)

A norma ASME– PCC-1-2013, apêndice-O estabelece um procedimento empírico de avaliação do aperto dos parafusos conforme apresentado na figura 10.

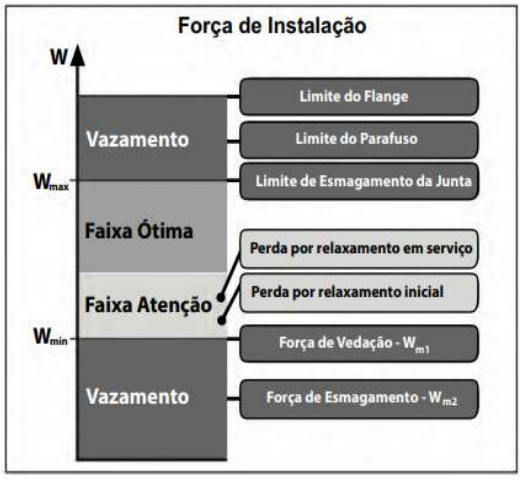

Figura 10. Limites para instalação de juntas. (Fonte: Veiga, 2019)

Para um aperto ou reaperto confiável é necessário à utilização de ferramentas que permitam a padronização da força aplicada no aperto. Em caso de parafusos e porcas de pequeno diâmetro o torquímetro manual com visor atende à necessidade.

Quanto à força aplicada, deve-se respeitar as especificações do parafuso utilizado, bem como definições do projeto de engenharia do equipamento. Veiga (2019) apresenta um roteiro para aperto e reaperto de juntas, embasado na norma ASME, composto de cinco passos apresentados a seguir:

1. Numerar os estojos ou furos dos flanges seguindo a sequência do método de aperto escolhido;
2. Instalar cada parafuso ou estojo com sua respectiva porca e arruela, realizando o aperto com a mão, em sequência cruzada e mantendo o paralelismo, até que todo o redor da junta encoste levemente no flange, todos os estojos devem ultrapassar obrigatoriamente as porcas em pelo menos dois fios. A força máxima para esta operação não deve exceder 10% do aperto final;
3. Aplicar o torque ou tensionamento de acordo com sequência do método escolhido;
4. Regular a ferramenta para obtenção do torque correspondente desejado em cada aperto;
5. Sempre apertar as porcas em múltiplos apertos,

    - as arruelas devem ser temperadas com dureza entre 38 a 45 HR_C (Dureza Rockwell "C") para reduzir o atrito com as porcas durante o aperto.
    - após cada passo, medir em quatro pontos diagonais a distância entre as faces das flanges de modo a garantir que estejam sempre paralelos.

Para avaliar a capacidade de selagem das juntas e se as técnicas de aperto e reaperto foram eficientes a termografia surge como uma opção relevante. A termografia ou termograma consiste em uma imagem captada por equipamentos especiais com a finalidade de representar visualmente a emissão de raios infravermelhos emitidos por um corpo.

Todo corpo emite raios infravermelhos. Silva (2007) define que todo objeto com temperatura acima do zero absoluto emite radiação de infravermelho, que pode ser utilizada para obtenção de imagens térmicas superficiais dos objetos através de detectores desses raios.

Com isso, sua aplicação de modo a prevenir ou identificar falhas se torna muito ampla. Sendo utilizado em diversas áreas, desde engenharias elétrica ou civil, bem como na medicina.

Além da inspeção de juntas podemos ressaltar sua utilização em várias partes do trocador de calor e seus equipamentos adjacentes como tubulações e bombas movidas a motores elétricos. A Figura 11 representa a identificação de vazamentos de vapor em tubulações.

Copyright © 2020 ISESC.

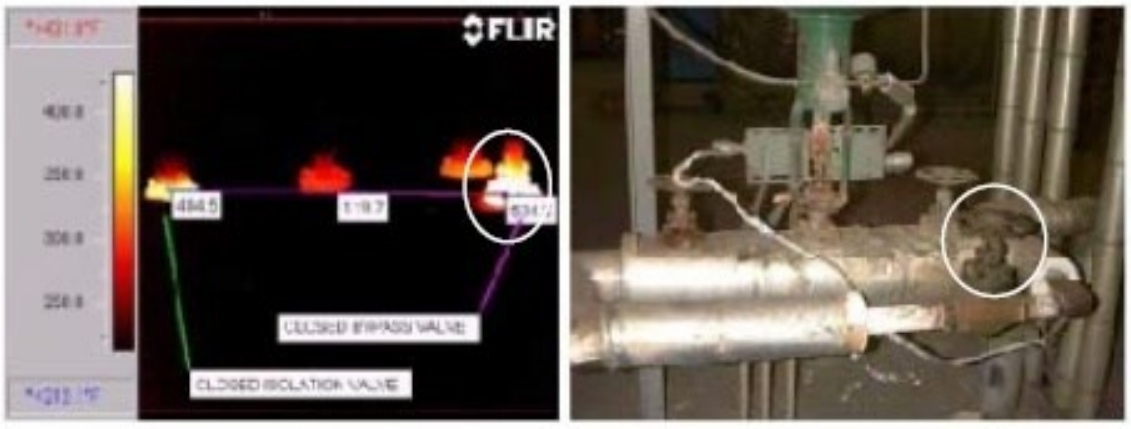

Figura 11. Vazamento em tubulação de vapor. (Fonte: Silva, 2007)

4. Discussão

Como resultado da análise das boas práticas é possível apresentar uma proposta de inspeção preventiva, porém, para garantir a assertividade e eficiência destes procedimentos se faz necessário o acompanhamento do desempenho do equipamento durante a fase de operação.

