Manutenção preventiva em Feixes de Trocadores de Calor em Refinarias

Thiago Luiz Cabral da Costa
Estudante de Engenharia Mecânica, Jaboatão, Brasil,
thiagoluiz44@hotmail.com

Luiz Pereira da Costa Neto
Professor do Curso de Engenharia Mecânica, UNIFG, Recife, Brasil, luiz.p.neto@animaeducacao.com.br

Centro Universitário dos Guararapes, Rua Comendador José Didier, 27 – Piedade, Jaboatão dos Guararapes – PE, Brasil, 54400-160

RESUMO: *Os trocadores de calor são fabricados em diversos materiais para suportarem as mais variadas condições de trabalho que operam. Como por exemplo, tipo de fluido de trabalho, pressão e temperatura de operação. Devido a essas condições desses materiais, os feixes dos trocadores de calor sofrem muitos desgastes devido aos produtos que entram em contato diretamente com os mesmos. Devido a isso, é necessário a contratação de serviço de manutenção preventiva ou corretiva com empresas especializadas, conforme as normas específicas desses equipamentos, pois as mesmas garantem a qualidade do serviço devido a estrutura que possuem e a experiência dos profissionais que executam a atividade. Durante a manutenção dos feixes são inspecionadas as ranhuras de vedação da placa espelho para a eliminação de possíveis vazamentos nas regiões de assentamento das juntas de vedação, realizando a usinagem dos espelhos quando necessário para recomposição das ranhuras, avaliação dos tubos antigos e substituindo parcialmente ou plenamente os que estão com desgaste por novos, mandrilagem e/ou soldagem dos tubos no espelho utilizando procedimentos específicos. Dessa forma, é possível assegurar a confiabilidade e a vida útil dos equipamentos. Outra etapa importante, são os ensaios não destrutivos para as ligações soldadas, pois garantem que os tubos estejam estanques na placa espelho. Os mais utilizados são o ensaio visual e o ensaio por líquido penetrante. Seguindo estas etapas, é possível uma redução do custo da empresa e um aumento da vida útil do equipamento.*

PALAVRA-CHAVE: *Normas. Trocadores de calor. Manutenção.*

ABSTRACT: *Heat exchangers are manufactured in different materials to withstand the most varied working conditions in which they operate. For example, type of working fluid, operating pressure and temperature. Due to these conditions of these materials, the bundles of heat exchangers suffer a lot of wear and tear due to the products that come into direct contact with them. Due to this, it is necessary to contract preventive or corrective maintenance services with specialized companies, according to the specific standards of these equipment, as they guarantee the quality of the service due to the structure they have and the experience of the professionals who perform the activity. During the maintenance of the bundles, the tubesheet sealing grooves are inspected to eliminate possible leaks in the areas where the sealing joints are located, machining the tubesheet when necessary to recompose the grooves, evaluate the old tubes and replace them partially or completely those with wear for new ones, tube expanding and/or welding of tubes to the tubesheet using specific procedures. In this way, it is possible to ensure the reliability and useful life of the equipment. Another important stage is the non-destructive tests for welded connections, as they ensure that the tubes are tight on the tubesheet. The most used are the visual test and the penetrating liquid test. Following these steps, it is possible to reduce the cost of the company and increase the useful life of the equipment.*

KEYWORDS: *Standards. Heat exchangers. Maintenance.*

1 Introdução

Os trocadores de calor são equipamentos cuja utilização é destinada ao resfriamento e aquecimento de fluidos. Eles são encontrados na forma de condensadores, evaporadores, caldeiras, etc... (SANTOS, 2010). A principal função dos trocadores de calor é realizar a troca térmica de fluidos que estão em diferentes temperaturas mantendo as mesmas em equilíbrio.

Durante a operação dos trocadores de calor os feixes sofrem desgastes na sua estrutura devido ao fluido que trabalham, temperatura e pressão. A elevada temperatura durante a operação acelera a corrosão dos materiais. Devido a isso, a manutenção preventiva desses feixes é uma atividade de grande importância nas refinarias, pois em uma não esperada manutenção corretiva ocorre a parada de uma planta que gera um prejuízo enorme. A manutenção preventiva dos feixes quando bem planejada diminui consideravelmente estes prejuízos. Durante a manutenção preventiva os feixes são removidos para inspeção onde são avaliados os espelhos, tubos e a ligação entre os tubos e os espelhos conforme abaixo:

Espelhos – são analisados os desgastes ocasionados pelos fluidos de processos e ranhuras de assentamento das juntas. Quando necessário os espelhos são removidos do feixe.

