



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

CARLOS ROBERTO CAVALCANTI REIS NETO

**ESTUDO DE PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS DE TUBOS DE
PERMUTADORES DE CALOR**

Recife

2025

CARLOS ROBERTO CAVALCANTI REIS NETO

**ESTUDO DE PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS DE TUBOS DE
PERMUTADORES DE CALOR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para a obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Luiz Adeildo da Silva Júnior

Recife
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Reis Neto, Carlos Roberto Cavalcanti.

Estudo de padronização de materiais de tubos de permutadores de calor /
Carlos Roberto Cavalcanti Reis Neto. - Recife, 2025.

69 : il., tab.

Orientador(a): Luiz Adeildo da Silva Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica -
Bacharelado, 2025.

Inclui anexos.

1. Permutadores de calor. 2. Ensaios não destrutivos. 3. Material de tubos. 4.
Corrosão. I. Silva Júnior, Luiz Adeildo da. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

CARLOS ROBERTO CAVALCANTI REIS NETO

**ESTUDO DE PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS DE TUBOS DE
PERMUTADORES DE CALOR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial para a
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Mecânica.

Aprovado em: 26/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Luiz Adeildo da Silva Júnior (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Francisco Espedito de Lima (Avaliador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Janaina Moreira de Meneses (Avaliadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

Este estudo analisa a padronização de materiais utilizados em feixes de tubos de permutadores de calor, bem como a influência das dimensões desses tubos frente a susceptibilidade a processos corrosivos, quando se comparam permutadores com as mesmas características construtivas e operacionais. O objetivo geral foi verificar se havia padronização dos materiais que compõem os trocadores de calor de uma planta de refino, o que induz à redução no estoque de material e uma possível uniformização das taxas de corrosão entre permutadores operando sob as mesmas condições operacionais. Para atingir esse objetivo, a metodologia utilizada foi a análise documental de um conjunto de dados obtidos em relatórios de inspeções anteriores, identificação dos materiais disponíveis no mercado e suas especificações, além do levantamento dos fatores de influência na seleção destes materiais. Os resultados apontaram que a metodologia elaborada é propícia, possibilitando uma análise crítica dos materiais e do padrão na seleção destes. A padronização dos materiais dos tubos dos permutadores mostrou ter grande potencial para redução do tempo e custo com manutenção, uma vez que reduzindo a variável referente aos tipos de materiais, o processo torna-se mais eficiente e os custos relacionados aos produtos estocados diminuí, mantendo um elevado nível de segurança dos processos. Conclui-se que este estudo contribui para a otimização de processos de manutenção, destacando a importância da padronização de materiais dos permutadores de calor numa planta industrial.

Palavras-chave: Permutadores de calor; ensaios não destrutivos; material de tubos; corrosão.

ABSTRACT

This study analyzes the standardization of materials used in heat exchanger tube bundles, as well as the influence of the dimensions of these tubes on their susceptibility to corrosive processes, when comparing exchangers with the same design and operational characteristics. The overall objective was to verify whether there was standardization of the materials comprising the heat exchangers in a refining plant, which would lead to a reduction in material inventory and a possible uniformity in corrosion rates among exchangers operating under the same conditions. To achieve this objective, the methodology used was a document analysis of data obtained from previous inspection reports, identification of materials available on the market and their specifications, as well as the investigation of the factors influencing the selection of these materials. The results indicated that the methodology developed is appropriate, enabling a critical analysis of the materials and the standards in their selection. The standardization of heat exchanger tube materials showed great potential for reducing maintenance time and costs, as limiting the variable related to material types makes the process more efficient and reduces inventory-related costs, while maintaining a high level of process safety. It is concluded that this study contributes to the optimization of maintenance processes, highlighting the importance of material standardization in heat exchangers within an industrial plant.

Keywords: Heat exchangers; non-destructive testing; pipe material; corrosion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Permutador de calor casco e tubo.....	15
Figura 2:	Esquema simplificado dos componentes de permutador de calor casco e tubo.....	15
Figura 3:	Permutador de calor casco e tubo com espelho fixo.....	16
Figura 4:	Permutador de calor casco e tubo com espelho flutuante (perfil).....	16
Figura 5:	Permutador de calor casco e tubo com tubo em U (perfil).....	17
Figura 6:	<i>Air cooler</i> (Resfriador a ar).....	18
Figura 7:	Esquema simplificado dos componentes de permutador de calor air cooler (perfil).....	18
Figura 8:	Presença de corrosão uniforme em permutador de calor.....	20
Figura 9:	Presença corrosão por pites em tubo de permutador de calor.....	21
Figura 10:	Corrosão por par galvânico em feixe de tubos e espelho de permutador de calor.....	21
Figura 11:	Corrosão por Fissuras em tubo de permutador de calor.....	22
Figura 12:	Presença de Corrosão por Erosão em tubos em U de permutador de calor.....	22
Figura 13:	Presença de trincamento em tubo de permutador de calor devido a Corrosão sob Tensão (a) Superfície externa (b) Superfície interna.....	23
Figura 14:	Operador realizando Ensaio de Correntes Parasitas.....	25
Figura 15:	Esquema do funcionamento da propagação do pulso no Ensaio IRIS.....	25
Figura 16:	Fluxograma da revisão sistemática da literatura usada como referência.....	27
Figura 17:	Modelos de amostragem de tubos conforme classes de marcação.....	31
Figura 18:	Presença corrosão por erosão na região da curva em U de permutador de calor.....	34
Figura 19:	Comparação dos processos corrosivos em diferentes materiais de tubos.....	34
Figura 20:	Efeito da relação entre as áreas catódica e anódica.....	37
Figura 21:	Corrosão galvânica devido ao contato entre metais diferentes do espelho e dos tubos de troca térmica.....	37
Figura 22:	Inspeção visual externa dos tubos de troca térmica.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condições operacionais e construtivas dos permutadores.....	33
Tabela 2: Relação entre os fluidos de processo e os materiais dos tubos utilizados nos permutadores de calor analisados.....	39

LISTA DE ABREVIACOES

ABENDI	Associao Brasileira de Ensaio s No Destrutivos e Inspeo es
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
CP	Corrente Parasita
DIN	<i>Deutsches Institut fr Normung</i>
ENDs	Ensaio s No Destrutivos
HIC	<i>Hydrogen Induced Cracking</i>
IRIS	<i>Internal Rotary Inspection System</i> (Sistema de Inspeo Rotativa Interna)
JIS	<i>Japanese Industrial Standards</i>
MTE	Ministrio do Trabalho e Emprego
PIM	Planos de Inspeo e Manuteno
PLH	Profissional Legalmente Habilitada
SAE	<i>Society of Automobile Engineers</i>
SUS	<i>Stainless Unifying Steel</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1.	Objetivos	12
1.1.1.	Objetivo geral e específicos	12
1.2.	Justificativas	13
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1.	Permutadores de calor.....	14
2.1.1.	Tipos de permutadores de calor	14
2.1.1.1.	Casco e Tubo	14
2.1.1.2.	<i>Air Cooler</i> (resfriador a ar)	17
2.1.2.	Corrosão e os Materiais de tubos de troca térmica	19
2.2.	Ensaio não destrutivo (END).....	19
2.3.	Integridade estrutural de permutadores de calor	20
2.3.1.	Mecanismos de danos.....	20
2.3.2.	Taxa de corrosão e vida residual	23
2.3.3.	Ensaio não destrutivo (END) para tubos de permutadores de calor	24
3.	METODOLOGIA.....	26
3.1.	Classificação da pesquisa	26
3.2.	Etapas da pesquisa	26
3.3.	Métodos de coleta de dados.....	27
3.4.	Levantamento dos fatores de influência na seleção do material de tubos de permutadores de calor	28
3.5.	Identificação das especificações de materiais de tubos de troca térmica	28
3.6.	Modelo de amostragem de tubos de permutadores.....	31
3.7.	Identificação da influência dos aspectos construtivos dos permutadores de calor na taxa de corrosão	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1.	Determinação da vida útil de um feixe de troca térmica	32
4.2.	Levantamento dos fatores de influência na seleção do material de tubos de permutadores de calor	33
4.3.	Avaliação dos dados com base nos fatores de influência na seleção do material de tubos de permutadores de calor	35

4.4.	Efeito da razão da área de superfície na taxa de corrosão dos permutadores de calor	36
4.5.	Verificação da padronização de materiais de tubos de troca térmica ...	38
5.	CONCLUSÃO.....	41
6.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
	ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR.....	51
	ANEXO B – CATÁLOGO DE TUBOS DE AÇO CARBONO	58
	ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL	59

1. INTRODUÇÃO

Permutadores ou trocadores de calor são dispositivos usados para transferir energia térmica entre dois ou mais fluidos em função de gradientes de temperaturas entre as correntes de fluidos. Suas configurações podem ser bastante diversificadas, sendo projetadas para atender as necessidades de complexidade tecnológicas, geométricas e dimensões requeridas (Ozisik, 1985).

Como esses dispositivos frequentemente operam em ambientes agressivos, com altas temperaturas e fluidos corrosivos, os materiais metálicos podem sofrer degradação ao longo do tempo, podendo levar à perda de material, formação de vazamentos e redução da transferência térmica, resultando em maior consumo de energia e custos de manutenção elevados. A corrosão é um dos principais desafios na operação e manutenção de permutadores de calor, podendo comprometer sua eficiência e vida útil (Callister, 2016).

Analisando a vasta gama de materiais que são suscetíveis a passar pelo processo de corrosão, o aço carbono é o material mais utilizado no setor industrial na totalidade, sendo o destino de 20% do aço produzido a reposição de peças dos equipamentos corroídos. As indústrias de petróleo e petroquímica são as mais impactadas por agentes corrosivos, resultando em prejuízos que afetam toda a cadeia produtiva, partindo da extração até o refino. (Frauches-Santos *et al.*, 2014).

É de extrema importância a previsão, a identificação e o acompanhamento de mecanismos de danos que levam a falhas em tubos de permutadores e essa tarefa é realizada por meio de realização de ensaios não destrutivos (ENDs) periodicamente. Auxiliando a inspeção visual, os ensaios de ultrassom por IRIS (*Internal Rotary Inspection System*) e o ensaio de CP (Correntes Parasitas), são as técnicas mais utilizadas na verificação da espessura remanescente das paredes dos tubos individualmente, possibilitando estimar sua vida útil residual e programar manutenções preventivas. (Ezuber e Hossain, 2023).

Apesar da assertividade na definição da vida útil de cada feixe de tubo ser fundamental, não é uma tarefa direta e esta avaliação é subjetiva devido à grande variedade de materiais empregados e às diversas condições operacionais às quais os permutadores estão submetidos. Considerando a importância destes equipamentos, além de colocar em risco a segurança, falhas podem acarretar em altos custos e paradas operacionais, ressaltando a necessidade de aprimorar as técnicas de

inspeção e padronização dos parâmetros construtivos desses componentes para garantir maior longevidade operacional e segurança.

Este trabalho complementa as pesquisas realizadas e aos objetivos alcançados nos trabalhos produzidos por Alves (2024) e Santos (2024), incluindo agora análise da padronização de materiais de tubos e a possível influência estatística do comprimento dos tubos, diretamente relacionado com a área externa e interna desses, para com a severidade dos processos corrosivos, ao ter taxas de corrosão idênticas entre permutadores de tamanhos diferentes. Complementando as contribuições anteriores, este estudo também tem a finalidade de avaliar a capacidade dos materiais utilizados nos feixes de tubos dos permutadores de calor de resistir aos fluidos num processo de refino e analisar a relação entre custo e o benefício proporcionado por eles.

Para isto, foi empregada uma metodologia que envolveu análise documental de dados de permutadores de calor, consultas a normas técnicas e cálculos estatísticos dos danos causados por processos corrosivos em tubos de permutadores de calor.

Por meio dos dados obtidos com as inspeções dos permutadores, foi possível padronizar os materiais utilizados na construção dos equipamentos de acordo com sua aplicação, reduzindo os custos relacionados a variedade de tubos estocados. Este estudo também permitiu a capacidade de criar uma relação entre material, resistência a corrosão e custo, contribuindo para a aplicação do mesmo no mercado.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral e específicos

Relacionar a associação da resistência a corrosão e os materiais dos tubos de permutadores de calor, analisando a viabilidade de padronização destes materiais, bem como a possibilidade de reduzir a variedade de tubos estocados, visando diminuir os custos com estoque. Além disso, traçar diretrizes que exponham a conexão do comprimento destes dispositivos com a intensidade dos processos corrosivos.

A fim de alcançar o objetivo geral, os objetivos específicos foram:

- Identificar os materiais comumente utilizados nos tubos de troca térmica para determinadas aplicações, padronizar esses materiais para uma mesma unidade operacional.
- Avaliar se há relação relevante entre o comprimento dos tubos (área da superfície de contato dos fluidos) com os materiais, avaliar propensão a processos corrosivos para permutadores idênticos operando nas mesmas condições operacionais (tamanhos distintos).
- Propor, para uma planta industrial, a otimização da padronização dos materiais utilizados nos permutadores de calor de modo a reduzir os custos de manutenção e diminuir a variedade de tubos armazenados.

1.2. JUSTIFICATIVAS

Devido ao vasto uso dos permutadores em processos industriais, torna-se fundamental a padronização dos materiais utilizados na construção destes dispositivos para melhorar a assertividade na escolha desses equipamentos conforme as necessidades de cada polo industrial.

Segundo a Norma Regulamentadora (NR-13 – Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento) do Ministério do Trabalho e Emprego, é de responsabilidade técnica do engenheiro mecânico criar Planos de Inspeção e Manutenção (PIM), supervisionar ensaios não destrutivos e analisar os riscos relacionados à integridade estrutural de equipamentos como caldeiras, vasos de pressão, tanques metálicos de armazenamento e tubulações.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico será desenvolvida a base teórica necessária ao trabalho no que se refere a permutadores de calor, ensaios não destrutivos, processos de inspeção e manutenção, danos causados por corrosão, avaliação de vida residual, normas regulatórias aplicáveis e os trabalhos de Alves (2024) e Santos (2024), para os quais este trabalho tem a pretensão de completar, na busca por uma metodologia de inspeção e avaliação de feixes de troca térmica de permutadores de calor mais assertiva.

2.1. PERMUTADORES DE CALOR

Permutadores de calor são equipamentos destinados à transferência de calor entre dois ou mais fluidos que estão em temperaturas distintas, sem que haja mistura entre eles. A transmissão de calor é feita por tubos ou placas, geralmente metálicas, capazes de suportar as condições de trabalho do projeto (DeWitt, 2017). Esses dispositivos são bastante utilizados nas indústrias petroquímica e de geração de energia, otimizando processos industriais, reduzindo custos graças a uma melhor eficiência na recuperação de energia e, assim, fomentando a sustentabilidade (Ludwig, 2001; Sabino, 2008).

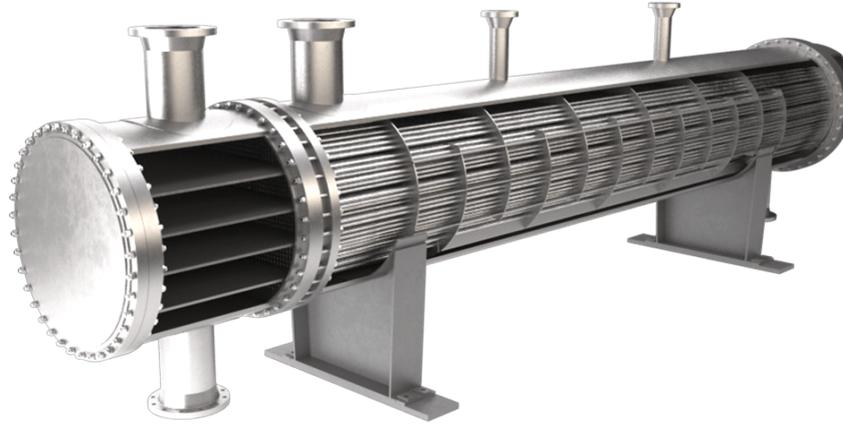
2.1.1. Tipos de permutadores de calor

Diferentes aplicações requerem tipos de permutadores de calor distintos e configurações construtivas diversas para estes equipamentos e a escolha destes tipos deve considerar as características dos fluidos, pressão e temperatura de operação, custo e a capacidade de manutenção (Souza, 2018). A classificação dos permutadores de calor é feita segundo os processos de transferência de calor ou conforme o tipo de construção.

2.1.1.1. Casco e Tubo

O tipo mais encontrado nas aplicações industriais é o permutador de calor casco e tubo. Contendo uma vasta quantidade de tubos envoltos por um casco com os eixos posicionados paralelamente entre si, onde os fluidos circulam interna e externamente (Çengel, 2012), conforme observado na Figura 1.

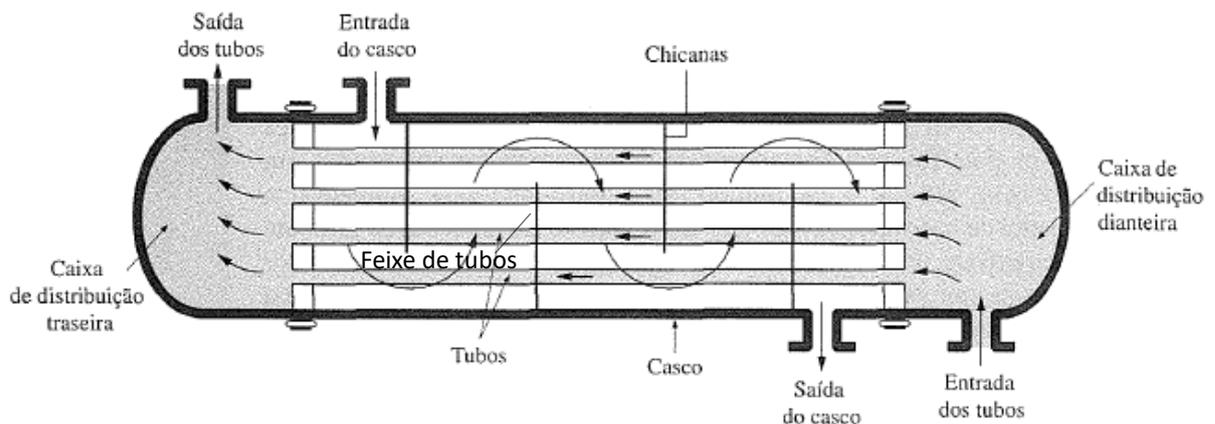
Figura 1: Permutador de calor casco e tubo



Fonte: Äager (2025).