As boas práticas devem ser adotadas para fins de monitoramento e controle do equipamento, das quais podem ser destacados os seguintes itens:

- Checagem de manômetros;
- Checagem de termômetros;
- Verificação de válvulas de alívio;
- Verificar drenos;
- Acompanhar atuação de válvulas de controle, quando aplicáveis;
- Checar linhas de by-pass, quando aplicáveis;
- Verificar alimentação e saída de fluído a ser aquecido;
- Verificar alimentação e saída de fluído aquecedor;
- Verificar controle de nível, quando aplicável;
- Verificar a presença do prontuário na área de operação bem como anotações realizadas;
- Verificar a presença do livro de registros e suas anotações;
- Verificar os relatórios de inspeção quanto à realização do calendário de inspeção;
- Certificado de calibração das válvulas de alívio e outros dispositivos de segurança como manômetros;

Além do trocador de calor as tubulações que o conecta são extensão do risco e necessitam assim das devidas inspeções de rotina, algumas exigências devem ser atendidas, como:

- Verificação de válvulas de alívio;
- Verificação de manômetros;

Analisando o comportamento relatado sobre as incrustações, o prazo proposto inicial para limpeza periódica dos tubos do feixe tubular e casco seria de trinta dias. Como este processo necessita ocorrer de modo *off-line*, seria possível realizar a inspeção visual dos tubos.

A aplicação da remoção química deve ser analisada com muita atenção, em plantas que não possui tratamento de efluentes sua utilização deve ser repensada ou utilizada em casos nos quais seja de estrema necessidade devido ao grau ou mecanismo de incrustação. Para avaliação da corrosão, a sugestão seria de seis meses com o auxílio de equipamentos de varredura de descontinuidade.

Com relação à vedação das juntas, a avaliação ocorrerá simultaneamente com as limpezas para remoção das incrustações devido à necessidade de sua retirada para deslocar o feixe tubular. Nas demais juntas que não serão afetadas com a remoção do feixe a sugestão inicial é de seis meses.

Vale lembrar que os prazos devem ser avaliados individualmente e ajustados como passar do tempo. O desempenho do equipamento será o principal parâmetro para identificar o momento ideal para realizar as paradas preventivas.

Limpezas realizadas de modo adequado podem auxiliar na maximização dos prazos de intervenção ou na redução do tempo previsto para execução da limpeza, gerando maior disponibilidade do equipamento reduzindo o lucro cessante.

Quanto à utilização da termografia como meio diagnostico de possíveis falhas, o prazo sugerido é de seis meses,

Copyright © 2020 ISESC

avaliando vazamentos em juntas, registros, conexões, purgadores, rede adjacente de tubulação, funcionamento de bombas, motores e contatos elétricos de componentes utilizados no trocador.

5. Considerações Finais

Intervenções preventivas planejadas proporcionam maior eficiência para o equipamento e consequentemente para o processo, elevando os índices de confiabilidade e segurança, diminuindo o consumo de combustível, reduzindo os níveis de estoque de peças sobressalentes. Com a parada programada os itens previstos para substituição podem ser adquiridos poucos dias antes da intervenção.

Estas intervenções não substituem as inspeções de segurança prevista pela NR-13, mas contribuem para que ocorram com maior agilidade aumentando a disponibilidade do equipamento.

As particularidades de processo, clima, local de instalação do equipamento podem interferir diretamente nos prazos sugeridos, sendo necessária sua adequação.

O método de monitoramento online sugerido por Schenkel (2015) se mostra muito eficiente proporcionando ainda maior assertividade no momento ótimo para intervenções.

Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **ABNT. NBR 5462: 1994.** Confiabilidade e mantenabilidade, Rio de Janeiro. 1994. Disponível em: https://pdfcoffee.com/nbr-5462-pdf-free.html. Acesso em: 19 Nov. 2021.

2. BARBOZA, E. G. **Avaliação de metodologias de limpeza química com proposta de projeto de manutenção dos trocadores de calor do LADEQ**, 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12574/1/EGBarboza.pdf. Acesso em: 20 Nov. 2021.