Tubo – são verificados o grau de corrosão e desgastes dos tubos. Removendo parcial ou todos quando necessário, através do processo conhecido como retubagem.

Ligação tubo x espelho – são verificadas a união entre os tubos e o espelho.

Objetivo deste artigo é descrever as etapas para a realização de uma manutenção preventiva de um feixe de um trocador de calor em condições severas de desgaste.

2 Referencial Teórico

Neste tópico será apresentado evidências práticas envolvendo o serviço em feixes de trocadores de calor constando as etapas: desmontagem, solda tubo/espelho e mandrilagem. A figura 1 e 2, respectivamente, mostram o trocador de calor completo e um feixe.

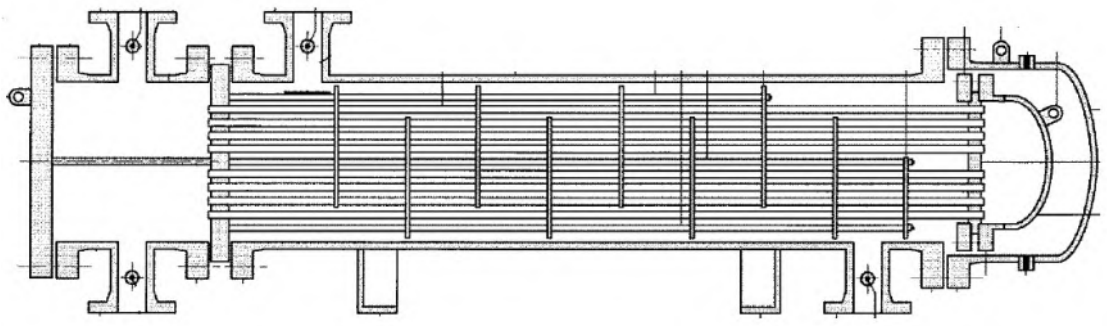

Figura 1. Trocador de calor de nomenclatura AES. Fonte: TEMA, 2019

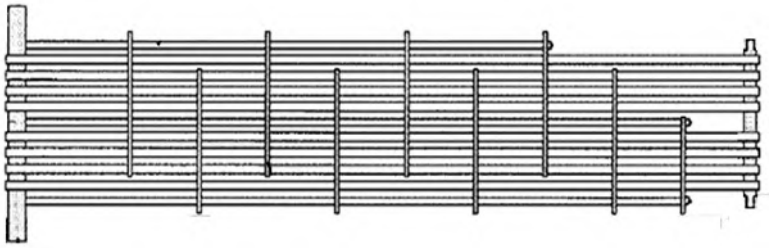

Figura 2. Feixe removido do trocador de calor de nomenclatura AES. Fonte: TEMA, 2019

2.1 Processo de soldagem GTAW

GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING) é um processo de soldagem a arco elétrico entre um eletrodo não-consumível de tungstênio ou a ligas à base de tungstênio sob uma proteção gasosa de um gás usualmente inerte ou misturas de gases. No processo dependendo da aplicação, pode ou não ser utilizado metal de adição (FBTS, 2016). Os equipamentos básicos para soldagem manual são: fonte de energia, unidade de alta frequência e reservatório do gás para soldagem (WAINER, BRANDI, MELLO, 1992). A solda TIG é uma das mais usadas para a ligação tubo/espelho devido ao seu cordão ser uniforme e as soldas serem de alta qualidade na maioria dos metais e ligas, como também pode ser usado em todas as posições.

2.2 Ensaios não destrutivos (ENDs)

Os ensaios não destrutivos (ENDs) são de extrema importância para o controle de qualidade, como também, para a redução do custo do serviço. Com ele é possível detectar descontinuidades em juntas soldadas. Os mais comuns são:

2.2.1 Ensaio Visual

O ensaio visual é o método mais simples, o mais utilizado e, em geral, precede qualquer outro tipo de ensaio. Ele é usado na inspeção de superfícies externas para determinação de tamanho, forma, acabamento, existência de trincas e poros (FBTS, 2016).