Nesses dispositivos a transferência de calor ocorre através do fluxo de um fluido através dos tubos, enquanto o outro fluido escoava para fora dos tubos através do casco. É comum posicionar chicanas no casco a fim de forçar o escoamento do fluido ao longo do casco, aumentando a transferência de calor e mantendo o espaçamento entre os tubos (Çengel; Ghajar, 2012; Silveira, 2008), como pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2: Esquema simplificado dos componentes de permutador de calor casco e tubo

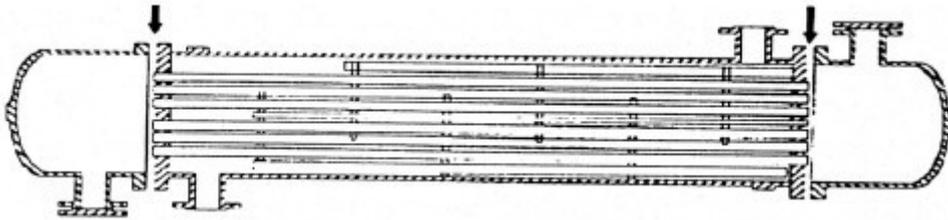


Fonte: Çengel (2012).

Esses permutadores são classificados em 3 subtipos considerando seus parâmetros de construção (Horta e Sousa,2004):

- Permutadores com espelho fixo: o feixe de tubos é soldado ao casco, indicado para processos em que o gradiente de temperatura entre os fluidos não é grande e a lateral do casco não precisa de limpeza mecânica (Figura 3).

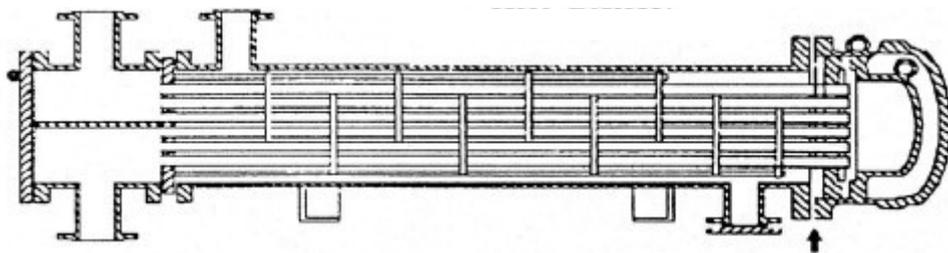
Figura 3: Permutador de calor casco e tubo com espelho fixo



Fonte: Horta & Sousa (2004).

- Permutadores com espelho flutuante: um dos espelhos fica fixado ao casco, enquanto o outro fica livre para dilatação longitudinal, independentemente do costado, aliviando o estresse térmico e permitindo a remoção do feixe de tubos para manutenção (Figura 4).

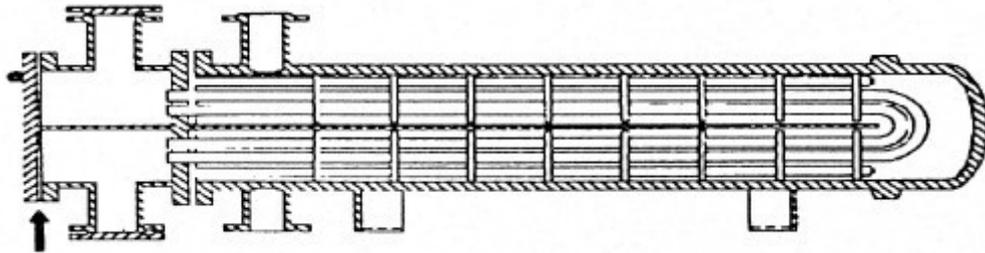
Figura 4: Permutador de calor casco e tubo com espelho flutuante (perfil)



Fonte: Horta & Sousa (2004).

- Permutadores com tubos em U: cada tubo é dobrado em forma de “U”, com ambas as extremidades presas às partes superior e inferior da mesma placa de tubo, eliminando o estresse térmico (Figura 5).

Figura 5: Permutador de calor casco e tubo com tubo em U (perfil)

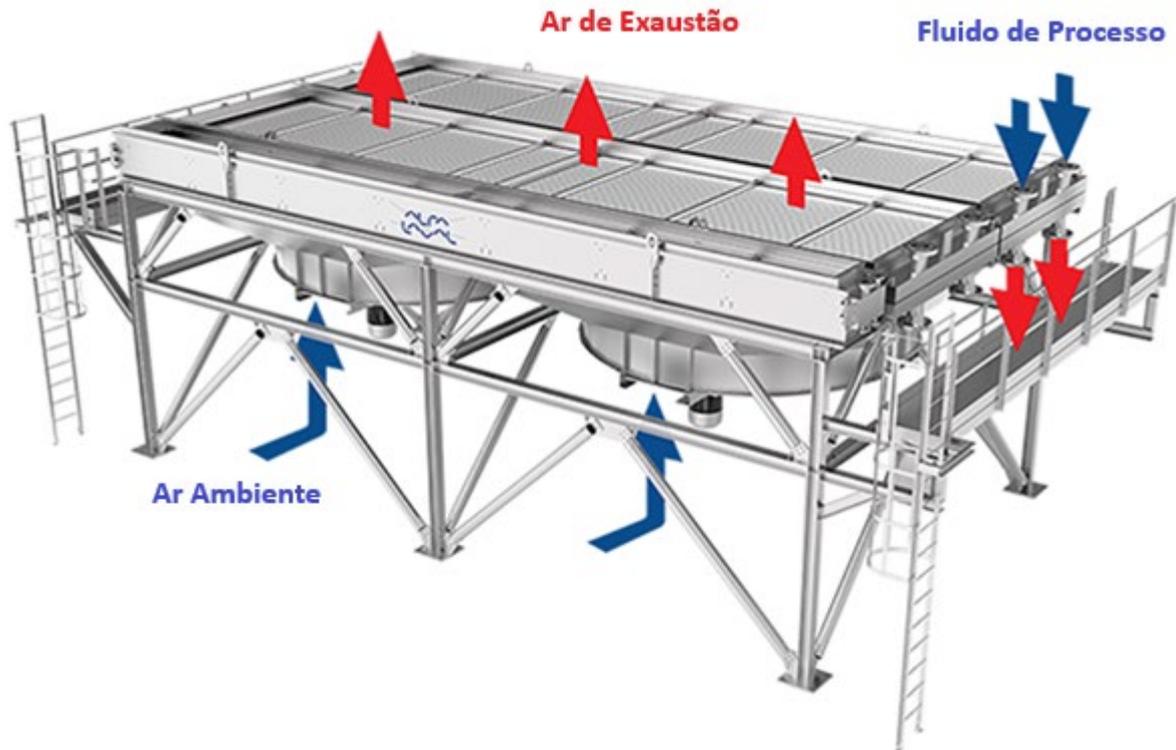


Fonte: Horta & Sousa (2004).

2.1.1.2. *Air Cooler* (resfriador a ar)

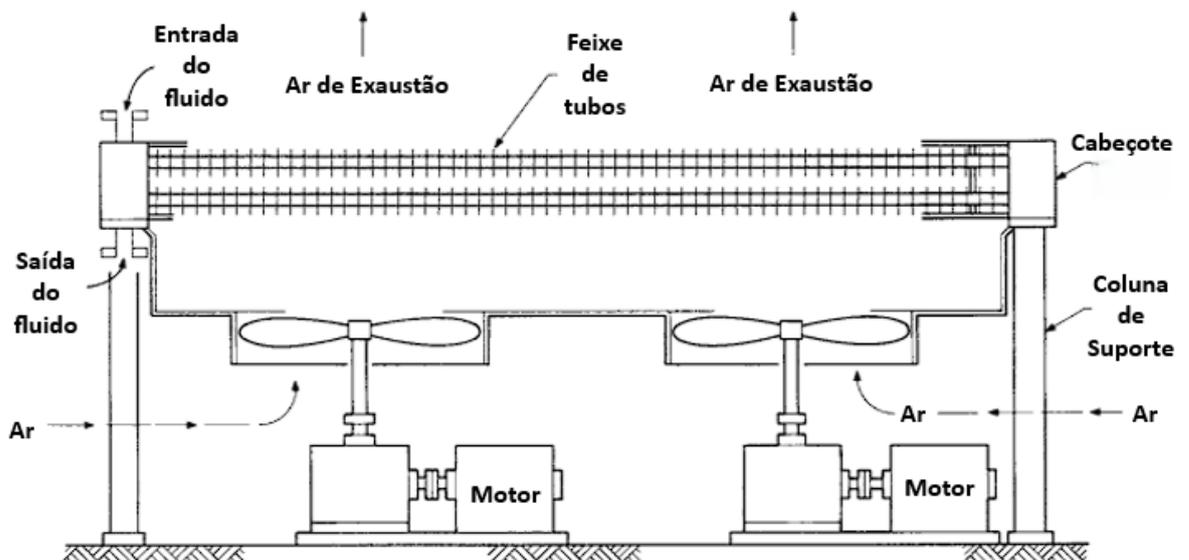
Os permutadores de calor *air-coolers* são usados para transferir calor do fluido do processo, contido em feixe de tubos, para o ar ambiente. O ar atmosférico escoia perpendicularmente por meio de uma seção horizontal dos tubos, removendo calor no processo (Figuras 6 e 7). Como o ar não transfere muito bem o calor, pode-se utilizar ventiladores para melhorar o fluxo de ar, bem como adicionar aletas externas aos tubos, aumentando a área da superfície de transferência de calor. Como esse tipo de permutador não é tão eficiente e ocupa bastante espaço na planta, eles costumam ser utilizados quando a troca térmica com outros fluidos não é viável.

Figura 6: *Air cooler* (Resfriador a ar)



Fonte: Adaptado de Alfa Laval (2025).

Figura 7: Esquema simplificado dos componentes de permutador de calor *air cooler* (perfil)



Fonte: Adaptado de Chemical Engineering 114 (1978).

Na ocorrência de um vazamento nos tubos do resfriador a ar, a perda de contenção do fluido será diretamente para a atmosfera ao invés do interior de um casco, representando um risco tanto ambiental quanto em relação à segurança, sendo imprescindível a parada imediata para manutenção, interferindo nas etapas de produção.

2.1.2. Corrosão e os Materiais de tubos de troca térmica

A corrosão trata-se da deterioração dos materiais, geralmente metálicos, devido à ação física, química ou eletroquímica, podendo ser agravada devido a esforços mecânicos. Tal processo ocorre alterando espontaneamente a durabilidade e desempenho dos metais (Rauches-Santos, 2014).

Os tubos dos permutadores de calor devem ser feitos com materiais que conduzem bem o calor e que possuam uma boa resistência mecânica, entre os materiais mais utilizados destaca-se o aço-carbono, aço inoxidável, cobre e suas ligas, titânio, ligas de níquel, latão e cerâmica. O que irá determinar qual material será utilizado em cada tipo de equipamento são os requisitos técnicos, econômicos e de segurança operacional, como, por exemplo, a pressão, temperatura, velocidade de escoamento do fluido e eficiência na transferência de calor (Thulukkanam, 2013).

2.2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (ENDs)

Conforme a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI, 2025), consideram-se Ensaios Não Destrutivos (ENDs) as técnicas utilizadas na inspeção de materiais e equipamentos a fim de detectar possíveis falhas ou discontinuidades como poros, trincas, inclusões de materiais nos cordões de solda ou desconformidades nas propriedades estruturais, o que pode levar à perda de resistência e falha do material.

Segundo a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME, 2019), as técnicas mais utilizadas em caldeiras são as inspeções visuais, radiografia industrial, ultrassom e termografia. Já a norma N-2511 (Petrobras, 2024) recomenda primeiramente uma inspeção visual dos tubos e em seguida a realização de Ensaios Não Destrutivos (ENDs).

2.3. INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE PERMUTADORES DE CALOR

A integridade mecânica estrutural de um equipamento é a capacidade deste suportar as condições de operação de modo a não haver falhas no processo (Reynolds, 1993). Cabe a NR-13 regular as diretrizes para garantir o funcionamento correto desses dispositivos e aumentar sua durabilidade, mantendo a segurança dos operadores.

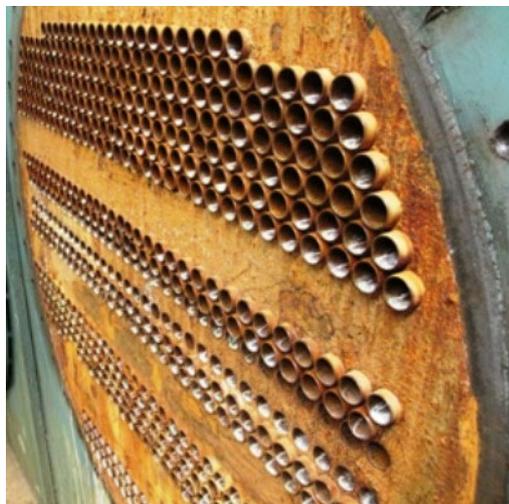
2.3.1. Mecanismos de danos

Mecanismos de danos ou de degradação são os problemas presentes vistos nos equipamentos de processos, partindo de um processo corrosivo, trincas, incrustações ou até uma combinação destes fatores (IBP, 2021).

Na indústria do petróleo e química, a corrosão, alterações metalúrgicas e falhas mecânicas são os tipos mais comuns de mecanismos de danos encontrados nos permutadores de calor em consequência das extremas condições operacionais que estes equipamentos são submetidos (Shaikh *et al.*, 2023).

Os tipos mais comuns de corrosão são: Corrosão Uniforme (Figura 8), Corrosão por Pite (Figura 9), Corrosão Galvânica (Figura 10), Corrosão por Fissuras (Figura 11), Corrosão Intergranular, Corrosão por Erosão (Figura 12), Corrosão por Concentração Celular e Corrosão sob Tensão (Figura 13) (Gentil, 2011).

Figura 8: Presença de corrosão uniforme em permutador de calor



Fonte: Hita (2020)

Figura 9: Presença corrosão por *pites* em tubo de permutador de calor



Fonte: Hita (2020).

Figura 8: Corrosão por par galvânico em feixe de tubos e espelho de permutador de calor



Fonte: Hita (2020).

Figura 9: Corrosão por Fissuras em tubo de permutador de calor



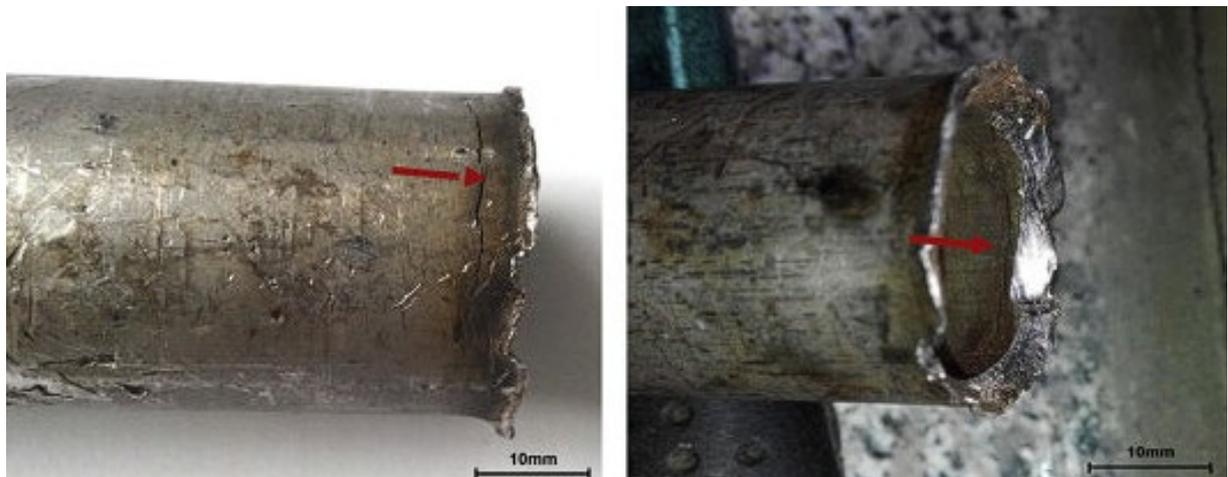
Fonte: Hita (2020).

Figura 10: Presença de Corrosão por Erosão em tubos em U de permutador de calor



Fonte: Fluid Dynamics (2025).

Figura 11: Presença de trincamento em tubo de permutador de calor devido a Corrosão sob Tensão
(a) Superfície externa (b) Superfície interna



Fonte: Adaptado de Xu *et al.* (2015).

2.3.2. Taxa de corrosão e vida residual

O cálculo da taxa de corrosão nos tubos de feixes de permutadores é uma importante ferramenta para avaliar se um determinado material é apropriado para a construção desses equipamentos e definir a vida residual útil deles. Para isso alguns parâmetros são necessários como a medição da espessura dos tubos via ensaios não destrutivos e condições de manutenção e, assim, estimar estatisticamente a duração operacional do dispositivo (Horta & Sousa, 2004).