3. BELOTI, T. T. **ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE UM TROCADOR DE CALOR A PLACAS PARA FLUIDOS DE PERFURAÇÃO**. 2009. Monografia (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Centro Universitário Vila Velha, Vila Velha, 2009. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60760950/ESTUDO_DA_UTILIZACAO_DE_UM_TROCADOR_DE_CALOR_A_PLACAS20191001-80440-1yms3m2-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1639711192&Signature=E0xTPJnn7UnU-1iH1YIiOsVbcbSZkd6WCys-HdUXH6a~Sug3Lo-QNGWfAi-bRMT0Xce3xSyNsJr9hdYRss5DSnYZo~UKcf~aAWM6wbYMao-00ksV5p7yHj4OOBEju0TK0bqw4T7RfR-lAHmc6wzQ7Nzte-cRb1QJ6VTdYG~QI9wFBQikZS1zsp2nqw5nUXALoo-onpPBJMFokwJCrijNWIehcmSSZjvrik-9oM-RfD5uUU6NM4aWC1ZxAJS7o8UyLXn-QjHb5R28p9XSOntU-DsR3gz2~TtV~fXhWuu-kfDvOBJM6xNaLo9zsp-dEhOuN5R~0Dg0zBKN6qSOBBZV218bS1vmOw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 29 Nov. 2021.

4. BRASIL. Ministério do Trabalho. **Portaria SEPRT nº 19, de 30 de junho de 2019. Norma Regulamentadora NR-13**. 2019. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13.pdf/view . Acesso em: 20 Nov. 2021.

5. CONNOR, N. **O que é trocador de calor de fluxo paralelo e contra – fluxo – Definição**. 2019. Disponível em: https://www.thermal-engineering.org/pt-br/o-que-e-trocador-de-calor-de-fluxo-paralelo-e-contra-fluxo-definicao/. Acesso em 22 Nov. 2021.

6. ENGENHARIA ADEQUADA, **Inspeção de equipamentos: o que é, como se faz, e o papel do técnico**. 2021. Disponível em: https://adequada.eng.br/inspecao-de-equipamentos/. Acesso em: 25 Nov. 2021.

7. INCROPERA, F.P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de transferência de calor e massa**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Cientificos Editora S.A. 1998.

8. MMTEC, Inspeções Industriais. **QUAL A IMPORTÂNCIA DE IMPLANTAR UM PROCESSO DE INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS**, BLOG 2021. Disponível em: https://www.mmtec.com.br/IMPORTANCIA-PROCESSO-DE-INSPECAO-DE-EQUIPAMENTOS/. Acesso em: 21 Nov. 2021.

9. PUNTEL, T. B. M. M. **PROJETO DE UM TROCADOR DE CALOR CASCO E TUBO PARA SERVICO EM REFINARIA**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10031266.pdf. Acesso em: 25 Nov. 2021.

10. SANTOS, E. J. do N.; FRAGA, F. E. **A importância do tratamento e cuidados com a água de caldeira**. 2018. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do emi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte. Mossoró 2018. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4577/1/EnockJNS_ART.pdf. Acesso em: 25 Nov. 2021.

11. SILVA, R. N. T. da. **Estudo da termografia por infravermelho: aplicações na engenharia e determinação de parâmetros termofísicos e geométricos de materiais.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pernambuco. Recife, 2007. Dis-

Copyright © 2020 ISESC.

ponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5497/1/arquivo7543_1.pdf. Acesso em: 25 Nov. 2021.
12. SCHENKEL, K. A. **Monitoramento da efetividade térmica de trocadores de calor**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em: https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/127731. Acesso em 21 Nov. 2021.
13. TELLES, J. **Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0**. Brasília: ENGETELES Editora, 2019.
14. TROJAN, F.; MARÇAL, R. F. M.; BARAN, L. R. **Classificação dos tipos de manutenção pelo método de Análise Multicritério ELECTRE TRI**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, p. 343-357, Natal / RN, 2013. Disponível em: http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf. Acesso em: 29 Nov. 2021.
15. UEHARA, J., **3 métodos para inspecionar os tubos do trocador de calor**, BLOG, 2020. Disponível em: https://www.olympus-ims.com/pt/insight/a-faster-way-to-inspect-heat-exchanger-tubes/. Acesso em 22 Nov. 2021.
16. VEIGA, J. C.. **Juntas industriais.** 8º Edição: Editora Teadit, Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: https://coppi.com.br/download/teadit/juntas-industriais-teadit.pdf. Acesso em: 01 Dez. 2021.
17. VIANA, H. R. G. **Manual de Gestão da Manutenção - Volume 2**. Brasília: ENGETELES Editora, 2021.
18. VIEIRA, N. K. Artigo: **Meta-Heuristica Bio-inspirada para otimização de trocadores de calor casco-tubo.** Simpósio de métodos numéricos em Engenharia, Escola Politécnica (Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 2017. Disponível em: https://eventos.ufpr.br/smne/SMNE2017/paper/viewFile/556/183. Acesso em 22 Nov. 2021.

Copyright © 2020 ISESC