2.2.2 Ensaio por líquido penetrante

O ensaio por líquido penetrante é considerado simples, rápido e de fácil execução. É utilizado na detecção de descontinuidades abertas para superfície de materiais sólidos não porosos tais como: metais ferrosos e Não-ferrosos, ligas metálicas, cerâmicas, vidros, alguns tipos de plásticos ou materiais organo-sintéticos (FBTS,

2016). Este ensaio é utilizado para detectar descontinuidades na solda do tubo ao espelho com a finalidade de evitar vazamentos. As figuras 3 e 4, respectivamente, mostram a aplicação do penetrante e a aplicação do revelador.

Figura 3. Aplicação do penetrante. Fonte: o autor, 2023

Figura 4. Aplicação do revelador. Fonte: o autor, 2023

2.3 Normas Técnicas

As Normas Técnicas são obrigatórias na manutenção de feixes de trocadores de calor. Elas são as diretrizes para procedimentos de soldagem, mandrilagem, montagem e ensaios não destrutivos. Estas normas são:

- TEMA
- ASME IX
- ISO 16812
- ASME V

3 Metodologia

Foi realizada um acompanhamento na prática para formação de base sobre o tema em análise. Sendo estudados artigos relacionados à fabricação/montagem, soldagem, e mandrilagem de trocadores de calor. Esse tipo de pesquisa permite entender na prática todas as etapas para a manutenção de feixes de trocadores de calor.

Foram estudadas as principais formas de mandrilagem, assim um dos principais processos de soldagem usado na manutenção dos feixes.

4 Resultados e discussão

4.1 Resultados

4.1.1 Remoção do feixe do trocador

Após a identificação que o trocador de calor está tendo uma mistura do fluido refrigerante com o fluido de operação, é realizada a remoção do feixe tubular do trocador de calor para manutenção. As figuras 5 e figura 6 mostram o alto grau de corrosão e desgaste de um feixe removido de um trocador e enviado para manutenção.

Figura 5. Face do espelho. Fonte: o autor, 2023

Figura 6. Feixe com alto grau de corrosão. Fonte: o autor, 2023

Após constatado que o vazamento do feixe se encontra nos tubos devido ao desgaste, agressividade do fluido, corrosão, entre outras possibilidades é solicitada a retubagem do feixe. No processo de retubagem, inicialmente são removidos os espelhos para avaliação de sua integridade e possível usinagem. Nessa avaliação será verificada a condição das ranhuras de vedação, canais de vedação da ligação tubo espelho e grau de corrosão. A figura 7 mostra o momento em que o espelho está sendo cortado para posterior usinagem.

Figura 7. Fonte: o autor, 2023

4.1.2 Usinagem dos Espelhos

O processo de usinagem é uma das etapas mais importantes na manutenção dos trocadores de calor. Nesta etapa é removida toda a corrosão nas faces dos espelhos, tubos antigos dentro dos furos e realizada uma nova ranhura na superfície de assentamento da junta de vedação. A figura 8 exibe os tubos antigos sendo removidos com a utilização de furadeira de bancada.

Figura 8. Fonte: o autor, 2023

As ranhuras devem estar em boas condições. Quando há desgaste, a preparação de uma nova ranhura deve ser seguida à risca pelo projeto, pois uma ranhura diferente do projeto tem um grande risco de ocorrer um vazamento quando o feixe voltar ao trocador de origem. Nas figuras 9 e 10 respectivamente, é possível ver um espelho sem ranhuras devido a corrosão e o outro com a ranhura recuperada após usinagem.

Figura 9. Região sem ranhuras devido a corrosão. Fonte: o autor, 2023

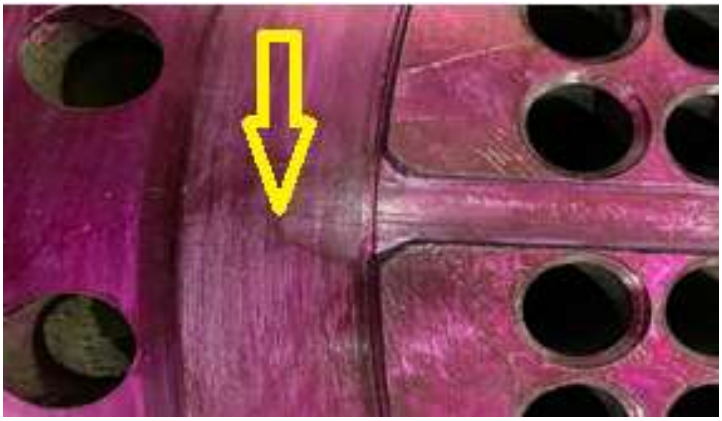

Figura 10. Usinagem de uma nova ranhura. Fonte: o autor, 2023

A figura 11 apresenta os valores das ranhuras definidas no projeto.