Para calcular a taxa de corrosão do feixe de tubos utiliza-se a fórmula a seguir, adaptada do método padrão API 570 (API, 2023):

$$TC = \frac{e_{nom} - e_{mín,atual}}{t} \quad (1)$$

Onde, e_{nom} é a espessura nominal (em mm), $e_{mín,med}$ é a espessura mínima (em mm) e t_{acum} é o tempo (em anos) de operação que o feixe acumulou até a data da inspeção.

Já para calcular a vida residual, segundo a NR-13 (MTE, 2014), é estimado um tempo de vida útil restante do equipamento com base em dados obtidos por meio de ensaios e recorre a seguinte fórmula, também adaptada da norma API 570 (API, 2023):

$$VR = \frac{e_{mín,atual} - e_{mín,adm}}{TC} \quad (2)$$

Onde, $e_{mín,adm}$ é a espessura mínima admissível (em mm) calculada de acordo com os critérios de projeto, com base apenas na pressão interna.

A partir desses dados é possível prever e acompanhar a deterioração do equipamento ao longo do tempo, evitando paradas não programadas e garantindo a continuidade operacional do dispositivo. Também se torna possível reduzir custos de manutenção por meio de planos de inspeção e de manutenção preventiva, se adequando a intensidade dos processos corrosivos, além de facilitar a aquisição prévia de peças de reposição e garantir a segurança dos operadores (Velázquez, 2015).

2.3.3. Ensaios não destrutivos (END) para tubos de permutadores de calor

O Ensaio de Correntes Parasitas baseia-se na indução de campos magnéticos por uma bobina ou sonda de corrente elétrica alternada introduzida no interior do tubo do permutador, varrendo a região interna e ao redor desta peça. Quando um material metálico se aproxima da bobina, uma corrente secundária (parasita) será induzida, interferindo no campo magnético. Permitindo colher informações sobre o material do tubo, condutividade elétrica, volume de material e a integridade do mesmo (trincas, falhas, descontinuidades, etc.) (ABENDI, 2019).

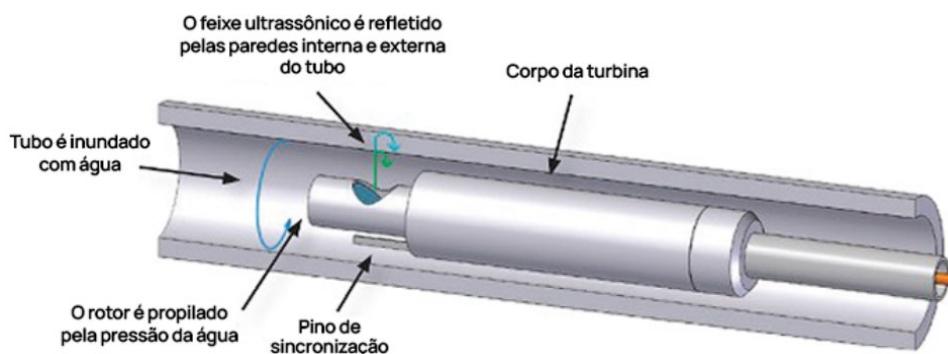
Figura 12: Operador realizando Ensaio de Correntes Parasitas



Fonte: Brasil Inspeção (2025).

O Ensaio IRIS (*Internal Rotary Inspection System*) ou Sistema Interno de Inspeção Rotativa é uma adaptação do ultrassom por imersão tipo pulso eco, nele uma sonda é inserida em um tubo preenchido por fluido e o feixe ultrassônico emitido por um transdutor com uma frequência específica localizada na ponta dessa sonda é refletido num espelho rotativo que por sua vez reflete na superfície do tubo. A diferença entre o tempo necessário para o ultrassom percorrer a distância entre as paredes do tubo é o que determina a espessura deste. (Madureira *et al.*, 2004).

Figura 13: Esquema do funcionamento da propagação do pulso no Ensaio IRIS



Fonte: Araújo Inspeções (2025).

3. METODOLOGIA

Neste tópico, serão identificados o método, os critérios de análise e as etapas desta pesquisa.

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho trata-se de uma pesquisa descritiva com características analíticas que busca relatar e estruturar dados de inspeções de permutadores de calor, reconhecendo as relações entre os dados e padronizando resultados, buscando um melhor entendimento dos fatores de influência e ocorrências.

Esta pesquisa foi realizada com dados compilados obtidos mediante documentação de inspeção de tubos por meio de ensaios IRIS e CP. Por analisar a casos particulares registrados e enumerados para chegar numa conclusão, o método científico aplicado nesta pesquisa é o indutivo.

3.2. ETAPAS DA PESQUISA

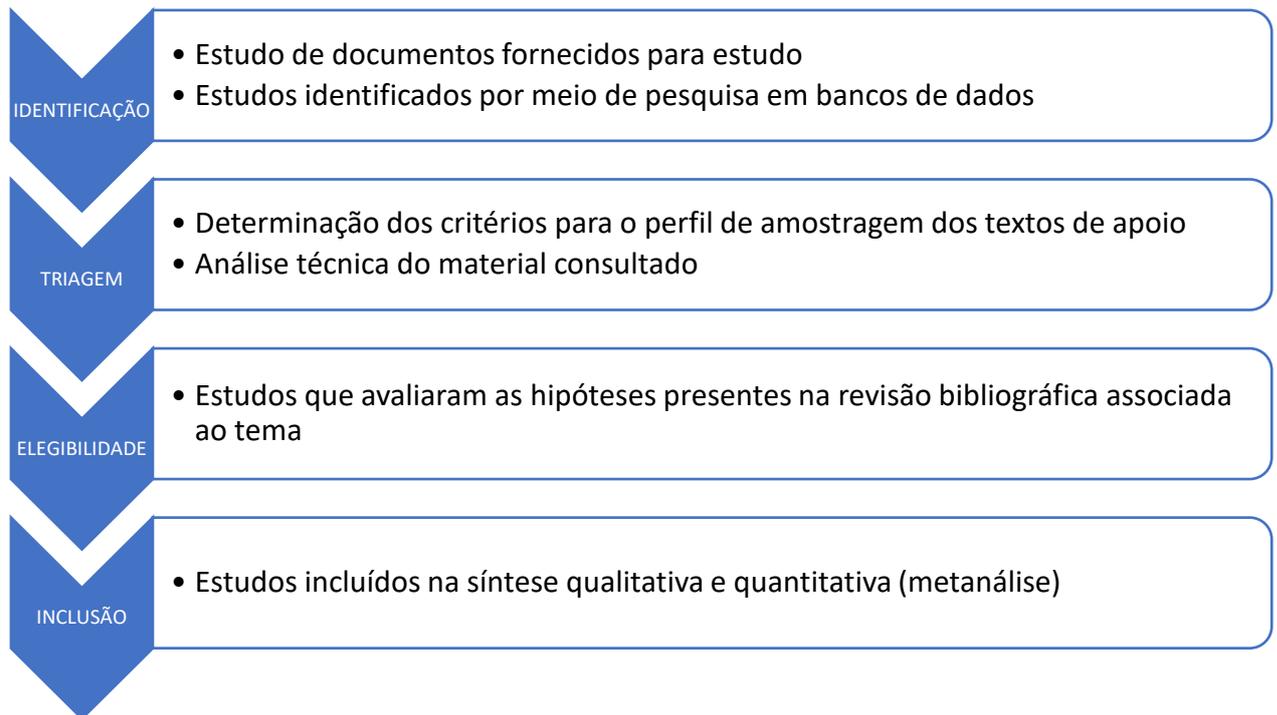
Durante a identificação foram reunidos e compilados os dados e fotos das inspeções dos permutadores de calor estudados, dando ênfase nas regiões que apresentaram falhas críticas, principalmente por processos corrosivos.

Na elegibilidade foram avaliados os estudos que propuseram hipóteses para a padronização dos tubos de troca térmica, bem como a determinação da relação entre as características construtivas dos permutadores de calor e a intensidade da corrosão.

Na etapa de inclusão foram apresentados os resultados obtidos ao decorrer desta pesquisa, além de reunir os resultados alcançados nas inspeções anteriores. Foi avaliada a capacidade da padronização desejada, apresentando também deficiências, uma vez que os dados obtidos neste estudo foram comparados com dados oriundos de um campo amostral mais abrangente para uma validação completa do padrão proposto.

O fluxograma da Figura 16 esquematiza a metodologia utilizada neste trabalho:

Figura 14: Fluxograma da revisão sistemática da literatura usada como referência



Fonte: O autor (2025).

3.3. MÉTODOS DE COLETA DE DADOS

Os dados obtidos para este trabalho são provenientes de documentação pré-existente, de literatura acadêmica e técnica, detalhados no Anexo A, onde estão estruturadas as informações dos permutadores de calor avaliados. Tais informações incluem:

- **Inspeção visual:** foi verificado se havia corrosão, rachaduras ou vazamentos em determinadas regiões e documentado por fotografias, o que se provou fundamental para a identificação de regiões de maior interesse e possíveis padrões no processo corrosivo.
- **Relatórios dos ensaios não destrutivos (ENDs):** foram utilizadas as técnicas de ensaios por Corrente Parasita e IRIS para examinar a integridade estrutural dos tubos, disponibilizando informação a respeito das características dos permutadores, existência de defeitos internos e espessuras residuais das paredes dos tubos. O que proveu dados sobre a vida útil dos tubos de permutadores distintos utilizados em diferentes aplicações, possibilitando criar uma relação entre o nível de degradação com os parâmetros construtivos do equipamento.

- **Análise Comparativa:** com os dados disponíveis, foram feitas análises comparando os diferentes materiais dos tubos de trocas térmicas e suas respectivas capacidades de resistir a corrosão, bem como comparando as características de construção dos equipamentos com a taxa de corrosão e vida residual, o que permitiu vincular as regiões críticas de corrosão com as características específicas dos permutadores de calor.

3.4. LEVANTAMENTO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA NA SELEÇÃO DO MATERIAL DE TUBOS DE PERMUTADORES DE CALOR

Os fatores de influência para a seleção de materiais de tubos de troca térmica considerados para esse trabalho foram os considerados no trabalho de Santos (2025), conforme a seguir:

- **Fluidos e seus contaminantes**
- **Temperatura de operação**
- **Corrosividade do fluido**
- **Toxicidade do fluido**
- **Histórico de manutenções e inspeções**

3.5. IDENTIFICAÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES DE MATERIAIS DE TUBOS DE TROCA TÉRMICA

Visando certificar a qualidade dos produtos e garantir mais segurança para os projetos, alguns órgãos internacionais desenvolvem e publicam normas técnicas para uma vasta gama de materiais. Entre as principais temos:

- **ASTM** (*American Society for Testing and Materials*): organização global que cria e publica normas e especificações para produtos, métodos de teste, sistemas, serviços e materiais, principalmente tubos de aço. Essas normas são utilizadas em diversas indústrias ao redor do mundo, garantindo qualidade, segurança e compatibilidade entre produtos e serviços.
- **ASME** (*American Society of Mechanical Engineers*): enquanto a ASTM foca em normas para materiais e produtos, a ASME é especialista em engenharia. Ela cria códigos que garantem a segurança e qualidade de vasos de pressão,

tubulações e outros componentes mecânicos, desde o projeto até a inspeção e testes.

- **SAE** (*Society of Automobile Engineers*): este órgão é uma referência em normas para a indústria automobilística e áreas correlatas. Seus padrões para aços, por exemplo, são amplamente utilizados na América do Norte e muitas vezes incorporam normas de outras organizações.
- **AISI** (*American Iron and Steel Institute*): sendo mais ativos na criação de especificações para aços até meados dos anos 1990. Eles desenvolveram um sistema de numeração que categoriza os aços com base em sua composição química, tornando a identificação e classificação mais fácil.
- **API** (*American Petroleum Institute*): organização de estabelecimento e manutenção de normas para o setor de petróleo e gás natural do mundo inteiro, sendo reconhecida pelo seu rigor técnico.

A especificação API 5L é um padrão crucial para a indústria de petróleo e gás, definindo as características de tubos de aço soldados e sem costura utilizados para transportar gás natural, petróleo e outros fluidos. Essa especificação abrange uma variedade de graus e tipos de tubos, cada um com suas próprias propriedades e características específicas, garantindo a segurança e a qualidade do transporte desses recursos.

A especificação “L”, que significa “*linepipe*” em inglês, seguida de um número, quando aplicada a materiais de tubos de troca térmica, indica que eles são projetados para oleodutos e gasodutos. Essa especificação garante um padrão de alta qualidade para esse tipo de aplicação, oferecendo maior tenacidade e resistência à fragilização por hidrogênio (HIC) devido ao seu processo de fabricação termomecânico. Esses materiais são ideais para altas pressões e ambientes de serviço ácidos, garantindo segurança e durabilidade em condições desafiadoras. Aqui estão algumas das principais especificações e detalhes dos tubos API 5L:

- **API 5L Grau A:** para aplicações de baixa pressão, não adequado para transporte de gás, água ou óleo.
- **API 5L Grau B:** é o grau mais comumente utilizado para dutos de transmissão de petróleo e gás.

- **Grau API 5L X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70, X80:** são os graus de maior resistência projetados para aplicações mais exigentes.
- **PSL 1 ou PSL 2:** a especificação API 5L define dois níveis de especificação de produto, PSL1 e PSL2, que se diferenciam em diversos aspectos, como processos de fabricação, propriedades químicas e mecânicas, e procedimentos de inspeção e reparo. A principal diferença entre os dois níveis reside na resistência à corrosão, sendo o PSL2 é projetado para ambientes corrosivos severos, enquanto PSL1 é adequado para aplicações menos agressivas. Em termos de inspeção, PSL2 exige rastreabilidade e certificação, enquanto PSL1 possui requisitos menos rigorosos.

A série SUS, do inglês "*Stainless Unifying Steel*", de aços inoxidáveis, é uma classificação definida pela norma japonesa JIS, abreviação do inglês "*Japanese Industrial Standards*". Devido às suas propriedades de alta resistência à corrosão e durabilidade, esses aços são amplamente utilizados em diversas indústrias. A classificação SUS é frequentemente comparada com as classificações de aços inoxidáveis ASTM e AISI, utilizadas em outras regiões do mundo.

As Normas DIN são desenvolvidas pelo *Deutsches Institut für Normung* na Alemanha, sendo que todos os padrões e especificações de aço alemães são representados pelas letras DIN seguidas de um código numérico ou alfanumérico.

No que diz respeito a composições químicas dos materiais, a SAE e a AISI são as responsáveis pelas especificações dos aços carbono e ligas, sendo incluídas nas especificações ASTM para barras, fios e tarugos para forjamento. Aqueles órgãos não consideram as propriedades mecânicas, pois estas são muito variáveis, especializando-se somente nos aspectos da composição química e designando os materiais por meio de uma representação por códigos que refletem essa composição.

Já os aços inoxidáveis da série 200 possuem menor resistência à corrosão que os da série 304 devido à sua menor concentração de níquel. Embora funcionais, a preferência por aços 304 indica a busca por um material de qualidade superior. Para evitar fraudes na compra, recomenda-se o teste com gel decapante para garantir a autenticidade do produto.

Ao se referir a especificação que define a dimensão da seção transversal de um tubo existem vários padrões de bitola, incluindo o BWG (*Birmingham Wire Gauge*),

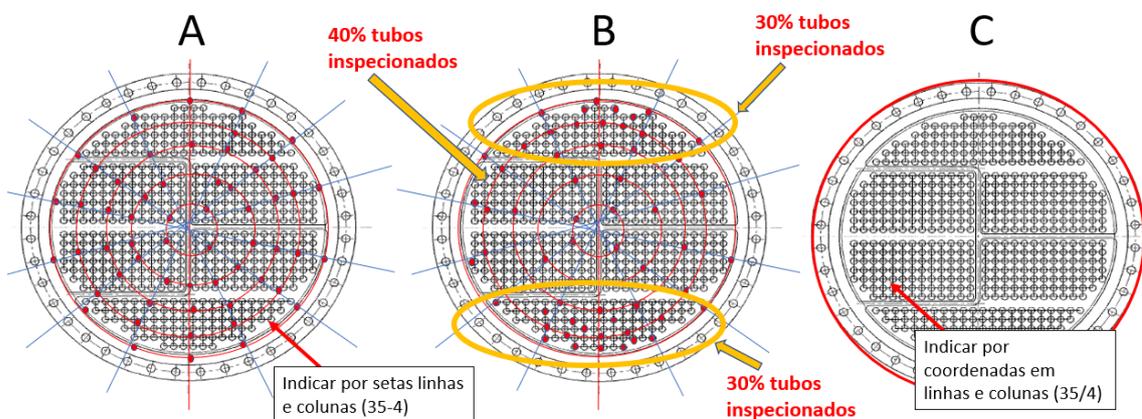
SWG (*Standard Wire Gauge*) e o AWG (*American Wire Gauge*). Essas especificações são utilizadas para determinar a espessura dos tubos de permutadores de calor.

3.6. MODELO DE AMOSTRAGEM DE TUBOS DE PERMUTADORES

O modelo de amostragem dos tubos será o considerado no trabalho de Alves (2024), que propõe três classes de amostragem baseadas em fatores como condições operacionais, histórico de manutenção e características dos fluidos e equipamentos, conforme abaixo:

- **Classificação de amostragens por classes (A, B e C):** foram definidas três classes de amostragem que determinam a distribuição das amostras e se especificam em amostragem uniforme, amostragem direcionada ou inspeção completa (100% dos tubos), respectivamente.

Figura 15: Modelos de amostragem de tubos conforme classes de marcação



Fonte: Alves (2024)

- **Definição de tamanhos de amostras:** um modelo foi indicado como diretriz inicial para determinação dos tamanhos das amostras, havendo sido previamente aplicado durante as inspeções iniciais dos permutadores em estudo, devendo ser refinado nas inspeções futuras. Ele explora a relação entre o número de tubos e a quantidade de amostras sendo documentado em tabela. Essa relação não foi considerada absoluta, visto que cada permutador deve ser avaliado individualmente, considerando os fatores de influência e as condições

específicas do equipamento. Para tanto, também foram apontados os fatores que influenciam na determinação e variação do tamanho amostral, devendo ser analisados a partir da Tabela de Influências e Ocorrências por Permutador.