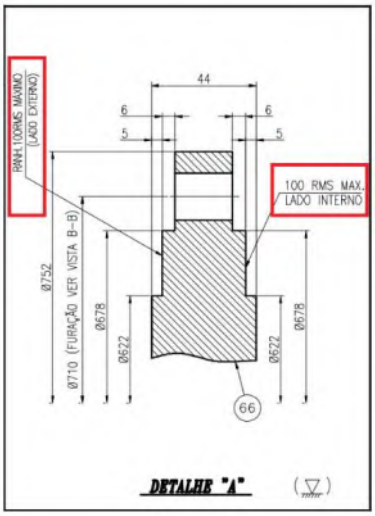

Figura 11. Fonte: o autor, 2023

4.1.3 Ligação entre o tubo/espelho

A ligação dos tubos aos espelhos deve estar estanque para suportar as pressões de projeto e não permitir que haja vazamento. A pressão do equipamento dependerá do projeto, podem ter 10, 20, 30 kgf/cm², etc. A ligação dos tubos aos espelhos pode ser soldada, mandriladas e soldadas com posterior mandrilagem de acordo com o projeto.

4.1.4 Soldadas

A ligação soldada deve ser realizada com um procedimento de soldagem (EPS) previamente qualificado e deve ser aprovado pelo cliente antes do início da solda. O soldador também deve estar qualificado para realizar esta soldagem.

O processo de soldagem mais usado para realizar este trabalho é o processo TIG. Normalmente a solda é realizada na posição 5G (ASME IX, 2021). A figura 12 mostra o soldador realizando a soldagem do tubo ao espelho.

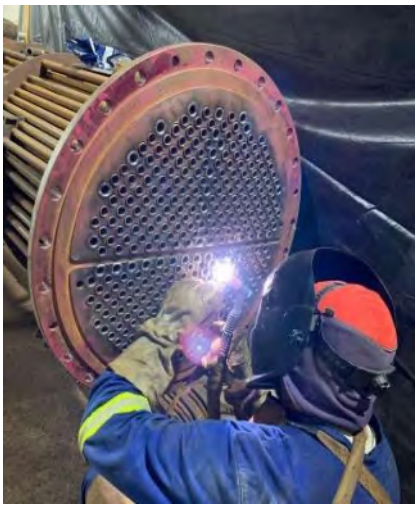

Figura 12. Fonte: o autor, 2023

4.1.5 Mandrilados

Assim como a ligação soldada, a ligação mandrilada deve seguir um procedimento para realizar uma boa vedação. Segundo o parágrafo RB7.2.4 da norma TEMA, a partir de 15,88 mm deve haver no mínimo 2 canais internos em cada furo dos espelhos. A figura 13 apresenta o detalhe de uma ligação mandrilada. As extremidades dos tubos devem ultrapassar em 3,0 mm a superfície do espelho, exceto nos trocadores verticais onde as extremidades dos tubos devem facear a superfície do espelho superior para evitar acúmulo de líquido. Para cada material existirá uma taxa de expansão específica e deverá ser seguida a risca para não comprometer a integridade dos tubos.

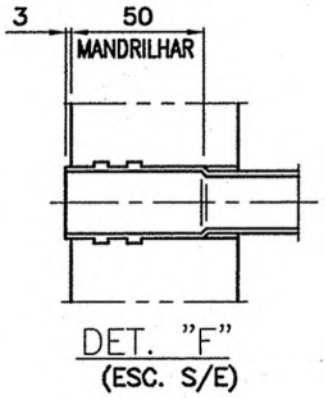

Figura 13. Detalhe de uma ligação mandrilada. Fonte: o autor, 2023

A equação abaixo apresenta os dados que devem ser coletados para a realização mandrilagem conforme a norma Petrobras N466:

$$dim = di + (DF - de) + 2\,(f \,.\, sp)$$

Onde:

dim	é o novo diâmetro interno [mm];
di	é o diâmetro interno original do tubo [mm];
Df	é o diâmetro do furo no espelho [mm];
de	é o diâmetro externo original do tubo [mm];
sp	é o espessura original dos tubos [mm];
f	é o fator de redução na espessura do tubo, devido à expansão (exemplo: 5 % = 0,05).

O equipamento utilizado para realizar a mandrilagem é a mandriladora. As figuras 14 e 15, respectivamente, mostram uma mandriladora elétrica (fabricante Hanna) e pneumática (fabricante Air Tools).

Figura 14. Mandriladora elétrica. Fonte: o autor, 2023

Figura 15. Mandriladora pneumática. Fonte: o autor, 2023

Os mandris ou expandidores são fornecidos de acordo com material, diâmetro e espessura dos tubos. A figura 16 apresenta um mandril para tubo com as seguintes características: material SA179 (aço carbono), diâmetro 19,05 mm e espessura 2,11 mm.

Figura 16. Mandril ou expandidor. Fonte: o autor, 2023

4.2 Discussão

A manutenção preventiva dos feixes quando aplicada com planejamento há uma redução de custo bem considerável. Além do prejuízo com paradas não programadas, há uma redução nos custos da empresa quando comparado a compra de um novo feixe. Para realizar a comparação informada no gráfico da figura 17, foi considerado um feixe com características bem usuais nas refinarias. Sendo as seguintes características para materiais em aço carbono: 2 espelhos com 30 mm de espessura, 115 tubos de Ø 25,4 mm e 2,11 mm de espessura e 21 chicanas de 4,5 mm de espessura. O custo de uma preventiva quando comparado ao custo de um equipamento novo chega a 20%. Ou seja, uma redução de 80% no orçamento da empresa. Considerando que não haverá risco de parada desprogramada da planta, que é a maior preocupação dos empresários. Uma comparação entre a manutenção e uma compra de um equipamento novo dependendo do fluido de operação, segundo uma média das manutenções realizadas na refinaria, o equipamento revisado pode chegar em média a 5 anos com produtos mais agressivos (H2S) e em média 10 anos com produtos menos agressivos (óleo diesel) , figura 18. Outro item que comprova que é válido este investimento.

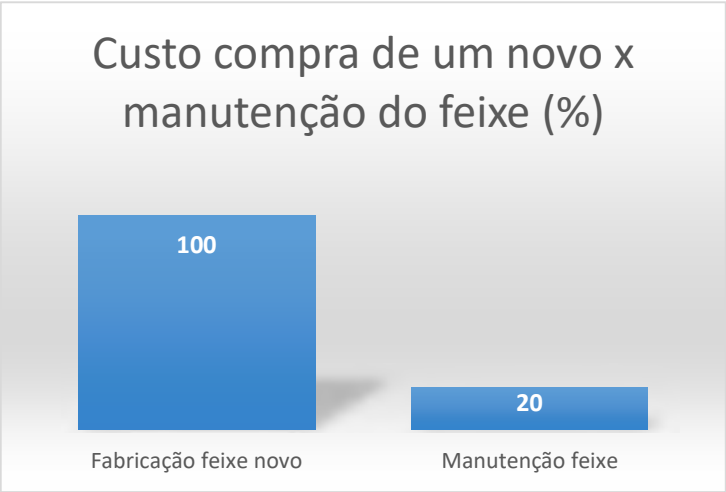

Figura 17. Comparação entre a fabricação do novo feixe x manutenção. Fonte: o autor, 2023