3.7. IDENTIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DOS PERMUTADORES DE CALOR NA TAXA DE CORROSÃO

A identificação da influência dos aspectos construtivos dos permutadores de calor na taxa de corrosão foi feita a partir de uma visão teórica, reunindo os dados coletados por meio da execução dos ensaios não destrutivos, analisando e reunindo os resultados sucintamente.

Os dados coletados foram dispostos em tabelas, nelas foi possível encontrar a vida residual dos tubos e conseqüentemente a taxa de corrosão destes. Nas tabelas também foram dispostos aspectos construtivos dos permutadores de calor, na forma de comprimento, espessura e diâmetro externo dos tubos de troca térmica.

Foi feita então a comparação dos dados de vida residual e taxa de corrosão dos tubos descritos anteriormente com os parâmetros necessários para descrever a superfície de contato entre os tubos e o fluido de trabalho para, assim, identificar a relação entre os mesmos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico, com os dados obtidos durante o estudo e detalhados no Anexo A, os resultados serão expostos levando a uma análise e identificação de possíveis padrões encontrados nos materiais dos tubos de troca térmica, além de quantificar a relevância dos aspectos construtivos dos permutadores de calor para a taxa de corrosão desses tubos.

4.1. DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DE UM FEIXE DE TROCA TÉRMICA

O cálculo da vida útil de um feixe de troca térmica é feito a partir das vidas úteis de todos os tubos, considerando a quantidade total da amostragem. Na tabela 1 estão os dados a respeito das condições operacionais e construtivas dos permutadores de calor que serão relevantes para este cálculo.

Tabela 1: Condições operacionais e construtivas dos permutadores

Permutador	Fluido do casco	Fluido dos tubos	Material dos tubos	Tipo/formato do feixe	Tempo de operação (anos)
10	Água	Salmoura	SA-789-UNS S32750	Reto	6,3
18	Petróleo	Diesel Pesado	SA-249-TP317L	Flutuante	6,3
106	Nafta Leve	Água de resfriamento	SA-179	Flutuante	6,3
121	Hidrocarboneto	Vapor de água	AS-268-TP410S	Tipo U	6,3
130	Vapor de água	Água de resfriamento	SA-179	Reto	6,3

Fonte: O autor (2025).

4.2. LEVANTAMENTO DOS FATORES DE INFLUÊNCIA NA SELEÇÃO DO MATERIAL DE TUBOS DE PERMUTADORES DE CALOR

Este tópico é baseado no trabalho *Identificação de Fatores de Influência para Modelo de Amostragem para Ensaios Não Destrutivos em Feixes de Tubos de Permutadores Calor*, elaborado por Santos (2025). Os fatores de influência na seleção do material de tubos de permutadores de calor englobam tanto os aspectos construtivos do equipamento, como a quantidade de tubos e o tipo de feixe, quanto as condições operacionais do dispositivo e seu histórico de manutenção.

Tais fatores são abordados de forma mais detalhada e estruturada a seguir:

- **Identificação de regiões críticas de acúmulo de resíduos por toda a extensão do feixe:** identificar pontos mais suscetíveis a deposição de contaminantes, principalmente nas regiões curvas, pois esses locais tendem a favorecer processos corrosivos devido à mudança na direção do fluido, aumentando a turbulência e desgaste mecânico (Figura 18);

Figura 16: Presença corrosão por erosão na região da curva em U de permutador de calor



Fonte: Zhang *et al.* (2021b)

- **Material dos tubos:** de modo geral, os aços carbono, as ligas de cobre e de alumínio são menos resistentes à corrosão, portanto é necessário ter mais cuidado ao selecionar esses materiais para regiões propícias a ataque químico, como visto na Figura 19;

Figura 17: Comparação dos processos corrosivos em diferentes materiais de tubos



Fonte: Adaptado de SilcoTek (2024)

- **Quantidade de tubos no feixe:** quanto maior for o número de tubos, maior será a superfície de contato entre o material dos tubos e os fluidos do processo, tornando mais propenso os processos corrosivos;
- **Temperatura de operação:** elevadas temperaturas podem acelerar reações de corrosão, por aumentarem a velocidade das reações eletroquímicas, além

disso, altas temperaturas também podem degradar revestimentos aplicados sobre o material, tornando o metal mais suscetível à corrosão;

- **Nível de corrosividade do fluido:** valores extremos de pH, tanto altamente ácido quanto altamente alcalino, podem levar ao aumento da corrosão. O pH influencia tanto as reações anódicas devido à dissolução de íons metálicos em condições ácidas, quanto as catódicas pela redução no cátodo em condições alcalinas;
- **Toxicidade dos fluidos:** quando o processo envolve fluidos tóxicos faz-se necessário um maior cuidado com o material selecionado para os tubos de troca térmica, pois vazamentos podem colocar em risco a segurança dos operadores;
- **Histórico de manutenções anteriores:** o histórico de manutenções fornece informações a respeito dos problemas ocorridos, bem como a sua frequência, ao longo do tempo. Com isso é possível fazer uma escolha mais assertiva do material selecionado para os tubos do permutador de calor, pois a repetição dos problemas pode indicar uma vulnerabilidade do material.

4.3. AVALIAÇÃO DOS DADOS COM BASE NOS FATORES DE INFLUÊNCIA NA SELEÇÃO DO MATERIAL DE TUBOS DE PERMUTADORES DE CALOR

Destaca-se a importância do mapeamento dos fatores de influência no processo de seleção de materiais de tubos de troca térmica a fim de otimizar a manutenção e redução dos custos. Muitas das especificações da ASTM foram incorporadas pela ASME, utilizando o prefixo S como o aço inoxidável ASME SA-789 e o ASTM A-789 que são iguais.

Com base nos dados obtidos dos permutadores de calor avaliados apresentados no Anexo A, todos os equipamentos que utilizam água como fluido dos tubos combinado com salmoura no fluido do casco, ou vice-versa, utilizam o mesmo material nos tubos de troca térmica que se trata do SA-789-UNS S32750. Esta escolha foi feita devido a excepcional à resistência à quebra de corrosão por estresse cloreto, elevada condutividade térmica e baixo coeficiente de expansão térmica, permitindo-o operar em elevadas temperaturas.

Já o aço inoxidável ASME SA-249 TP 304, devido a sua capacidade de tolerar elevadas pressões, é bastante utilizado nos permutadores de calor que participam do

processo de refino de fluidos pesados que envolvem resíduo da destilação atmosférica (RAT), nafta, diesel leve ou pesado, gasóleo pesado ou petróleo. Os tubos de aço carbono ASME SA-214 também foram utilizados nos equipamentos das refinarias de petróleo operando com RAT, diesel, diesel leve e hidrocarbonetos.

Um dos materiais mais usados nos tubos de troca térmica é o aço inoxidável ASME SA-213 devido às suas propriedades mecânicas e físicas, ele possui uma boa resistência à corrosão, excelente conformabilidade, alta resistência com baixo peso e a sua fabricação é simples, reduzindo o seu custo. Este material foi aplicado majoritariamente em feixes de tubos em U, mas pode ser visto em outros tipos também, de permutadores de calor das refinarias de petróleo operando em condições extremas com processos que envolvem hidrocarbonetos, gás natural, água de caldeiras com elevadas temperaturas, vapor de alta pressão, diesel+ H₂ e diesel+ H₂S.

4.4. EFEITO DA RAZÃO DA ÁREA DE SUPERFÍCIE NA TAXA DE CORROSÃO DOS PERMUTADORES DE CALOR

Um dos fatores mais relevantes na corrosão galvânica é o efeito da área de superfície ou a razão entre as áreas catódica e anódica, sendo a densidade de corrente maior para um eletrodo pequeno que para um maior, quanto maior a densidade de corrente em uma área anódica, maior a taxa de corrosão (Prayitno, 2018). Quando a corrosão está ocorrendo livremente em um metal, os elétrons gerados nas áreas anódicas movimentam-se através do metal para reagir nas áreas catódicas igualmente expostas ao ambiente, restaurando o equilíbrio elétrico do sistema (Roberge, 2024).

Levando isso em consideração, é possível implicar que a razão entre as áreas catódica e anódica são especialmente importantes quando relacionadas com diversas formas de processos corrosivos, como a corrosão por *pites* e trincamento devido à corrosão sob tensão. Conseqüentemente, quando existe uma certa quantidade de corrente anódica concentrada em uma pequena área da superfície metálica, o efeito desta corrente será consideravelmente maior quando comparado com o efeito da mesma quantidade de corrente dissipado em uma área muito maior. Este fator é ainda mais relevante quando a área catódica for substancialmente que a área anódica.

Figura 18: Efeito da relação entre as áreas catódica e anódica. (a) Grande área anódica e pequena área catódica mostrando pouca reação sobre uma larga área do metal. (b) Grande área catódica e pequena área anódica mostrando muita reação sobre um ponto de solda.

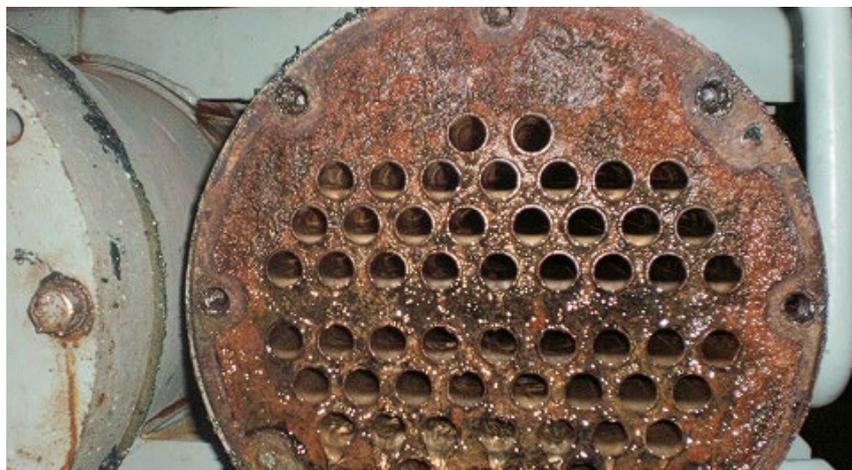


Fonte: Adaptado de Prayitno (2018).

Em situações estáticas, onde a corrente de corrosão bimetálica é frequentemente determinada pela taxa de difusão do oxigênio dissolvido para o cátodo, a quantidade de corrosão galvânica é independente do tamanho do ânodo e proporcional à área da superfície do metal catódico. Essa relação é conhecida como o princípio da área de captação e possui implicações importantes no projeto para minimizar o risco deste tipo de corrosão, ou seja, quando a área do metal cátodo é constante, a quantidade de corrosão do metal ânodo permanece a mesma, mas a intensidade da corrosão aumenta quando a área do metal anódico diminui (Francis, 1982).

Devido à natureza dos aspectos construtivos dos permutadores de calor, onde metais de diferentes potenciais eletroquímicos entram em contato, como os permutadores do tipo casco e tubo, é bastante comum encontrar a corrosão bimetálica na região de contato entre o espelho e os tubos de troca térmica (Figura 21).

Figura 19: Corrosão galvânica devido ao contato entre metais diferentes do espelho e dos tubos de troca térmica



Fonte: Rustx Industrial Solutions (2025).

Durante sua análise de falha em tubos deste tipo de equipamento em uma refinaria de petróleo, Nicacio (2021) notou que a maior perda de espessura de parede ou presença de furos ocorreram nos tubos de troca térmica de maior comprimento. Na inspeção visual, foi possível observar que o processo corrosivo foi mais extenso na área externa dos tubos, onde ocorreu o contato direto entre o material metálico e o fluido do processo. Em contrapartida, a área interna dos tubos não apresentou sinal de corrosão, o que indica que o processo corrosivo nos tubos inspecionados por ele ocorreu da superfície externa para a superfície interna.

Desta forma, uma área superficial maior leva a mais partes do metal a serem expostas ao oxigênio e água presentes tanto nos fluidos de processo, quanto por meio do ambiente externo ao permutador de calor, conforme pode ser visto na Figura 22.

Figura 20: (a) Inspeção visual externa dos tubos de troca térmica. (b) Inspeção visual interna dos tubos de troca térmica.



Fonte: Adaptado de Nicacio (2021).

4.5. VERIFICAÇÃO DA PADRONIZAÇÃO DE MATERIAIS DE TUBOS DE TROCA TÉRMICA

Conforme pode ser visto na Tabela 2 a seguir, a relação entre os fluidos de processo e quais materiais estão presentes nos feixes de tubos dos permutadores de calor avaliados. A tabela disponibiliza uma catalogação dos materiais utilizados nos tubos destes equipamentos, trazendo consigo uma visão estatística da recorrência destes materiais nos dispositivos analisados. Esta tabela representa um grupo

indicativo da recorrência na seleção dos materiais, o agrupamento geral avaliando todos os permutadores inspecionados encontra-se no Anexo C.

Tabela 2: Relação entre os fluidos de processo e os materiais dos tubos utilizados nos permutadores de calor analisados

Fluido do Casco	Fluido dos Tubos	Material dos Tubos de Troca Térmica
Salmoura / Água	Água / Salmoura	SA-789-UNS S32750
RAT	Petróleo / Gasóleo Pesado	SA-249-TP317L
Petróleo	Diesel / Refluxo Circulante De Fundo	SA-249-TP 316L
Água de Caldeira	Refluxo de GOP / Refluxo de Fundo da T-21001	SA-249-TP 304L
Diesel	Diesel	SA-214
Petróleo	Diesel / Refluxo Circulante de Topo	SA-214
Diesel + H ₂	Diesel + H ₂	SA-213M TP 347
Hidrocarbonetos + Hidrogênio	Hidrocarbonetos + Hidrogênio	SA-213 TP 317L
Hidrocarbonetos + Água	Hidrocarbonetos + Água	SA-179
Vapor de Topo da T-11001	Vapor de Topo da T-11001	SA-179
Hidrocarboneto / Hidrogênio / Diesel / Vapor de Topo da T-11003	Água De Resfriamento	SA-179

Fonte: O autor (2025).

Os tubos SA-214 são feitos de aço médio carbono sendo indicados para aplicações com alta pressão onde a resistência a corrosão é um fator importante a ser considerado, já os tubos SA-179 são fabricados a partir de aço baixo carbono sendo utilizados em processos de baixa pressão em que tanto as propriedades de transferência de calor quanto a resistência a corrosão são fatores críticos.

Os fluidos com grande concentração de hidrogênio ou de hidrocarbonetos podem causar corrosão nos metais, por conta disso os tubos de troca térmica aplicados em processos que envolvem estes fluidos precisam ter uma alta resistência a corrosão, por conta disso é recomendado o uso de aços inoxidáveis, como o SA-213, que contém uma liga de cromo e níquel para evitar processos corrosivos.

Possuindo propriedades semelhantes ao SA-213, mas com um custo de aquisição em média três vezes menor, está o SA-249 indicado nas normas específicas para tubos com costura. Portanto, é relevante padronizar o uso deste sempre que possível a fim de reduzir custos, mas mantendo a integridade do equipamento.

Os dispositivos que operam em condições de extremo estresse hídrico e de cloreto de sódio precisam utilizar um material com uma resistência ainda maior a corrosão, nesses casos é indicado o uso do SA-789, um aço inoxidável duplex formado por uma liga contendo 25% de cromo, 4% de molibdênio e 7% de níquel projetado para aplicações exigentes. Entretanto, esses aços são suscetíveis à fragilização se utilizados por períodos prolongados a temperaturas elevadas, logo é recomendável seu uso para processos com temperatura abaixo dos 600 °C.

Para determinar a padronização dos materiais dos tubos de troca térmica, adotou-se como critério principal a recorrência na seleção destes materiais utilizados nos permutadores inspecionados e comparando-os com o catálogo contendo os principais tipos de tubos de aço carbono comercializados, encontrados no Anexo B. Entre os 47 catalogados, somente 9 tipos de aço foram empregados nos equipamentos analisados e, entre estes, 5 designações de tubos de aço estão presentes em 95% de todos os permutadores de calor inspecionados. Com isso, é possível reconhecer que existe uma padronização em vigor nesta planta industrial.

Com o resultado da padronização consolidado, foi realizada uma avaliação de viabilidade na troca de alguns dos materiais utilizados nos tubos de troca térmica que atendesse uma gama mais ampla de aplicações, desta forma, reduzindo a quantidade de tipos diferentes de materiais empregados. Considerando que os materiais apesar de possuírem a mesma designação, possuem tipos de série diferentes, atribuindo propriedades distintas a eles.

De modo geral, utilizar materiais mais nobres em sua fabricação melhora o desempenho dos tubos de troca térmica, mas a diferença de preço entre eles não pode ser ignorada. Por exemplo, em média, o preço do aço inoxidável 316L é cerca de 60% a 80% maior que o do aço inoxidável 304L, então apesar de ser interessante reduzir a variável referente aos tipos de materiais empregados, sua viabilidade é comprometida em detrimento da elevada diferença no valor dos materiais.

5. CONCLUSÃO

Foi verificado haver um padrão na seleção dos materiais do feixe de tubos de permutadores de calor do tipo *air cooler* e casco-tubo, com base nas propriedades destes materiais e na interação desses com os fluidos e condições operacionais aos quais estão submetidos. O objetivo principal era verificar tal padronização dos tubos de troca térmica e, além disso, também foi verificado se há diferença nas avaliações comparativas de corrosão entre permutadores idênticos, mas de dimensões diferentes, operando nas mesmas condições operacionais. Essa informação pode ser útil em trabalhos futuros, onde se possa avaliar a perda de massa por corrosão por unidade de área externa e interna de tubos de troca térmica, normalizando a taxa de corrosão entre permutadores idênticos operando nas mesmas condições.

Referindo-se ao primeiro objetivo específico, foi feita a identificação dos materiais mais utilizados nos tubos de troca térmica e o levantamento de informações sobre os diversos materiais empregados nesses componentes de permutadores e avaliação de dados coletados, o que permitiu a confirmação da existência na seleção destes materiais, o que nem sempre pode ser esperado em plantas industriais com projetos menos elaborados. Essa análise considerou aspectos como as condições operacionais e características construtivas dos equipamentos.

Em relação ao segundo objetivo específico, foi feita análise para avaliar a importância de se considerar o comprimento, e conseqüentemente as áreas externas e internas, dos tubos em contato com os fluidos, quando se compara permutadores idênticos de dimensões diferentes, onde se verificou que o comprimento destes componentes não tem influência para a pré-disposição à corrosão, uma vez que as taxas de corrosão levam em conta a susceptibilidade de um fluido correr determinado material em dadas condições operacionais independentemente da sua dimensão, entretanto, do ponto de vista estatístico, quanto maior essa área de contato, maior a probabilidade de se desenvolverem mais regiões com perdas de espessura mais acentuadas, de forma que no estudo de taxas de corrosão e definição de vida residual não se leva em conta a área das superfícies externa e interna dos tubos que estão em contato com os fluidos. É nesse sentido que esse trabalho objetiva complementar os trabalhos de Alves (2024) e Santos (2024), sugerindo inclusive a elaboração de um trabalho consolidado que leve em conta os resultados conjuntos desses estudos.

Por fim, foi feita proposta uma maior padronização dos materiais utilizados nos permutadores de calor, superdimensionando-os, visando reduzir os custos relacionados a manutenção e facilitar a aquisição e estocagem destes tubos no almoxarifado de uma planta industrial.

As análises, observações e dados expostos no desenvolvimento deste trabalho demonstram a importância de um projeto integrado de padronização de materiais de tubos de troca térmica.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Criar modelo de análise que leve em conta as contribuições desse trabalho, juntamente com os resultados dos trabalhos de Alves (2024) e Santos (2024), visando a definição da vida residual levando em conta as variáveis estudadas nesses estudos.
- Avaliação de custo-benefício em se utilizar materiais mais nobres para um maior grupo de permutadores, de forma que, possa-se ter taxas de corrosão de fluidos diferentes sobre um número menor de materiais de tubos de permutadores, reduzindo a influência da variável material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 15193:2020 – Ensaio não destrutivo – Correntes parasitas – Tubos não ferromagnéticos instalados em trocadores de calor.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT. **NBR 16342: Ensaio não destrutivo – Ultrassom – Inspeção de tubos de permutadores de calor e caldeiras pela técnica IRIS.** Rio de Janeiro, 2021.

AL-QADEEB, F. E. ***Tubing Inspection Using Multiple NDT Techniques.*** In: *3^a Middle East Non Destructive Testing Conference & Exhibition (MENDT)*. Manama, 2005. Disponível em: <<http://www.ndt.net/article/mendt2005/pdf/p18.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2025.

ALFA LAVAL. ***Alfa Laval Aalborg Shell and Tube heat exchangers - Product brochure.*** Disponível em: <<https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/tubular-heat-exchangers/shell-and-tube-heat-exchanger/aalborg-mx/>>. Acesso em: 07 fev. 2025.

ALFA LAVAL. ***Alfa Laval air cooled heat exchangers product brochure.*** Disponível em: <[https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/finned-tube-air-heat-exchangers/finned-tube-air-heat-exchangers/](https://www.alfalaval.com/products/heat-transfer/finned-tube-air-heat-exchangers/finned-tube-air-heat-exchangers/finned-tube-air-heat-exchangers/)>. Acesso em: 05 fev. 2025.

ALI, M.; UL-HAMID, A.; KHAN, T.; BAKE, A.; BUTT, H.; BAMIDELE, O.; SAEED, A. ***Corrosion-related failures in heat exchangers. Corrosion Reviews***, v. 39, pp. 519-546, 2021. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2020-0073>.

ALVES, Tatiana Maria Ferreira. ***Modelos de amostragem e representação estatística para avaliação de vida residual de feixes de tubos de permutadores de calor.*** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). ***Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry.*** API 571. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2003.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). ***Inspection of Pressure Vessels (Towers, Drums, Reactors, Heat Exchangers, and Condensers).*** API 572. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2001.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). ***Piping Inspection Code: in-service inspection, rating, repair, and alteration of piping systems.*** API 570. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2023.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (API). **Risk-based Inspection Methodology**. API 581. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, 2020.

American Society of Mechanical Engineers – ASME. **Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive Examination**. 2019. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2019.

ASM International. **ASM Handbook Vol. 17 – Nondestructive Evaluation and Quality Control**. 9ª ed. Ohio: 2018.

ASM International. **Corrosion: Understanding the Basics**. Materials Park, OH: ASM International, 2000.

Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI). **Guia ABENDI: Ensaios não destrutivos e inspeção**. São Paulo, 2022.

BARBOZA, Klevson Ranniet Almeida. **Avaliação da técnica de inspeção por correntes parasitas em tubos de permutadores de calor**. 2009. 67p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). **Norma Regulamentadora NR-13: Caldeiras, vasos de pressão e tubulações**. Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.gov.br/trabalho-e-emprego/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13>. Acesso em: 15 fev. 2025.

ÇENGEL, YUNUS A.; GHAJAR, AFSHIN J. **Transferência de Calor e Massa: uma abordagem prática**. 4 Edição. AMGH Ltda, 2012.

CHILLER Peças. **Máquina de Escova Rotativa Limpeza de Tubos WAW 500**. Disponível em: <https://www.chillerpecas.com.br/produtos/maquina-de-escova-rotativa-limpeza-de-tubos-waw-500/>. Acesso em: 05 fev. 2025.

CHO, Sangwon; KIM, Seon-Hong; KIM, Woo-Cheol; KIM, Jung-Gu. **Stress Corrosion Cracking of Heat Exchanger Tubes in District Heating System**. *Corrosion Science and Technology*, v. 18, n. 2, p. 49–54, 2019. <https://doi.org/10.14773/cst.2019.18.2.49>.

COSTA, J. P.; SANTOS, J. R. S.; SANTOS, R. D.; MARTINS, D. R. **A importância da manutenção preditiva na Indústria 4.0**. Revista FT, 2024. DOI: 10.69849/revistافت/ch10202409161255.

COSTA, E. S.; MOURA, C. R. O.; PEREZ, G. J. A.; FILHO, A. B. D.; FERREZ, J. A. R. **Processo corrosivo de um trocador de calor na unidade de Hidrotratamento de uma Planta de Lubrificantes Naftênicos**. In: INTERCORR 2014, Fortaleza, maio 2014. Anais... Fortaleza: ABRACO, 2014.

EZUBER, H.; HOSSAIN, Z. **A review of corrosion failures in shell and tube heat exchangers: roots and advanced counteractive**. *Heat Mass Transfer*, v. 59, p. 971–987, 2023.

FRANCIS, R.. *Guides to good Practice in corrosion control. Bimetallic Corrosion*. Mc Graw Hill Education, Estados Unidos da América, 1982.

FERRARESI, R.N., CAMPOS, V.C., CICELINI, G., SILVA, W.C.D., REIS, R.P., FERRARESI, V.A. **Análise de ensaios não-destrutivos para inspeção de tubos de trocadores de calor do tipo casco & tubos: Campo Remoto (RFT) versus Sistema de Inspeção Rotativa Interna (IRIS)**. *Soldagem & Inspeção*. 2021;26:e2613. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI26.13>.

FLUID DYNAMICS. **Six causes of heat exchanger tube failure**. Disponível em: <https://www.fluidynamics.com.au/about/articles-case-studies/six-causes-of-heat-exchanger-tube-failure>. Acesso em: 26 fev. 2025.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**, Editora LTC, 2011.

HITA, Diego. **Manutenção de AVAC: Como combater a corrosão em Sistemas de Aquecimento e Resfriamento**, Disponível em: <<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/490>>. Acesso em: 15 de fev. de 2025.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Editora Atlas SA, 2017. 129 p.

HE, Z.; GUAN, K.; ZHANG, X.; ZHONG, J. **Localized cavitation corrosion on heat exchange tubes in a reboiler: Design and operation causes**. *Engineering Failure Analysis*, v. 130, 2021.

HORTA, C. C. & SOUSA, T. A. **Permutadores de Calor**. Íntegra - Integridade de Equipamentos, Rio de Janeiro (Curso de Inspeção de Equipamentos e Instalações, Petrobras / UN-Rio), 2004.

HU, Shi-Meng; WANG, Sheng-Hui; YANG, Zhen-Guo. **Failure analysis on unexpected wall thinning of heat-exchange tubes in ammonia evaporators**. *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, v. 3, p. 52–61, abr. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.csefa.2015.01.002>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS (IBP). **Inspeção de Mecanismos de Danos**. Guia de Inspeção de Mecanismos de Danos, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Rio de Janeiro, 2021.

KLAREN BV. ***What is fouling and scaling in heat exchanger?*** Disponível em: <https://klarenbv.com/what-is-fouling-and-scaling-in-heat-exchanger/>. Acesso em: 24 fev. 2025.

LA-CO Industries, Inc. **Right for the Job: Markal, Tempil, LA-CO Industrial Products Guide**. Vernon Hills, 2021. Disponível em: <https://www.lencocanada.com/wp-content/uploads/2021/09/La-Co-Markal-Tempil.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2025.

LEITE, J. P. **Técnica não destrutiva para análise da interação de linhas de campo magnético e material**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2014.

LI, Y. *et al.* **Investigation on corrosion behavior of the atmospheric pressure air cooler tubes caused by multiphase flow**. *Engineering failure analysis*, v. 165, n. 108800, p. 108800, 2024.

LIAO, Y.; WANG, M.; ZHANG, X.; ZHOU, X. **A Review on the Thermal-Hydraulic Performance and Optimization of Compact Heat Exchangers**. *Energies*, v. 14, n. 19, p. 6056, 2021. <https://doi.org/10.3390/en14196056>.

LIEBERMAN, Norman P.; LIEBERMAN, Elizabeth T.. **A Working Guide to Process Equipment**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2008. Disponível em: <https://studylib.net/doc/25407009/a-working-guide-to-process-equipment-3rd-edition>. Acesso em: 07 mar. 2025.

LUDWIG, E. E. **Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants**. vol. 3, *3rd Edition*, GPP, Texas, United States of America, 2001.

MACCHI, Ennio; ASTOLFI, Marco (Ed.). **Organic rankine cycle (ORC) power systems: technologies and applications**. Woodhead Publishing, 2016.

Madureira, C., Servciuc, N., Birchall, M. **Ensaio IRIS: Uma Ferramenta para Avaliação da Integridade Estrutural e Avaliação da Vida Útil de Trocadores de Calor e Caldeiras**. Buenos Aires: Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales (AAENDE), 2004.

MONG HAI HEN. **Imagem de Desgaste acelerado de região do feixe com impacto do fluido vindo de bocal de entrada do casco**. Blog post, 2017. Disponível em: <https://monghaihen.blogspot.com/2017/01/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

MORAIS, D. A.; OLIVEIRA, F. F. G.; SANTOS, G. M.; FEITOSA, V. B.; IARTELLI, A. **Manutenção preditiva: sua história, importância e aplicação na Indústria 4.0.** Revista FT, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.10204898.

NICACIO, J.A.P.; LINS, V.F.C.; BRACARENSE, A.Q. revista Matéria, v.26, n.3, 2021.

NICHOLAS P. Cheremisinoff Ph.D., **Condensed Encyclopedia of Polymer Engineering Terms**, Editora Elsevier, 2001.

OLYMPUS. **Tube Inspection: advances in RFT tube testing solutions.** Tóquio: Olympus, 2022.

PASSOS, L. V.; FERNANDES, G. S.; COSTA, A. L. H. **OTIMIZAÇÃO DO PROJETO DE TROCADORES DE CALOR DO TIPO AIR-COOLER PELO MÉTODO SIMULATED ANNEALING.** p. 12616-12623. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]. São Paulo: Blucher, 2015.
ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeq2014-1525-18878-181205

Petrobras. **Inspeção em Serviço de Trocadores de Calor.** N-2511, Rev. E. Rio de Janeiro, Comissão de Normas Técnicas da Petrobras, 2024.

PRAYITNO, Dody; IRSYAD, M.. **Effect of Ratio of Surface Area on the Corrosion Rate.** Sinergi, v. 22, n. 1, 2018.

PRODANOV, CLEBER CRISTIANO; DE FREITAS, ERNANI CESAR. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2. ed. Novo Hamburgo: Editora Feevale, 2013. 277 p.

RAUCHES-SANTOS, Cristiane; ALBUQUERQUE, Mariana; OLIVEIRA, Márcia; ECHEVARRIA, Aurea. **A Corrosão e os Agentes Anticorrosivos.** Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, 2014. Disponível em: <<https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/490>>. Acesso em: 22 de jan. de 2025.

REYNOLDS, John T. **101 Essential Elements in a Pressure Equipment Integrity Management Program.** NATIONAL PETROLEUM REFINERS ASSOCIATION-PUBLICATIONS-ALL SERIES, 2002.

REYNOLDS, John T. **Mechanical Integrity of Refinery Equipment.** NATIONAL PETROLEUM REFINERS ASSOCIATION-PUBLICATIONS-ALL SERIES, 1993.

ROBERGE, Pierre R.. *Corrosion Basics: An Introduction*. 3ª Ed. Nace International, 2018.

SABINO, R. S. **Inspeção de Feixes Tubulares de Permutadores de Calor**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação de Engenharia em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do grau de mestre em Engenharia Mecânica, 2008.

SABUNI, O. H. **Common heat exchanger problems in process plants and their solutions**. *Heat Exchanger World*, 2023. Disponível em: <https://heat-exchanger-world.com/common-heat-exchanger-problems-in-process-plants-and-their-solutions/>. Acesso em: 20 fev. 2025.

SANTIN, J. L. **Ultrassom: Técnica e aplicação**. 2ª ed. Paraná: Artes Gráficas e Editora Unificado, 2003.

SANTOS, Alícia Cruz Marques dos. **Identificação de Fatores de Influência para Modelo de Amostragem para Ensaios Não Destrutivos em Feixes de Tubos de Permutadores Calor**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2024.

Serck Heat Exchange. **Heat Exchanger Cleaning: A Primer**. Disponível em: <https://serckglobal.com/servicing/heat-exchanger-cleaning/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

SHAIKH, K.; KAZE, S.; ZUBIR, M.; WONG, K.; YUSOFF, S.; KHAN, W.; ALAM, M.; ABDULLAH, S.; SHUKRI, M. **Mitigation of CaCO₃ fouling on heat exchanger surface using green functionalized carbon nanotubes (GFCNT) coating**. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 42, 2023.

SCHOPENHAUER, Arthur. **Seis ensaios de Parerga e Paralipomena, pequenos escritos filosóficos**. Tradução de Rosana Jardim Candeloro. Porto Alegre: Zouk, 2016.

SHULL, Peter J. **Nondestructive Evaluation: Theory, Techniques and Applications**. 1ª ed. New York: Marcel Dekker Inc, 2002.

SILVEIRA, L. T. **Permutadores de Calor**. Apostila da disciplina Permutadores de Calor, Curso de Formação de Engenheiros de Equipamentos, Universidade Petrobras, Rio de Janeiro, 2008.

SMITH, William F., HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais**. 5ª ed. Porto Alegre: Editora AMGH, 2012.

SOUSA, C. HITTA. **Corrosão de metais nas indústrias: como combater?**. 2022. Disponível em: <<https://abraco.org.br/noticias/hita-corrosao-de-metais-nas-industrias-como-combater/>>. Acesso em: 18 fev. 2025

SOUZA, Rogério Barreto de. **Noções de Trocadores de Calor**. Apostila da disciplina Permutadores de Calor, Curso de Formação de Engenheiros de Equipamentos, Universidade Petrobras, Rio de Janeiro, 2018.

SOUZA, Vitor Pagani de; LABIAPARI, Wilian da Silva; LINS, Vanessa de Freitas Cunha. ***Stainless steels as a solution for corrosion and erosion problems involving grains in agribusiness sector applications***. *Journal of Materials Research and Technology*, v. 30, p. 5605–5621, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.203>.

TEMA. ***Tubular Exchanger Manufacturers Association Standards***. 9ª Edição. New York, EUA: TEMA, 2007.

THEKKUDEN, D. T., MOURAD, A. H. I., & BOUZID, A. H. (2021). ***Failures and leak inspection techniques of tube-to-tubesheet joints: a review***. *Engineering Failure Analysis*, 130, 105798.

THULUKKANAM, K. ***Heat exchanger design handbook***. 2nd Edition. New York: CRC, 2013.

VELÁZQUEZ, J.C.; BARENCA, G.; TERAN, G.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, E.; CAPULA-COLINDRES, S.; HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J.; HERRERA-HERNÁNDEZ, H. ***Estimation of Metal Loss by Corrosion Process in Heat Exchangers Applied to Hydrotreating Systems***. *International Journal of Electrochemical Science*, v. 10, p. 7929-7940, 2015.

XU, Shugen; WANG, Chong; WANG, Weiqiang. ***Failure analysis of stress corrosion cracking in heat exchanger tubes during start-up operation***. *Engineering Failure Analysis*, v. 56, p. 138–147, 2015.

ZHANG, Jianwen; ZHANG, Fan; LI, Yan; ZHAO, Yahui; SHENG, Gang. ***Crystallization behavior of ammonium chloride in high-pressure heat exchanger of hydrotreating unit***. *Mathematical Problems in Engineering, Hindawi*, v. 2021, p. 1–15, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/5056631>.