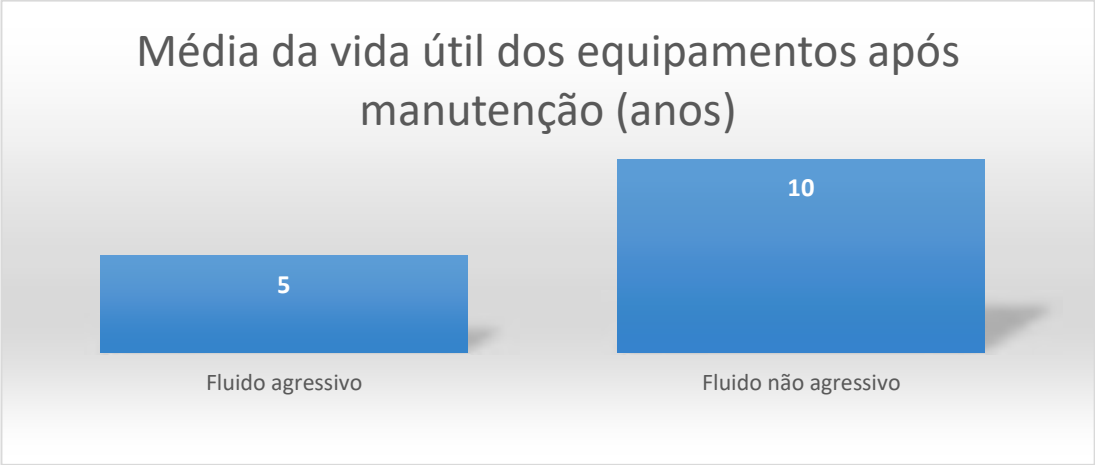

Figura 18. Vida útil dos feixes após a manutenção. Fonte: o autor, 2023

A figura 19 apresenta os feixes prontos para retornarem as suas respectivas unidades/operações.

Figura 19. Feixes com manutenção realizada Fonte: o autor, 2023

5 Considerações finais

Conforme apresentado no estudo, esse artigo mostrou a importância do serviço de manutenção de feixes de trocadores de calor nas refinarias. A manutenção dos feixes sempre será o melhor caminho para os empresários, pois avaliando o gráfico (figura 17) é possível entender de uma forma clara a economia realizada. A manutenção é ideal para se manter a temperatura do sistema em suas devidas condições. Pode-se verificar que um serviço de manutenção não é apenas a desmontagem e montagem de um feixe de trocador de calor, mas sim, uma sequência de etapas onde um procedimento pré-elaborado deve ser seguido. Importante que todas essas etapas sejam realizadas por empresas especializadas para que seja garantida a confiabilidade do serviço.

Esta manutenção ajuda a evitar altos custos que ocorreriam caso houvesse uma perda total do equipamento, através da necessidade de compra de um novo. Dessa forma a manutenção preventiva de um trocador de calor sempre será uma grande vantagem para os empresários que possuem este tipo de equipamento em sua planta, pois é possível reduzir custos e evitar gastos desnecessários.

Portanto, o presente trabalho demonstra a grande importância deste serviço em equipamentos nas refinarias, pois permite a continuidade das operações das linhas de processo, aumento da vida útil dos equipamentos, confiabilidade e a diminuição do prejuízo por linhas paradas.

6 Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade que me foi concedida. Sendo Ele o meu alicerce principal para concluir esta etapa de minha vida. A minha família que esteve sempre presente em todos os momentos, oferecendo apoio e incentivo. Aos professores que compõem o Curso de Engenharia Mecânica da UNIFG. Em especial ao meu orientador Luiz Pereira da Costa Neto, pela dedicação, atenção e ajuda no decorrer da elaboração deste presente projeto. E por fim, aos meus companheiros de sala de aula, pelas relações de amizades conquistadas e pelo auxilio mútuo.

Referências bibliográficas

ASME. **ASME SECTION V:** ***Nondestructive examination*****.** Nova Iorque, 2013.

ASME. **ASME SECTION IX:** ***Asme Boiler and pressure vessel cod***. Nova Iorque, 2021.

FBTS, ***1 curso de inspetor de soldagem***. 3ª edição. Rio de Janeiro: PLUBLIT, 2016.

FBTS, ***2 curso de inspetor de soldagem***. 3ª edição. Rio de Janeiro: PLUBLIT, 2016.

ISO. **ISO 16812:** ***Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Shell-and-tube heat exchangers*****.** Genebra, 2007.

SANTOS, Valdir. ***Protuário para projeto e fabricação de equipamentos industriais***. 1ª edição. São Paulo: Icone Editora, 2010.

TEMA. ***Standards of the tubular exchanger manufacturers association*****.** 2019.

PETROBRAS. **N466: Projeto de trocador de calor casco e tubos.** 2011.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio; MELLO, Fábio. ***Soldagem****: processos e Metalurgia*. São Paulo: Edgard Bluche Ltda, 1992.

ARAÚJO, Everaldo. **Trocador de Calor**. São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2002.

TERMOTEK. Manutenção de trocadores de calor. São Paulo. Disponível em: < https://www.termotek.com.br/manutencao-trocadores-calor>. Acesso em: 25 mai. 2023.

DENOX. Manutenção em trocadores de calor. São Paulo. Disponível em: <https://www.denoxtrocadores.com.br/manutencao-trocador-calor>. Acesso em: 25 mai. 2023.