ZHANG, Jianwen; ZHAO, Yahui; LI, Yan; ZHANG, Fan. ***Analysis of Multiphase Flow and Heat and Mass Transfer for Ammonium Chloride Crystallization of the High-Pressure Heat Exchanger in Hydrogenation Unit***. *Materials*, v. 14, n. 24, p. 7754, 2021b. <https://doi.org/10.3390/ma14247754>.

ZHANG, Y., & WANG, J. (2022). ***Predictive Maintenance in Industrial Systems: Strategies and Applications***. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 236(3), 441-453.

ZOHURI, B. ***Heat Exchanger Types and Classifications***. pp. 19-56, 2017.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1_2

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIP/ IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES						QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE			
PERMUTADOR - 1	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	QUEROSENE	SA-243-TP-317-L	19,3	1,65	5,682	AES	FLUTUANTE	539	0,1	53,9
PERMUTADOR - 2	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-179	19,3	BVG 14	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,1	82,6
PERMUTADOR - 3	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-179	19,3	BVG 14	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,1	82,6
PERMUTADOR - 4	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL PESADO	SA-243-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	642	0,15	96,3
PERMUTADOR - 5	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL PESADO	SA-243-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	642	0,15	96,3
PERMUTADOR - 6	CASCO / TUBO	VAPOR DE TOPO	PETRÓLEO	SA-214	25,4	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1034	0,05	51,7
PERMUTADOR - 7	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 8	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 9	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 10	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 11	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE TOPO	SA-214	25,4	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1306	0,05	65,3
PERMUTADOR - 12	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE TOPO	SA-214	25,4	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1306	0,05	65,3
PERMUTADOR - 13	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 14	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 15	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 16	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 17	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	792	0,1	79,2
PERMUTADOR - 18	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL PESADO	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	742	0,1	74,2
PERMUTADOR - 19	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1212	0,05	60,6
PERMUTADOR - 20	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1212	0,05	60,6
PERMUTADOR - 21	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	947	0,05	47,35
PERMUTADOR - 22	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	947	0,05	47,35
PERMUTADOR - 23	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE FUNDO	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	914	0,05	45,7
PERMUTADOR - 24	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE FUNDO	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	914	0,05	45,7
PERMUTADOR - 25	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1381	0,05	69,05
PERMUTADOR - 26	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1381	0,05	69,05
PERMUTADOR - 27	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 28	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 29	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 30	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 31	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIP./ IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES						QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE			
PERMUTADOR - 32	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 33	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 34	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8
PERMUTADOR - 35	CASCO / TUBO	NAFTA INSTABILIZADA	FUNDO DA T-1003	SA-249-317L	19,05	Ev/G16	6,096	AES	FLUTUANTE	268	0,3	80,4
PERMUTADOR - 36	CASCO / TUBO	NAFTA INSTABILIZADA	FUNDO DA T-1003	SA-249-317L	19,05	Ev/G16	6,096	AES	FLUTUANTE	268	0,3	80,4
PERMUTADOR - 37	CASCO / TUBO	NAFTA	RECICLO CIRCULANTE INTERMEDIÁRIO	SA-249-TP317L	19,05	Ev/G16	6,096	AES	FLUTUANTE	404	0,2	80,8
PERMUTADOR - 38	CASCO / TUBO	NAFTA	RECICLO CIRCULANTE INTERMEDIÁRIO	SA-249-TP317L	19,05	Ev/G16	6,096	AES	FLUTUANTE	404	0,2	80,8
PERMUTADOR - 39	CASCO / TUBO	TOPO DA T-1003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 40	CASCO / TUBO	TOPO DA T-1003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 41	CASCO / TUBO	TOPO DA T-1003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 42	CASCO / TUBO	TOPO DA T-1003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 43	CASCO / TUBO	QUEROSENE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	254	0,4	101,6
PERMUTADOR - 44	CASCO / TUBO	DIESEL LEVE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	722	0,15	108,3
PERMUTADOR - 45	CASCO / TUBO	DIESEL PESADO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	25,4	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	338	0,3	101,4
PERMUTADOR - 46	CASCO / TUBO	DIESEL PESADO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	25,4	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	338	0,3	101,4
PERMUTADOR - 47	CASCO / TUBO	RAT	ÁGUA TEMPERADA	SA-179	19,05	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	796	0,1	79,6
PERMUTADOR - 48	CASCO / TUBO	RAT	ÁGUA TEMPERADA	SA-179	19,05	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	796	0,1	79,6
PERMUTADOR - 49	AIR COOLER	ÁGUA TEMPERADA	ÁGUA TEMPERADA	SA-179	25,4	2,769	11	AIR COOLER	RETO	148	0,6	88,8
PERMUTADOR - 50	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 51	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 52	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 53	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 54	CASCO / TUBO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	ÁGUA ÁCIDA	SA-106-Gr.B	19,05	Ev/G16	6,096	AES	FLUTUANTE	56	1	56
PERMUTADOR - 55	CASCO / TUBO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	ÁGUA ÁCIDA	SA-106-Gr.B	19,05	Ev/G16	6,096	AES	FLUTUANTE	56	1	56
PERMUTADOR - 56	CASCO / TUBO	RESÍDUO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	Ev/G14	6,096	AES	FLUTUANTE	594	0,15	89,1
PERMUTADOR - 57	CASCO / TUBO	VAPOR	ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	1,4	AES	RETO	34	1	34
PERMUTADOR - 58	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 59	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 60	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 61	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-1001	VAPOR DE TOPO DA T-1001	SA 179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 62	AIR COOLER	HIDROCARBONETO • ÁGUA	HIDROCARBONETO • ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 63	AIR COOLER	HIDROCARBONETO • ÁGUA	HIDROCARBONETO • ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 64	AIR COOLER	HIDROCARBONETO • ÁGUA	HIDROCARBONETO • ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIP/ IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOP	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 65	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 66	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 67	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 68	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 69	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 70	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 71	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 72	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 73	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 74	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 75	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 76	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 77	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA 179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 78	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-214	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,05	41,3
PERMUTADOR - 79	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-214	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,05	41,3
PERMUTADOR - 80	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO LEVE	SA-214	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1412	0,05	70,6
PERMUTADOR - 81	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO LEVE	SA-214	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1412	0,05	70,6
PERMUTADOR - 82	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO PESADO	SA-249-TP 316L	19,05	BVG 16	6,096	AES	FLUTUANTE	396	0,2	79,2
PERMUTADOR - 83	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO PESADO	SA-249-TP 316L	19,05	BVG 16	6,096	AES	FLUTUANTE	396	0,2	79,2
PERMUTADOR - 84	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 85	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 86	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 87	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 88	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1144	0,05	57,2
PERMUTADOR - 89	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1144	0,05	57,2
PERMUTADOR - 90	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO DE FUNDO DA T-21001	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	556	0,1	55,6
PERMUTADOR - 91	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO DE FUNDO DA T-21001	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	556	0,1	55,6
PERMUTADOR - 92	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	444	0,2	88,8
PERMUTADOR - 93	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	444	0,2	88,8
PERMUTADOR - 94	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO INFERIOR DE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	534	0,1	53,4
PERMUTADOR - 95	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO INFERIOR DE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	534	0,1	53,4
PERMUTADOR - 96	AIR COOLER	GASÓLEO PESADO	GASÓLEO PESADO	SA 268 - 405	25,4	2,108	11	AIR COOLER	AIR COOLER	256	0,3	76,8

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOP	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 97	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA	GASÓLEO MÉDIO	AS-268-TP410S	19,05	BVG-16	6,096	AES	FLUTUANTE	238	0,4	95,2
PERMUTADOR - 98	AIR COOLER	GASÓLEO LEVE E MÉDIO	GASÓLEO LEVE E MÉDIO	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	9,1	AIR COOLER	AIR COOLER	108	1	108
PERMUTADOR - 99	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	REFLUXO CIRCULANTE GOL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1854	0,05	92,7
PERMUTADOR - 100	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	REFLUXO CIRCULANTE GOL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1854	0,05	92,7
PERMUTADOR - 101	AIR COOLER	DIESEL > 200°C	DIESEL > 200°C	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	360	0,25	90
PERMUTADOR - 102	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA RICA	NAFTA PESADA POBRE	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	536	0,1	53,6
PERMUTADOR - 103	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA RICA	NAFTA PESADA POBRE	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	536	0,1	53,6
PERMUTADOR - 104	AIR COOLER	NAFTA PESADA	NAFTA PESADA	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	150	0,5	75
PERMUTADOR - 105	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	464	0,2	92,8
PERMUTADOR - 106	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	208	0,5	104
PERMUTADOR - 107	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1784	0,07	124,88
PERMUTADOR - 108	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-213-TP 304L	19,05	BVG16	6,096	AJS	FLUTUANTE	1346	0,1	134,6
PERMUTADOR - 109	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-213-TP 304L	19,05	BVG16	6,096	AJS	FLUTUANTE	1346	0,1	134,6
PERMUTADOR - 110	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	NAFTA DESBUTANIZADA	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	700	0,1	70
PERMUTADOR - 111	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	NAFTA DESBUTANIZADA	SA-179	19,05	2,11	4,877	AJS	FLUTUANTE	609	0,1	60,9
PERMUTADOR - 112	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	NAFTA DESBUTANIZADA	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	1821	0,05	91,05
PERMUTADOR - 113	AIR COOLER	GLP	GLP	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	378	0,2	75,6
PERMUTADOR - 114	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	VAPOR DE ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	6,096	BJU	U	480	0,1	48
PERMUTADOR - 115	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	VAPOR DE ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	6,096	BJU	U	480	0,1	48
PERMUTADOR - 116	AIR COOLER	NAFTA LEVE	NAFTA LEVE	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	266	0,3	79,8
PERMUTADOR - 117	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	994	0,1	99,4
PERMUTADOR - 118	AIR COOLER	RESÍDUO PESADO	RESÍDUO PESADO	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	246	0,4	98,4
PERMUTADOR - 119	AIR COOLER	HIDROCARBONETOS	HIDROCARBONETOS	SA-213 - 304L / ALLOY 1060	25,4	2,108	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	288	0,3	86,4
PERMUTADOR - 120	CASCO / TUBO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	ÁGUA ÁCIDA	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	332	0,3	99,6
PERMUTADOR - 121	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	VAPOR DE ÁGUA	AS-268-TP410S	19,05	1,65	6,096	BEU	U	194	0,5	97
PERMUTADOR - 122	CASCO / TUBO	RESÍDUO PESADO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	340	0,3	102
PERMUTADOR - 123	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	GOP PRODUTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	538	0,15	80,7
PERMUTADOR - 124	CASCO / TUBO	VAPOR	ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	1,75	AES	RETO	180	0,5	90
PERMUTADOR - 125	CASCO / TUBO	GLP	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVG14	3,048	AES	FLUTUANTE	178	0,5	89
PERMUTADOR - 126	CASCO / TUBO	SODA CÁUSTICA	ÁGUA	SA-106 GRB	38,1	7,14	6	HAIRPIN	U	6	1	6
PERMUTADOR - 127	CASCO / TUBO	LEAN AMINE	VAPOR/CONDENSADO	SA-213 TP347	19,05	1,65	6,096	BKU	TIPO U	1350	0,1	135

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIP/ IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 128	AIR COOLER	GÁS ÁCIDO	GÁS ÁCIDO	SA-213/TP-316L	25,4	1,65	6,096	AIR COOLER	AIR COOLER	153	1	153
PERMUTADOR - 129	AIR COOLER	AMINA POBRE	AMINA POBRE	SA-170	25,4	2,11	11	AIR COOLER	AIR COOLER	303	0,3	90,9
PERMUTADOR - 130	CASCO / TUBO	VAPOR D'ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	1,7	AJM	RETO	102	0,5	51
PERMUTADOR - 131	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 132	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 133	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 134	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	25,4	2,77	2,438		TIPO U	856	0,1	85,6
PERMUTADOR - 135	CASCO / TUBO	H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179-07	19,05	2,11	5,05	AES	TIPO I	218	0,5	109
PERMUTADOR - 136	CASCO / TUBO	H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179-07	19,05	2,11	4,79	AES	TIPO I	218	0,5	109
PERMUTADOR - 137	CASCO / TUBO	H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	4,877	AES	TIPO I	229	0,5	114,5
PERMUTADOR - 138	CASCO / TUBO	DIESEL	DIESEL	SA-179	19,05	2,11	6,096	BEU	TIPO U	263	0,3	78,9
PERMUTADOR - 139	CASCO / TUBO	H2 + HC + H2S + H2O + NH3	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	25,4	2,11	6,096	AES	TIPO I	96	1	96
PERMUTADOR - 140	CASCO / TUBO	GASES	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	2190	0,07	153,3
PERMUTADOR - 141	CASCO / TUBO	GASES	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	458	0,2	91,6
PERMUTADOR - 142	CASCO / TUBO	GASES	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	198	0,5	99
PERMUTADOR - 143	CASCO / TUBO	ÁGUA ÁCIDA + H2S	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,7	6,096	AES	TIPO I	780	0,15	117
PERMUTADOR - 144	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	DIESEL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AKT	TIPO I	2114	0,08	169,12
PERMUTADOR - 145	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	DIESEL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AKT	TIPO I	2114	0,08	169,12
PERMUTADOR - 146	AIR COOLER	DIESEL + HIDROGÊNIO + ÁGUA	DIESEL + HIDROGÊNIO + ÁGUA	SA-789	25,4	2,11	13,6	AIR COOLER	AIR COOLER	330	0,25	82,5
PERMUTADOR - 147	AIR COOLER	DIESEL + ÁGUA	DIESEL + ÁGUA	SA-179	25,4	2,41	7,1	AIR COOLER	AIR COOLER	154	0,5	77
PERMUTADOR - 148	AIR COOLER	HC+H2S+H2O+NH3	HC+H2S+H2O+NH3	SA-179	31,75	2,41	11,5	AIR COOLER	AIR COOLER	255	0,3	76,5
PERMUTADOR - 149	AIR COOLER	HC+H2S+H2O+NH3	HC+H2S+H2O+NH3	SA-179	31,75	2,41	11,5	AIR COOLER	AIR COOLER	255	0,3	76,5
PERMUTADOR - 150	AIR COOLER	DIESEL	DIESEL	SA-214	31,75	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	283	0,3	84,9
PERMUTADOR - 151	AIR COOLER	DIESEL	DIESEL	SA-214	25,4	2,41	8,5	AIR COOLER	AIR COOLER	178	0,5	89
PERMUTADOR - 152	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	AS-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 153	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	AS-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 154	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	AS-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 155	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	25,4	2,77	2,438		TIPO U	856	0,1	85,6
PERMUTADOR - 156	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 T11	19,05	2,11	4,88		TIPO U	804	0,1	80,4
PERMUTADOR - 157	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 T11	19,05	2,11	4,88		TIPO U	804	0,1	80,4
PERMUTADOR - 158	CASCO / TUBO	VAPOR DE ALTA PRESSÃO	HIDROCARBONETOS + H2	SA 213 T11	19,05	2,11	2,44		TIPO U	430	0,2	86

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 159	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	790	0,1	79
PERMUTADOR - 160	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	790	0,1	79
PERMUTADOR - 161	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	844	0,1	84,4
PERMUTADOR - 162	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	844	0,1	84,4
PERMUTADOR - 163	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	844	0,1	84,4
PERMUTADOR - 164	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA 179	25,4	2,11	5,5		TIPO U	926	0,1	92,6
PERMUTADOR - 165	AIR COOLER	HC-H2O-H2	HC-H2O-H2	SA-179	31,75	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	348	0,25	87
PERMUTADOR - 166	AIR COOLER	HC-H2O-H2	HC-H2O-H2	SA-179	31,75	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	348	0,25	87
PERMUTADOR - 167	CASCO / TUBO	H2 + HC + H2O	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA 179	19,05	2,11	5,486		TIPO I	402	0,2	80,4
PERMUTADOR - 168	CASCO / TUBO	HIDROGÊNIO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA 179	19,05	2,11	5,5		TIPO U	24	1	24
PERMUTADOR - 169	AIR COOLER	HC-H2O	HC-H2O	SA-179	25,4	2,41	8,5	AIR COOLER	AIR COOLER	233	0,4	93,2
PERMUTADOR - 170	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	VAPOR DE ALTA	SA 213 GR. T11	19,05	2,11	6,1		TIPO U	912	0,1	91,2
PERMUTADOR - 171	CASCO / TUBO	HCBN, ÁGUA, H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA 179	19,05	2,11	4,9		TIPO U	212	0,5	106
PERMUTADOR - 172	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	HCBN + ÁGUA + HIDROGÊNIO	SA 179	19,05	2,11	6,096		TIPO U	818	0,1	81,8
PERMUTADOR - 173	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	HCBN + ÁGUA + HIDROGÊNIO	SA 179	19,05	2,11	6,096		TIPO U	818	0,1	81,8
PERMUTADOR - 174	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	VAPOR DE ALTA PRESSÃO	SA 213 GR. T11	19,05	2,11	6,1		TIPO U	1162	0,1	116,2
PERMUTADOR - 175	AIR COOLER	HIDROCARBONETO	HIDROCARBONETO	SA-179	25,4	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	381	0,25	95,25
PERMUTADOR - 176	AIR COOLER	HIDROCARBONETO	HIDROCARBONETO	SA-214	25,4	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	452	0,25	113
PERMUTADOR - 177	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA 179	19,05	2,11	5,5		TIPO I	736	0,15	110,4
PERMUTADOR - 178	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA 179	19,05	2,11	5,5		TIPO I	453	0,2	90,6
PERMUTADOR - 179	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO E ÁGUA	HIDROCARBONETO E HIDROGÊNIO	SA 179	25,4	2,11	5,2		TIPO U	960	0,1	96
PERMUTADOR - 180	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO E ÁGUA	HIDROCARBONETO E HIDROGÊNIO	SA 179	25,4	2,11	5,2		TIPO U	960	0,1	96
PERMUTADOR - 181	CASCO / TUBO	VAPOR DE BAIXA	GÁS COMBUSTÍVEL	SA 213 TP 316L	19,05	1,65	1,8		TIPO U	84	1	84
PERMUTADOR - 182	CASCO / TUBO	VAPOR D'ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA 179	19,05	2,11	2,2		TIPO I	200	0,5	100
PERMUTADOR - 183	CASCO / TUBO	NAFTA + H2	VAPOR + CONDENSADO	SA-179	19,05	2,11	5,65	BEU	TIPO U	300	0,3	90
PERMUTADOR - 184	CASCO / TUBO	NAFTA + H2	VAPOR + CONDENSADO	SA-179	19,05	2,11	5,65	BEU	TIPO U	300	0,3	90
PERMUTADOR - 185	CASCO / TUBO	GÁS NATURAL	VAPOR SUPERAQUECIDO	SA-213 Gr T11	25,4	1,65	6,96		TIPO U	230	0,4	92
PERMUTADOR - 186	CASCO / TUBO	GÁS NATURAL	VAPOR SUPERAQUECIDO	SA-213 Gr T11	25,4	1,65	6,96		TIPO U	230	0,4	92
PERMUTADOR - 187	CASCO / TUBO	VAPOR	ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	4	BEM	TIPO I	26	1	26
PERMUTADOR - 188	CASCO / TUBO	GASES DE COMBUSTÃO	VAPOR / ÁGUA	A-106	38,1	3,68	6	0	TIPO I	1024	0,1	102,4
PERMUTADOR - 189	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE CALDEIRA	SA 213 Gr.T11	19,05	2,11	5,245		TIPO U	438	0,2	87,6
PERMUTADOR - 190	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE CALDEIRA	SA 213 Gr.T11	19,05	2,11	5,245		TIPO U	438	0,2	87,6

ANEXO A – DADOS DOS PERMUTADORES DE CALOR

DADOS DOS EQUIP./ IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 191	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE CALDEIRA	SA-213 Gr.T11	19,05	2,11	5,8		TIPO U	410	0,2	82
PERMUTADOR - 192	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA	SA-213 TP-304L	19,05	1,65	5,8	DHU	TIPO U	290	0,3	87
PERMUTADOR - 193	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA	SA-213 TP-304L	19,05	1,65	5,8	DHU	TIPO U	290	0,3	87
PERMUTADOR - 194	AIR COOLER	GÁS DE PROCESSO - CONDENSADO	GÁS DE PROCESSO - CONDENSADO	SA-213TP-304L	25,4	2,11	6,096	AIR COOLER	AIR COOLER	261	0,3	78,3
PERMUTADOR - 195	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-213 TP-304L	19,05	1,65	6,096	AHM	TIPO I	1268	0,08	101,44
PERMUTADOR - 196	AIR COOLER	NAFTA + HIDROGÊNIO	NAFTA + HIDROGÊNIO	SA-213TP-304L	25,4	2,41	6	AIR COOLER	AIR COOLER	97	1	97
PERMUTADOR - 197	AIR COOLER	ÁGUA POLIDA DESAERADA	ÁGUA POLIDA DESAERADA	SA-179	25,4	2,41	6,096	AIR COOLER	AIR COOLER	201	0,4	80,4
PERMUTADOR - 198	AIR COOLER	ÁGUA RETIFICADA	ÁGUA RETIFICADA	SA-179	25,4	2,11	9,144	AIR COOLER	AIR COOLER	233	0,4	93,2
PERMUTADOR - 199	CASCO / TUBO	ÁGUA RETIFICADA	ÁGUA ÁCIDA	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	1386	0,1	138,6
PERMUTADOR - 200	CASCO / TUBO	ÁGUA RETIFICADA	ÁGUA ÁCIDA	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	1386	0,1	138,6
PERMUTADOR - 201	AIR COOLER	ÁGUA ÁCIDA	ÁGUA ÁCIDA	SA-789	31,75	1,65	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	339	0,3	101,7
PERMUTADOR - 202	CASCO / TUBO	ÁGUA ÁCIDA	VAPOR / CONDENSADO DE BAIXA	SA-213 TP316L	19,05	1,65	7,3	BKU	TIPO U	2052	0,08	164,16
PERMUTADOR - 203	CASCO / TUBO	GÁS ÁCIDO	VAPOR DE BAIXA	SA-213 TP316	25,4	1,65	3,15	AEU	TIPO U	23	1	23
PERMUTADOR - 204	CASCO / TUBO	VAPOR D'ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	2,5	AJL	TIPO I	217	0,5	108,5

ANEXO B – CATÁLOGO DE TUBOS DE AÇO CARBONO

Designação	Tipo de Aço
A53 / A53M – 20	Tubo, aço, preto e galvanizado, zincado, soldado e sem costura
A106 / A106M – 19a	Tubo de aço carbono sem costura para serviço em alta temperatura
A134 / A134M – 19	Especificação padrão para tubos de aço, soldados por eletrofusão (arco) (tamanhos nps 16 e superiores)
A135 / A135M – 20	Especificação padrão para tubos de aço soldados por resistência elétrica
A139 / A139M – 16	Especificação padrão para tubos de aço soldados por eletrofusão (arco) (nps 4 e superior)
A178 / A178M – 19	Especificação padrão para tubos de caldeira e superaquecedor de aço carbono e aço carbono-manganês soldados por resistência elétrica
A179 / A179M – 19	Especificação padrão para tubos de trocadores de calor e condensadores de aço de baixo carbono, trefilados a frio e sem costura
A192 / A192M – 17	Especificação padrão para tubos de trocadores de calor e condensadores de aço de baixo carbono, trefilados a frio e sem costura
A210 / A210M – 19	Especificação padrão para tubos de caldeira e superaquecedor de aço de médio carbono sem costura
A214 / A214M – 19	Especificação padrão para tubos de trocadores de calor e condensadores de aço carbono soldados por resistência elétrica
A252 / A252M – 19	Especificação padrão para estacas tubulares de aço soldadas e sem costura
A254 / A254M – 12(2019)	Especificação padrão para tubos de aço brasados com cobre
A381 / A381M – 18	Especificação padrão para tubos de carbono soldados por arco metálico ou tubos de aço de baixa liga de alta resistência para uso com sistemas de transmissão de alta pressão
A423 / A423M – 19	Especificação padrão para tubos de aço de baixa liga sem costura e soldados eletricamente
A450 / A450M – 18a	Especificação padrão para requisitos gerais para tubos de aço carbono e baixa liga
A498 / A498M – 17	Especificação padrão para tubos de trocadores de calor de aço carbono sem costura e soldados com aletas integrais
A500 / A500M – 20	Especificação padrão para tubos estruturais de aço carbono soldados e sem costura, formados a frio, em formas redondas e formas
A501 / A501M – 14	Especificação padrão para tubos estruturais de aço carbono soldados e sem costura formados a quente
A512 – 18	Especificação padrão para tubos mecânicos de aço carbono soldados a topo e trefilados a frio
A513 / A513M – 20a	Especificação padrão para tubos mecânicos de aço carbono e liga soldados por resistência elétrica
A519 / A519M – 17	Especificação padrão para tubos mecânicos sem costura de aço carbono e liga
A523 / A523M – 20	Especificação padrão para tubos de aço sem costura de extremidade lisa e soldados por resistência elétrica para circuitos de cabos do tipo tubo de alta pressão
A524 – 17	Especificação padrão para tubos de aço carbono sem costura para temperaturas atmosféricas e mais baixas
A530 / A530M – 18	Especificação padrão para requisitos gerais para tubos de aço carbono e liga especializados
A556 / A556M – 18	Especificação padrão para tubos de aquecedor de água de alimentação de aço carbono trefilados a frio sem costura
A587 – 96(2019)	Especificação padrão para tubos de aço de baixo carbono soldados por resistência elétrica para a indústria química
A589 / A589M – 06(2018)	Especificação padrão para tubos de aço carbono sem costura e soldados para poços de água
A595 / A595M – 18	Especificação padrão para tubos de aço, de baixo carbono ou de baixa liga de alta resistência, cônicos para uso estrutural
A618 / A618M – 04(2015)	Especificação padrão para tubos estruturais de baixa liga de alta resistência, soldados e sem costura, formados a quente
A671 / A671M – 20	Especificação padrão para tubos de aço soldados por eletrofusão para temperaturas atmosféricas e mais baixas
A672 / A672M – 19	Especificação padrão para tubos de aço soldados por eletrofusão para serviço de alta pressão em temperaturas moderadas
A691 / A691M – 19	Especificação padrão para tubos de aço carbono e liga, soldados por eletrofusão para serviço de alta pressão em altas temperaturas
A733 – 16	Especificação padrão para niples de tubos de aço carbono e aço inoxidável austenítico soldados e sem costura
A787 / A787M – 20a	Especificação padrão para tubos mecânicos de aço carbono com revestimento metálico soldados por resistência elétrica
A795 / A795M – 13(2020)	Especificação padrão para tubos de aço soldados e sem costura revestidos de zinco preto e galvanizado a quente para uso em proteção contra incêndio
A822 / A822M – 20	Especificação padrão para tubos de aço carbono trefilados a frio sem costura para serviço de sistema hidráulico
A847 / A847M – 20	Especificação padrão para tubos estruturais de baixa liga, de alta resistência, soldados e sem costura, formados a frio, com resistência aprimorada à corrosão atmosférica
A865 / A865M – 06(2017)	Especificação padrão para acoplamentos roscados, de aço, pretos ou zincados (galvanizados), soldados ou sem costura, para uso em juntas de tubos de aço
A972 / A972M – 00(2015)	Especificação padrão para estacas tubulares revestidas com epóxi e fundidas
A1024 / A1024M – 18	Especificação padrão para tubo de aço, preto, ponta lisa, sem costura
A1065 / A1065M – 18	Especificação padrão para tubos estruturais de baixa liga de alta resistência soldados por fusão elétrica (arco) formados a frio em formas, com ponto de escoamento mínimo de 50 ksi [345 mpa]
A1076 / A1076M – 20	Especificação padrão para tubos estruturais de aço carbono formados a frio feitos de chapa de aço pré-revestida metálica
A1085 / A1085M – 15	Especificação padrão para seções estruturais ocas de aço carbono soldadas a frio (HSS)
A1097 – 16	Especificação padrão para tubo de revestimento de aço, soldado por eletrofusão (arco) (diâmetro externo de 10 pol. e maior)
A1103 / A1103M – 16	Especificação padrão para tubos estruturais de aço carbono sem costura com acabamento a frio para aplicações de corrida automotiva
A1110 / A1110M – 18	Especificação padrão para tubos estruturais de aço carbono soldados e sem costura formados a frio em formas redondas e formas com resistência mínima ao escoamento e requisitos de impacto de 52 ksi [360 mpa]
A1112 / A1112M – 18	Especificação padrão para seções estruturais ocas de aço carbono de alta resistência soldadas a frio ou aço de baixa liga de alta resistência (hss) em formas redondas e formas

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS		IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS		DADOS DOS FEIXES							QTD DE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOP	TIPO DE FEIXE				
PERMUTADOR - 168	CASCO / TUBO	GASES DE COMBUSTÃO	VAPOR / ÁGUA	A-106	38,1	3,68	6	0	TIPO I	1024	0,1	102,4	
PERMUTADOR - 126	CASCO / TUBO	SODA CÁUSTICA	ÁGUA	SA 106 GR B	38,1	7,14	6	HAIRPIN	U	6	1	6	
PERMUTADOR - 96	AIR COOLER	GASÓLEO PESADO	GASÓLEO PESADO	SA 268 - 405	25,4	2,108	11	AIR COOLER	AIR COOLER	256	0,3	76,8	
PERMUTADOR - 54	CASCO / TUBO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	ÁGUA ÁCIDA	SA-106-Gr.B	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	56	1	56	
PERMUTADOR - 55	CASCO / TUBO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	ÁGUA ÁCIDA	SA-106-Gr.B	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	56	1	56	
PERMUTADOR - 123	AIR COOLER	AMINA POBRE	AMINA POBRE	SA-170	25,4	2,11	11	AIR COOLER	AIR COOLER	303	0,3	90,9	
PERMUTADOR - 27	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 28	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 23	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 30	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 31	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 32	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 33	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 34	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	31,78	2,769	12,094	AIR COOLER	AIR COOLER	336	0,3	100,8	
PERMUTADOR - 165	AIR COOLER	HC+H2O+H2	HC+H2O+H2	SA-179	31,75	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	348	0,25	87	
PERMUTADOR - 166	AIR COOLER	HC+H2O+H2	HC+H2O+H2	SA-179	31,75	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	348	0,25	87	
PERMUTADOR - 175	AIR COOLER	HIDROCARBONETO	HIDROCARBONETO	SA-179	25,4	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	381	0,25	95,25	
PERMUTADOR - 148	AIR COOLER	HC+H2S+H2O+NH3	HC+H2S+H2O+NH3	SA-179	31,75	2,41	11,5	AIR COOLER	AIR COOLER	255	0,3	76,5	
PERMUTADOR - 149	AIR COOLER	HC+H2S+H2O+NH3	HC+H2S+H2O+NH3	SA-179	31,75	2,41	11,5	AIR COOLER	AIR COOLER	255	0,3	76,5	
PERMUTADOR - 49	AIR COOLER	ÁGUA TEMPERADA	ÁGUA TEMPERADA	SA-179	25,4	2,769	11	AIR COOLER	RETO	148	0,6	88,8	
PERMUTADOR - 62	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90	
PERMUTADOR - 63	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90	
PERMUTADOR - 64	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90	
PERMUTADOR - 65	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90	
PERMUTADOR - 66	AIR COOLER	HIDROCARBONETO + ÁGUA	HIDROCARBONETO + ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90	

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS		IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES						
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOP	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 67	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 68	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 69	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 70	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 71	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 72	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 73	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 74	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 75	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 76	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 77	AIR COOLER	HIDROCARBONETO - ÁGUA	HIDROCARBONETO - ÁGUA	SA-179	25,4	3,043	9,75	AIR COOLER	AIR COOLER	300	0,3	90
PERMUTADOR - 189	AIR COOLER	ÁGUA RETIFICADA	ÁGUA RETIFICADA	SA-179	25,4	2,11	9,144	AIR COOLER	AIR COOLER	233	0,4	93,2
PERMUTADOR - 169	AIR COOLER	HC+H2O	HC+H2O	SA-179	25,4	2,41	8,5	AIR COOLER	AIR COOLER	233	0,4	93,2
PERMUTADOR - 147	AIR COOLER	DIESEL - ÁGUA	DIESEL - ÁGUA	SA-179	25,4	2,41	7,1	AIR COOLER	AIR COOLER	154	0,5	77
PERMUTADOR - 139	CASCO / TUBO	H2 - HC + H2S + H2O + NH3	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	25,4	2,11	6,096	AES	TIPO I	96	1	96
PERMUTADOR - 142	CASCO / TUBO	GASES	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	198	0,5	99
PERMUTADOR - 106	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	208	0,5	104
PERMUTADOR - 43	CASCO / TUBO	QUEROSENE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	254	0,4	101,6
PERMUTADOR - 197	AIR COOLER	ÁGUA POLIDA DESAERADA	ÁGUA POLIDA DESAERADA	SA-179	25,4	2,41	6,096	AIR COOLER	AIR COOLER	201	0,4	80,4
PERMUTADOR - 120	CASCO / TUBO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	ÁGUA ÁCIDA	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	332	0,3	99,6
PERMUTADOR - 45	CASCO / TUBO	DIESEL PESADO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	25,4	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	338	0,3	101,4
PERMUTADOR - 46	CASCO / TUBO	DIESEL PESADO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	25,4	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	338	0,3	101,4
PERMUTADOR - 122	CASCO / TUBO	RESÍDUO PESADO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	340	0,3	102
PERMUTADOR - 138	CASCO / TUBO	DIESEL	DIESEL	SA-179	19,05	2,11	6,096	BEU	TIPO U	263	0,3	78,9
PERMUTADOR - 141	CASCO / TUBO	GASES	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	458	0,2	91,6

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES							DADOS GLOBAIS	
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 105	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	464	0,2	92,8
PERMUTADOR - 143	CASCO / TUBO	ÁGUA ÁCIDA + H2S	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,7	6,096	AES	TIPO I	780	0,15	117
PERMUTADOR - 44	CASCO / TUBO	DIESEL LEVE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	722	0,15	108,3
PERMUTADOR - 56	CASCO / TUBO	RESÍDUO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	594	0,15	89,1
PERMUTADOR - 123	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	GOP PRODUTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	538	0,15	80,7
PERMUTADOR - 172	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	HCBN + ÁGUA + HIDROGÊNIO	SA-179	19,05	2,11	6,096		TIPO U	818	0,1	81,8
PERMUTADOR - 173	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	HCBN + ÁGUA + HIDROGÊNIO	SA-179	19,05	2,11	6,096		TIPO U	818	0,1	81,8
PERMUTADOR - 199	CASCO / TUBO	ÁGUA RETIFICADA	ÁGUA ÁCIDA	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	1386	0,1	138,6
PERMUTADOR - 200	CASCO / TUBO	ÁGUA RETIFICADA	ÁGUA ÁCIDA	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	1386	0,1	138,6
PERMUTADOR - 117	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	994	0,1	99,4
PERMUTADOR - 47	CASCO / TUBO	RAT	ÁGUA TEMPERADA	SA-179	19,05	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	796	0,1	79,6
PERMUTADOR - 48	CASCO / TUBO	RAT	ÁGUA TEMPERADA	SA-179	19,05	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	796	0,1	79,6
PERMUTADOR - 2	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-179	19,3	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,1	82,6
PERMUTADOR - 3	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-179	19,3	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,1	82,6
PERMUTADOR - 110	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	NAFTA DESBUTANIZADA	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	700	0,1	70
PERMUTADOR - 102	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA RICA	NAFTA PESADA POBRE	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	536	0,1	53,6
PERMUTADOR - 103	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA RICA	NAFTA PESADA POBRE	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	536	0,1	53,6
PERMUTADOR - 114	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	VAPOR DE ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	6,096	BUJ	U	480	0,1	48
PERMUTADOR - 115	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	VAPOR DE ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	6,096	BUJ	U	480	0,1	48
PERMUTADOR - 144	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	DIESEL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AKT	TIPO I	2114	0,08	169,12
PERMUTADOR - 145	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	DIESEL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AKT	TIPO I	2114	0,08	169,12
PERMUTADOR - 140	CASCO / TUBO	GASES	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AES	TIPO I	2190	0,07	153,3
PERMUTADOR - 107	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1784	0,07	124,88
PERMUTADOR - 112	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	NAFTA DESBUTANIZADA	SA-179	19,05	BVGH	6,096	AES	FLUTUANTE	1821	0,05	91,05
PERMUTADOR - 100	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	REFLUXO CIRCULANTE GOL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1854	0,05	92,7

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS	IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 99	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	REFLUXO CIRCULANTE GOL	SA-179	19,05	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1854	0,05	92,7
PERMUTADOR - 58	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 59	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 60	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 61	AIR COOLER	VAPOR DE TOPO DA T-11001	VAPOR DE TOPO DA T-11001	SA-179	38,1	2,769	6	AIR COOLER	AIR COOLER	138	1	138
PERMUTADOR - 183	CASCO / TUBO	NAFTA + H2	VAPOR + CONDENSADO	SA-179	19,05	2,11	5,65	BEU	TIPO U	300	0,3	90
PERMUTADOR - 184	CASCO / TUBO	NAFTA + H2	VAPOR + CONDENSADO	SA-179	19,05	2,11	5,65	BEU	TIPO U	300	0,3	90
PERMUTADOR - 168	CASCO / TUBO	HIDROGÊNIO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	5,5		TIPO U	24	1	24
PERMUTADOR - 178	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	5,5		TIPO I	453	0,2	90,6
PERMUTADOR - 177	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	5,5		TIPO I	736	0,15	110,4
PERMUTADOR - 164	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-179	25,4	2,11	5,5		TIPO U	926	0,1	92,6
PERMUTADOR - 167	CASCO / TUBO	H2 + HC + H2O	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	5,486		TIPO I	402	0,2	80,4
PERMUTADOR - 179	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO E ÁGUA	HIDROCARBONETO E HIDROGÊNIO	SA-179	25,4	2,11	5,2		TIPO U	960	0,1	96
PERMUTADOR - 180	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO E ÁGUA	HIDROCARBONETO E HIDROGÊNIO	SA-179	25,4	2,11	5,2		TIPO U	960	0,1	96
PERMUTADOR - 171	CASCO / TUBO	HCBN, ÁGUA, H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	4,9		TIPO U	212	0,5	106
PERMUTADOR - 137	CASCO / TUBO	H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	4,877	AES	TIPO I	229	0,5	114,5
PERMUTADOR - 39	CASCO / TUBO	TOPO DA T-11003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BWG4	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 40	CASCO / TUBO	TOPO DA T-11003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BWG4	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 41	CASCO / TUBO	TOPO DA T-11003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BWG4	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - 42	CASCO / TUBO	TOPO DA T-11003	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BWG4	4,877	AJS	FLUTUANTE	257	0,4	102,8
PERMUTADOR - III	CASCO / TUBO	NAFTA LEVE	NAFTA DESBUTANIZADA	SA-179	19,05	2,11	4,877	AJS	FLUTUANTE	609	0,1	60,9
PERMUTADOR - 187	CASCO / TUBO	VAPOR	ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	4	BEM	TIPO I	26	1	26
PERMUTADOR - 125	CASCO / TUBO	GLP	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	BWG4	3,048	AES	FLUTUANTE	178	0,5	89
PERMUTADOR - 204	CASCO / TUBO	VAPOR D'ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	2,5	AJL	TIPO I	217	0,5	108,5
PERMUTADOR - 182	CASCO / TUBO	VAPOR D'ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	2,2		TIPO I	200	0,5	100

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES						DADOS GLOBAIS		
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 124	CASCO / TUBO	VAPOR	ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	1,75	AES	RETO	180	0,5	90
PERMUTADOR - 130	CASCO / TUBO	VAPOR D'ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179	19,05	2,11	1,7	AJM	RETO	102	0,5	51
PERMUTADOR - 57	CASCO / TUBO	VAPOR	ÁGUA	SA-179	19,05	2,11	1,4	AES	RETO	34	1	34
PERMUTADOR - 104	AIR COOLER	NAFTA PESADA	NAFTA PESADA	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	150	0,5	75
PERMUTADOR - 118	AIR COOLER	RESÍDUO PESADO	RESÍDUO PESADO	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	246	0,4	98,4
PERMUTADOR - 116	AIR COOLER	NAFTA LEVE	NAFTA LEVE	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	266	0,3	79,8
PERMUTADOR - 101	AIR COOLER	DIESEL > 200°C	DIESEL > 200°C	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	360	0,25	90
PERMUTADOR - 113	AIR COOLER	GLP	GLP	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	12,2	AIR COOLER	AIR COOLER	378	0,2	75,6
PERMUTADOR - 98	AIR COOLER	GASÓLEO LEVE E MÉDIO	GASÓLEO LEVE E MÉDIO	SA-179 / ALLOY 1060	25,4	2,768	3,1	AIR COOLER	AIR COOLER	108	1	108
PERMUTADOR - 135	CASCO / TUBO	H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179-07	19,05	2,11	5,05	AES	TIPO I	218	0,5	109
PERMUTADOR - 136	CASCO / TUBO	H2	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-179-07	19,05	2,11	4,79	AES	TIPO I	218	0,5	109
PERMUTADOR - 119	AIR COOLER	HIDROCARBONETOS	HIDROCARBONETOS	SA-213 - 304L / ALLOY 1060	25,4	2,108	3,75	AIR COOLER	AIR COOLER	288	0,3	86,4
PERMUTADOR - 185	CASCO / TUBO	GÁS NATURAL	VAPOR SUPERAQUECIDO	SA-213 Gr T11	25,4	1,65	6,96		TIPO U	230	0,4	92
PERMUTADOR - 186	CASCO / TUBO	GÁS NATURAL	VAPOR SUPERAQUECIDO	SA-213 Gr T11	25,4	1,65	6,96		TIPO U	230	0,4	92
PERMUTADOR - 170	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	VAPOR DE ALTA	SA-213 T11	19,05	2,11	6,1		TIPO U	912	0,1	91,2
PERMUTADOR - 174	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	VAPOR DE ALTA PRESSÃO	SA-213 T11	19,05	2,11	6,1		TIPO U	1162	0,1	116,2
PERMUTADOR - 191	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE CALDEIRA	SA-213 T11	19,05	2,11	5,8		TIPO U	410	0,2	82
PERMUTADOR - 183	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE CALDEIRA	SA-213 T11	19,05	2,11	5,245		TIPO U	438	0,2	87,6
PERMUTADOR - 190	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE CALDEIRA	SA-213 T11	19,05	2,11	5,245		TIPO U	438	0,2	87,6
PERMUTADOR - 156	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 T11	19,05	2,11	4,88		TIPO U	804	0,1	80,4
PERMUTADOR - 157	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 T11	19,05	2,11	4,88		TIPO U	804	0,1	80,4
PERMUTADOR - 158	CASCO / TUBO	VAPOR DE ALTA PRESSÃO	HIDROCARBONETOS + H2	SA-213 T11	19,05	2,11	2,44		TIPO U	430	0,2	86
PERMUTADOR - 195	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-213 TP 304L	19,05	1,65	6,096	AHM	TIPO I	1268	0,08	101,44
PERMUTADOR - 192	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA	SA-213 TP 304L	19,05	1,65	5,8	DHU	TIPO U	290	0,3	87
PERMUTADOR - 193	CASCO / TUBO	GÁS DE PROCESSO	ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO DE CALDEIRA	SA-213 TP 304L	19,05	1,65	5,8	DHU	TIPO U	290	0,3	87

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS	IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 181	CASCO / TUBO	VAPOR DE BAIXA	GÁS COMBUSTÍVEL	SA-213 TP 316L	19,05	1,65	1,8		TIPO U	84	1	84
PERMUTADOR - 159	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	790	0,1	79
PERMUTADOR - 160	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	790	0,1	79
PERMUTADOR - 161	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	844	0,1	84,4
PERMUTADOR - 162	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	844	0,1	84,4
PERMUTADOR - 163	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	HIDROCARBONETOS + HIDROGÊNIO	SA-213 TP 317L	25,4	2,11	4,88		TIPO U	844	0,1	84,4
PERMUTADOR - 203	CASCO / TUBO	GÁS ÁCIDO	VAPOR DE BAIXA	SA-213 TP316	25,4	1,65	3,15	AEU	TIPO U	23	1	23
PERMUTADOR - 202	CASCO / TUBO	ÁGUA ÁCIDA	VAPOR / CONDENSADO DE BAIXA	SA-213 TP316L	19,05	1,65	7,3	EKU	TIPO U	2052	0,08	164,16
PERMUTADOR - 127	CASCO / TUBO	LEAN AMINE	VAPOR/CONDENSADO	SA-213 TP347	19,05	1,65	6,096	EKU	TIPO U	1350	0,1	135
PERMUTADOR - 194	AIR COOLER	GÁS DE PROCESSO - CONDENSADO	GÁS DE PROCESSO - CONDENSADO	SA-213/TP-304L	25,4	2,11	6,096	AIR COOLER	AIR COOLER	261	0,3	78,3
PERMUTADOR - 196	AIR COOLER	NAFTA + HIDROGÊNIO	NAFTA + HIDROGÊNIO	SA-213/TP-304L	25,4	2,41	6	AIR COOLER	AIR COOLER	97	1	97
PERMUTADOR - 128	AIR COOLER	GÁS ÁCIDO	GÁS ÁCIDO	SA-213/TP-316L	25,4	1,65	6,096	AIR COOLER	AIR COOLER	153	1	153
PERMUTADOR - 152	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 153	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 154	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 131	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 132	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 133	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	31,75	2,77	5,486		TIPO U	554	0,2	110,8
PERMUTADOR - 134	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	25,4	2,77	2,438		TIPO U	856	0,1	85,6
PERMUTADOR - 155	CASCO / TUBO	DIESEL + H2	DIESEL + H2 + H2S	SA-213M TP 347	25,4	2,77	2,438		TIPO U	856	0,1	85,6
PERMUTADOR - 108	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-213-TP 304L	19,05	BVG16	6,096	AJS	FLUTUANTE	1346	0,1	134,6
PERMUTADOR - 109	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO + ÁGUA	ÁGUA DE RESFRIAMENTO	SA-213-TP 304L	19,05	BVG16	6,096	AJS	FLUTUANTE	1346	0,1	134,6
PERMUTADOR - 150	AIR COOLER	DIESEL	DIESEL	SA-214	31,75	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	283	0,3	84,9
PERMUTADOR - 176	AIR COOLER	HIDROCARBONETO	HIDROCARBONETO	SA-214	25,4	2,41	11,8	AIR COOLER	AIR COOLER	452	0,25	113
PERMUTADOR - 151	AIR COOLER	DIESEL	DIESEL	SA-214	25,4	2,41	8,5	AIR COOLER	AIR COOLER	178	0,5	89

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS	IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 78	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-214	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,05	41,3
PERMUTADOR - 79	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-214	19,05	BVG14	6,096	AES	FLUTUANTE	826	0,05	41,3
PERMUTADOR - 80	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO LEVE	SA-214	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1412	0,05	70,6
PERMUTADOR - 81	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO LEVE	SA-214	19,05	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1412	0,05	70,6
PERMUTADOR - 6	CASCO / TUBO	VAPOR DE TOPO	PETRÓLEO	SA-214	25,4	2,11	6,096	AJS	FLUTUANTE	1034	0,05	51,7
PERMUTADOR - 11	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE TOPO	SA-214	25,4	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1306	0,05	65,3
PERMUTADOR - 12	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE TOPO	SA-214	25,4	2,11	6,096	AES	FLUTUANTE	1306	0,05	65,3
PERMUTADOR - 1	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	QUEROSENE	SA-243-TP-317-L	19,3	1,65	5,682	AES	FLUTUANTE	539	0,1	53,9
PERMUTADOR - 35	CASCO / TUBO	NAFTA INSTABILIZADA	FUNDO DA T-11003	SA-249-317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	268	0,3	80,4
PERMUTADOR - 36	CASCO / TUBO	NAFTA INSTABILIZADA	FUNDO DA T-11003	SA-249-317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	268	0,3	80,4
PERMUTADOR - 32	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	444	0,2	88,8
PERMUTADOR - 33	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	444	0,2	88,8
PERMUTADOR - 30	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO DE FUNDO DA T-21001	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	556	0,1	55,6
PERMUTADOR - 31	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO DE FUNDO DA T-21001	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	556	0,1	55,6
PERMUTADOR - 34	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO INFERIOR DE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	534	0,1	53,4
PERMUTADOR - 35	CASCO / TUBO	ÁGUA DE CALDEIRA	REFLUXO INFERIOR DE GOP	SA-249-TP 304L	19,05	1,65	6,096	AKT	FLUTUANTE	534	0,1	53,4
PERMUTADOR - 82	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO PESADO	SA-249-TP 316L	19,05	BVG 16	6,096	AES	FLUTUANTE	396	0,2	79,2
PERMUTADOR - 83	CASCO / TUBO	RAT	GASÓLEO PESADO	SA-249-TP 316L	19,05	BVG 16	6,096	AES	FLUTUANTE	396	0,2	79,2
PERMUTADOR - 84	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 85	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 86	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 87	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOM	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1099	0,05	54,95
PERMUTADOR - 88	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1144	0,05	57,2
PERMUTADOR - 89	CASCO / TUBO	RAT	REFLUXO CIRCULANTE GOP	SA-249-TP 317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1144	0,05	57,2
PERMUTADOR - 37	CASCO / TUBO	NAFTA	RECICLO CIRCULANTE INTERMEDIÁRIO	SA-249-TP317L	19,05	BVG16	6,096	AES	FLUTUANTE	404	0,2	80,8

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS		IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS				DADOS DOS FEIXES						
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 38	CASCO / TUBO	NAFTA	RECICLO CIRCULANTE INTERMEDIÁRIO	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	404	0,2	80,8
PERMUTADOR - 4	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL PESADO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	642	0,15	96,3
PERMUTADOR - 5	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL PESADO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	642	0,15	96,3
PERMUTADOR - 17	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL LEVE	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	792	0,1	79,2
PERMUTADOR - 18	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	DIESEL PESADO	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	742	0,1	74,2
PERMUTADOR - 13	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 14	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 15	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 16	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	25,4	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1154	0,05	57,7
PERMUTADOR - 19	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1212	0,05	60,6
PERMUTADOR - 20	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1212	0,05	60,6
PERMUTADOR - 21	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	947	0,05	47,35
PERMUTADOR - 22	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	947	0,05	47,35
PERMUTADOR - 25	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1381	0,05	69,05
PERMUTADOR - 26	CASCO / TUBO	RAT	PETRÓLEO	SA-249-TP317L	19,05	1,65	6,096	AES	FLUTUANTE	1381	0,05	69,05
PERMUTADOR - 23	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE FUNDO	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	914	0,05	45,7
PERMUTADOR - 24	CASCO / TUBO	PETRÓLEO	REFLUXO CIRCULANTE DE FUNDO	SA-249-TP317L	19,05	BwG16	6,096	AES	FLUTUANTE	914	0,05	45,7
PERMUTADOR - 121	CASCO / TUBO	HIDROCARBONETO	VAPOR DE ÁGUA	SA-268-TP410S	19,05	1,65	6,096	BEU	U	194	0,5	97
PERMUTADOR - 97	CASCO / TUBO	NAFTA PESADA	GASÓLEO MÉDIO	SA-268-TP410S	19,05	BwG-16	6,096	AES	FLUTUANTE	238	0,4	95,2
PERMUTADOR - 146	AIR COOLER	DIESEL + HIDROGÊNIO + ÁGUA	DIESEL + HIDROGÊNIO + ÁGUA	SA-789	25,4	2,11	13,6	AIR COOLER	AIR COOLER	330	0,25	82,5
PERMUTADOR - 201	AIR COOLER	ÁGUA ÁCIDA	ÁGUA ÁCIDA	SA-789	31,75	1,65	11,3	AIR COOLER	AIR COOLER	339	0,3	101,7
PERMUTADOR - 10	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 7	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 8	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138
PERMUTADOR - 9	CASCO / TUBO	ÁGUA	SOLMOURA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	6,096	AES	RETO	138	1	138

ANEXO C – AGRUPAMENTO DOS PERMUTADORES POR MATERIAL

DADOS DOS EQUIPAMENTOS	IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS			DADOS DOS FEIXES								
TAG EQUIPAMENTO	TIPO EQUIPAMENTO	FLUIDO CASCO	FLUIDO TUBOS	MATERIAL DOS TUBOS TROCA TÉRMICA	DIÂMETRO DOS TUBOS TROCA TÉRMICA (mm)	ESPESSURA TUBOS DE TROCA TÉRMICA (mm)	COMPRIMENTO DOS TUBOS DE TROCA TÉRMICA (m)	TIPO DE CASCO PERMUTADOR	TIPO DE FEIXE	QTDE TUBOS	FRAÇÃO DE TUBOS PARA ENSAIO	QDE DE TUBOS PARA ENSAIO
PERMUTADOR - 50	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 51	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 52	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168
PERMUTADOR - 53	CASCO / TUBO	SALMOURA	ÁGUA	SA-789-UNS S32750	25,4	1,65	4,877	AES	RETO	168	1	168

